



Litiumioniakkupalojen operatiivisen toiminnan suositukset

Pelastustoimen suositukset

Kimmo Rytkönen, Jari Mikkonen, Juha Laitinen, Antti Hanhineva, Mika Lankinen, Miikka Jylhä, Marko Hassinen, Ulla Lassi, Vesa Linja-aho, Karoliina Meurman, Helena Mäkinen, Joonatan Suosalo ja Iiro Wennberg





Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Lyhenteet ja käsitteet	5
3	Litiumioniakku	6
3.1	Rakenne	6
3.2	Lämpökarkaaminen ja sen syyt	7
3.3	Litiumioniakkupalo	9
4	Kemiallinen altistuminen litiumioniakkupaloissa, suojautuminen ja varusteiden dekontaminaatio	11
4.1	Kemialliset epäpuhtaudet palamisessa	11
4.2	Kemialliset aineet litiumioniakkupaloissa ja niihin vaikuttavat asiat	11
4.3	Akuutin altistumisen raja-arvot ja haitalliseksi tunnetut pitoisuudet fluorivedylle	13
4.4	Altistumisen torjunta	13
4.4.1	Palopuku	13
4.4.2	Tekninen alusasu ja asemapalvelupuku	14
4.4.3	Palokypärä	15
4.4.4	Palokäsineet ja aluskäsineet	15
4.4.5	Turvajalkineet	15
4.4.6	Hengityksensuojain	15
4.4.7	Lisävarusteet ihoaltistumista vastaan	16
4.4.8	Ruuansulatuskanavan kautta tapahtuva altistuminen ja epäpuhtauksien leviäminen	16
4.5	Käytönjälkeinen huolto	17
5	Akkupalon tunnistaminen ja sammutustekniikka ja -taktiikka	19
6	Pienet akut	21
6.1	Pienten akkujen sammutus ja jälkitoimenpiteet (monikennoiset)	21
7	Litiumioniakkuenergiavarastot	24
7.1	Litiumioniakkuenergiavarastot (BESS) asuin- ja pienkiinteistöissä.	24
7.2	Litiumioniakkuenergiavarastot (BESS), energiavarastokentät ja akkuvarastot	26
8	Sähköajoneuvot (litiumioniakku)	30
8.1	Sähköajoneuvopalon sammuttaminen ja jälkitoimenpiteet	30
9	Sähköajoneuvon sammutus/jäähdytysmenetelmät	35
9.1	Auton sammutuspeite	35
9.2	Lävistävät menetelmät	36



9.2.1	UHP/Sammutusleikkuri (Cold Cut Cobra, tai muu).....	37
9.2.2	Lyöntisuihkuputket.....	38
9.2.3	AVL Stingray one.....	38
9.2.4	Auton alle laitettavat lävistävät laitteet	38
9.3	Ulkoinen jäähdytys.....	39
9.3.1	Alustasprinkleri.....	39
9.3.2	Varsisammutin.....	40
9.4	Upottaminen	40
	Lähteet	43
	Liitteet	48
	Liite 1. Sähköajoneuvopalon ohjekortti	48
	Liite 2. Litiumioniakkuenergiavarastopalon ohjekortti.....	49
	Liite 3. Akkuenergiavaraston kohdekorttimalli	50



1 Johdanto

Litiumioniakkujen määrä lisääntyy kotitalouksissa ja teollisuudessa. Akkujen määrän ja niiden energiatheyden kasvu lisää niiden riskiä lämpökarkaamiselle, jossa akun lämpötila lähtee hallitsemattomaan nousuun ja aiheuttaa akun tuhoutumisen. Lämpökarkaamisessa vapautuu myrkyllisiä kemiallisia aineita ja kuumia heitteitä. Myrkylliset aineet voivat altistaa loppukäyttäjiä ja kuumat heitteet puolestaan aiheuttavat palovammoja levittäen lisäksi tulipaloa.

Tämän ohjeen suositukset on tarkoitettu pelastuslaitosten ja tehdaspalokuntien operatiiviseen toimintaan litiumioniakkupaloissa. Suosituksissa esitellään litiumioniakkutyypit, niiden rakenne, lämpökarkaaminen ja sen syyt. Lisäksi annetaan ohjeita litiumioniakkupalon tunnistamiseksi ja erottamiseksi esimerkiksi normaalista liikennevälinepalosta.

Ohjeissa pureudutaan myös palamisessa ja erityisesti litiumioniakkupaloissa syntyviin kemiallisiin haitallisiin aineisiin ja niiltä suojautumiseen sekä varusteiden käytönjälkeiseen huoltoon.

Suosituksissa käydään myös läpi pienten akkujen (matkapuhelimien, varavirtalähteiden, kannettavien kaiuttimien, sähköhammasharjojen, kannettavien tietokoneiden, sähköpolkupyörien ja skuuttien) suositeltavia sammutusmenetelmiä. Ohjeista löytyy myös sammutustaktiikka ja -tekniikkatietoa asuin- ja pienkiinteistöjen, teollisuuden litiumioniakkuenergiavarastojen, energiavarastokenttien sekä akkuvarastojen sammuttamiseen. Myös sähköautojen erilaisia sammutusmenetelmiä vertaillaan ja pohditaan niiden hyötyjä ja haittoja.

Ohjeen lopussa on esitetty (liitteet 1 ja 2) sähköajoneuvopalon ja litiumioniakkuenergiavarastopalon ohjekortit, joissa käydään tiivistetysti läpi niissä tehtävät pelastustoiminnan vaiheet alkaen ensitoimista aina tehtävän päättämiseen. Liitteestä 3 löytyy myös akkuenergiavaraston kohdekorttipohja, jota voidaan hyödyntää kohdekortteja uusille varastoille laadittaessa.



2 Lyhenteet ja käsitteet

ABEK-P3	Standardin EN14387 mukainen koodi suodattimen suodatuskyvyille.
ADR	ADR on lyhenne eurooppalaisesta sopimuksesta vaarallisten aineiden kansainvälisistä tiekuljetuksista.
A EGL	Akuutin altistumisen raja-arvo, A EGL-arvot on määritelty usealle eri altistusajalle. Ensisijaisesti käytössä 10 min ja 30 min.
Akku	Uudelleen varattava jännitelähde, akun toiminta perustuu sähkökemialliseen reaktioon (elektrolyysiin)
Akkumoduuli	Koostuu useista akkukennoista
Akusto	Koostuu useista akkukennoista tai akkumoduuleista
BESS	Battery Energy Storage System, Akkuenergiavarastojärjestelmä
BMS	Battery Management System. Akunhallintajärjestelmä valvoo varaustilaa, lämpötilaa ja akun kuntoa. Akunhallintajärjestelmä antaa akkujärjestelmän tilatietoa muille ohjausyksiköille sekä käyttäjälle. Akunhallintajärjestelmä edistää akun elinikää ja varmistaa käyttöturvallisuuden. Käyttöturvallisuus käsittää yleisen sähköturvallisuuden sekä suojauksen vikatilanteissa.
Elektrolyytti	Nestemäinen tai kiinteä aine, joka sisältää liikkuvia ioneja, jotka tekevät siitä ioni- sesti johtavan
ESMS	Energy Storage Management System. Energiavaraston hallintajärjestelmä
ESS	Energy Storage System, energiavarastojärjestelmä
HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus työpaikan ilmassa on pienin aineen pitoisuus, jonka on arvioitu aiheuttavan terveydellistä haittaa, ilmoitetaan yleensä haitallisten molekyylien suhteena ilmapartikkeleiden määrään miljoonasosina ppm. Yleensä käytetään 15 min ja 8 h.
kWh	Energia kilowattitunteina
SOC	Akun lataustaso (State of charge)
VAK	Vaarallisten aineiden kuljetus
PFAS-yhdisteet	Per- ja polyfluoratut alkyylilyhdisteet
Yleisimmät litiumioniakkukemiat (Katodi materiaalit)	
LCO	Litium-Kobolttioksidi
LFP	Litium-Rautafosfaatti
LMO	Litium-Mangaanioksidi
LTO	Litium-Titanaattioksidi
NCA	Nikkeli-Koboltti-Alumiinioksidi
NMC	Litium-Nikkeli-Mangaani-Kobolttioksidi

3 Litiumioniakku

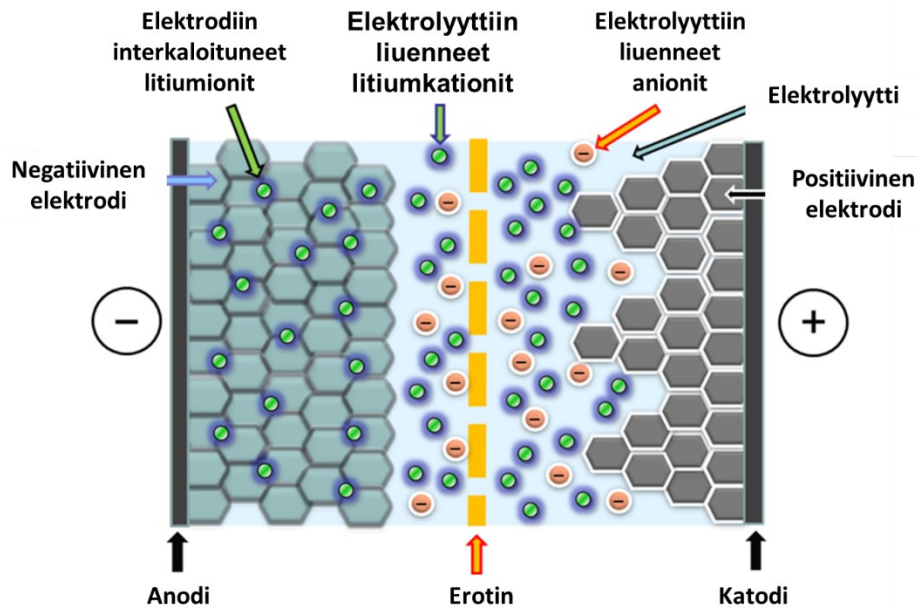
3.1 Rakenne

Litiumioniakkuja on olemassa erimallisia. Pääsääntöisesti käytetään sylinteri-, pussi- tai prismaattisia kennoja (Kuva 1).



Kuva 1. Litiumioniakku kennot. Sylinterikkenno, pussikkenno ja prismaattinen kenno. (CRBAman 2024)
Akkukennoissa on suojakuori, jonka sisällä on erikseen anodi, katodi, erotin ja elektrolyytti (Kuva 2). Anodien ja katodien materiaalit poikkeavat eri akkukemioissa. Elektrolyytti on helposti syttyvää ja sen koostumus vaihtelee eri akuissa.

Litiumioniakussa litiumionit (Li⁺) liikkuvat katodin ja anodin välillä sisäisesti. Elektronit liikkuvat vastakkaiseen suuntaan ulkoisessa piirissä. Kyseinen tapahtuma on syy siihen, että akku antaa laitteelle virtaa, koska se luo sähkövirran. Kun akku purkautuu, anodi vapauttaa litiumioneja katodille, jolloin syntyy elektronivirta, joka auttaa antamaan virtaa kyseiselle laitteelle. Akkua ladattaessa tapahtuu päinvastainen reaktio, jossa katodi vapauttaa litiumioneja ja anodi vastaanottaa niitä.



Kuva 2. Litiumionikennon rakenne

- Elektrodit: Positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet kennon päät. Kiinnitetään virran kerääjiin
 - Anodi: Negatiivinen elektrodi
 - Katodi: Positiivinen elektrodi.
- Elektrolyytti: Neste tai geeli, joka johtaa sähköä (helposti syttyvää).
- Virrankerääjät: Kennon kummallakin elektrodilla olevat johtavat kalvot, jotka on liitetty kennon napoihin. Kennon napojen kautta kulkee sähkövirta akun, laitteen ja akkua käyttävän energialähteen välillä.
- Eroitiin: Huokoinen polymeerikalvo, joka erottaa elektrodit toisistaan ja mahdollistaa litiumionien vaihtumisen puolelta toiselle.

Kaikkia kennotyyppisiä (Kuva 1) käytetään eri laitteissa ja kennotyyppiä ei pääsääntöisesti voida suoraan tunnistaa akkujen koteloinnin vuoksi. Litiumioniakkuja käytetään monissa laitteissa, esimerkiksi käsityökaluissa, elektronisissa laitteissa, autoissa, polkupyörissä, trukeissa, kaivoskoneissa jne.

3.2 Lämpökarkaaminen ja sen syyt

Lämpökarkaaminen tarkoittaa sitä, että sähköinen ja kemiallinen energia muuttuu lämmöksi hallitsemattomalla tavalla. Akkukennon lämpötila nousee nopeasti ja reaktion aikana paloherkkä elektrolyytti



hajoaa palaviksi kaasuiksi. Reaktion aikana muodostuu lämpöä ja syttyviä kaasuja, sekä kennon sisäinen paine nousee. Laadukkaissa kennoissa ja akkukoteloissa on huomioitu paineenpurkamisen mahdollisuus varotoimenpiteenä. Eri kemioiden mukaan muodostuu kaasuseos, joka voi esimerkiksi sisältää vetyä (H₂) 30–50 % ja lämpökarkaamisen alkuvaiheessa suurin osa akusta muodostuvasta kaasusta sisältää häkää (CO) sekä hiilioksidia (CO₂). Lisäksi reaktion aikana vapautuu happea (O₂), joka ylläpitää paloa. (MSB 2024, 4 luku.)

Litiumioniakusta voi lämpökarkaamisen aikana muodostua kaasua 0,5–5 l/Wh (Willstrand ym. 2020, 20). Laskennallisesti esimerkiksi yhdestä täyteen ladatusta 800 Wh sähköpolkupyörän akusta voi muodostua helposti syttyvää kaasua 4 m³. Akun lataustaso vaikuttaa lämpökarkaamisen ja palon voimakkuuteen. Täyden varauksen omaava akku muodostaa lämpökarkaamisen aikana huomattavasti enemmän kaasua ja palon todennäköisyys on suurempi kuin matalan varaustason akulla. Akun lataustason ollessa matala lämpökarkaamisen aikana muodostuvat kaasut eivät välttämättä syty palamaan, jonka vuoksi helposti syttyvien kaasujen leimahdusriski on koholla (dsb 2021, 23.)

Yksikennoisessa akussa lämpökarkaaminen on lyhyt ja nopea. Monikennoisissa akuissa lämpökarkaaminen voi levitä viereisiin kennoihin, jolloin palon voimakkuus, teho sekä kesto kasvavat. Kaikki kennot eivät reagoi heti samassa tapahtumassa, vaan voivat pitkän ajan jälkeen ajautua aiemman vioittumisen vuoksi lämpökarkaamiseen ja näin aiheuttaa uudelleensyttymisen. Lämpökarkaamisesta käytetään myös termiä lämpöryntäys ja se tarkoittaa epävakaaatitilaa, jossa kennon sisäinen lämpötila nousee hallitsemattomasti esimerkiksi kemiallisen reaktion vuoksi. Edellä mainitun ominaisuuden vuoksi vioittuneet akut tulee toimittaa asianmukaiseen jälkikäsitteilyyn. Tulipalossa olleet akut/akustot tulee siirtää pois rakennuksien sisätiloista uudelleensyttymisriskin vuoksi.

**Lämpökarkaamisen aiheuttavat tekijät (Barowy):**

Ympäristö	Liiallinen lämpö, lataaminen kylmässä ympäristössä ja kemiallinen altistuminen, kuten altistuminen suolaveteen.
Mekaaninen	Putoaminen, murskaantuminen, painauma, isku, värinä, iskeytyminen tai kennon lävistäminen siten, että mekaaninen rasitus aiheuttaa erottimen vian.
Ylilataaminen	Kenno ladattu määrätyn jännitteen yli. Aiheuttaa eksotermisen reaktion katodissa, mikä johtaa erottimen vikaantumiseen ja lopulta lämpökarkaamiseen.
Ylipurkaus	Kennon jännite laskee alle kennorakenteen purkausjänniterajan, mikä johtaa kuparin liukenemiseen anodista ja synnyttää sisäisen oikosulun
Ulkoinen oikosulku	Lämmittää kennoa ja suuren purkausvirran vuoksi aiheuttaa lämpökarkaamisen
Suunnittelu ja valmistusvirheet	Irralliset osat, elektrodien kohdistusvirhe, purseet, tiukat toleranssit ja kontaminaatio, jotka voivat aiheuttaa oikosulun, joka johtaa lämpökarkaamiseen.
Ikääntyminen	Akkujen käyttöolosuhteet, lataaminen, varastointiolosuhteet, dendriittien muodostuminen (ScienceDaily 2019, s.21)

3.3 Litiumioniakkupalo

Lämpökarkaaminen on ketjureaktio, jossa reaktion eri vaiheiden tapahtumat lisäävät kennon sisäistä lämpötilaa ja painetta (Hassinen 2022, 11). Varsinainen palotapahtuma on yksi osa kemiallista ketjureaktiota, jota ei välttämättä synny. Tilanteeseen vaikuttaa lataustaso sekä purkautuvien kaasujen lämpötila. Lämmön noustessa kennon sisällä oleva elektrolyytti muuttuu kaasumaiseksi, joka purkautuu kennon rakenteen pettäessä voimakkaasti. Kaasun lämpötilan ja kennoa ympäröivän lämpötilan ylittäessä purkautuvien kaasujen syttymisrajan muodostuu liekkipalo. Ulkoinen tai sisäinen kipinä voi sytyttää purkautuvat syttymisrajan ylittäneet kaasut palamaan (Held ym. 2022, 2.)

Kennon nopea paineen nousu synnyttää napsahdavia ääniä kennon rakenteen muuttuessa ja rikkoutuessa. Reaktion nopeutuessa erityisesti sylinterikennot voivat lentää vioittuneesta akustosta ulos useamman metrin ja heitteenä voivat aiheuttaa toissijaisen palon syttymisen. Myös pussi- ja prismaattiset kennot voivat aiheuttaa heitteitä. Heitteinä voi olla kennon tai akkukotelon palavia osia.

Liekkipalon sammuttaminen ei estä kennossa tapahtuvaa lämpökarkaamista. Litiumioniakkupalon sammuttamisessa ulkoisen hapen poistaminen ei sammuta paloa kennon tuottaessa itsenäisesti palamiseen tarvittavat edellytykset (lämpö, kemiallinen reaktio ja polttoaine). Litiumioniakkupaloissa ei



voida poistaa reaktioita aiheuttavia polttoaineita ja lämmönlähteitä. Lämpökarkaamisen estämiseksi toimivin vaihtoehto on jäähdyttää kennoja. Jäähdyttämällä pyritään poistamaan kemiallisen reaktion synnyttämä lämpö ja lämpösäteily sekä johtuminen toisiin kennoihin. (Mylenbusch ym. 2023, 2.)

Käytännössä lämpökarkaamiseen päässyttä kennoa ei voida enää pelastaa. Jäähdyttämisen tarkoitus on suojella muita kennoja ja estää reaktion leviäminen. Jäähdyttävän vaikutuksen saaminen kennoihin on haastavaa akkujen koteloinnin sekä akkukoteloiden sisäisten rakenteiden vuoksi. Useiden tutkimuksien mukaan tehokkain keino litiumioniakkupalojen sammuttamisessa ja kennon jäähdyttämisessä on vesi (Ghiji ym. 2020, 13). Litiumioniakkupalojen ja lämpökarkaamisen aikana muodostuvien haitallisten ja syttyvien kaasujen vaaroja käsitellään tarkemmin luvussa 4.



4 Kemiallinen altistuminen litiumioniakkupaloissa, suojautumisen ja varusteiden dekontaminaatio

4.1 Kemialliset epäpuhtaudet palamisessa

Palamisessa syntyy lukemattomia kemiallisia yhdisteitä, jotka esiintyvät hiukkasina, kaasuna, höyryinä ja aerosoleina. Niiden myrkyllisyyteen vaikuttavat ensisijaisesti palavat materiaalit, palon käynnistävissä oleva happipitoisuus ja palamislämpötila (IARC, 2022). Palokaasuissa on hapenkuljetuksen estäjiä, kuten hiilimonoksidia, syaanivetyä ja rikkivetyä, jotka vaikeuttavat solujen hapensaantia (Savolainen & Kirchner 1998; Reinhardt & Ottmar 2004; Varone ym. 2006). Lisäksi palokaasut sisältävät ärsyttäviä aineita, kuten esimerkiksi formaldehydiä, typen ja rikin oksideja sekä kloori- ja fluorivetyhappoa, jotka voivat aiheuttaa tulehdustilan keuhkoihin (Bolstad-Johnson ym. 2000; Posniak 2000; Laitinen ym. 2015). Edellä mainitut kemialliset aineet aiheuttavat välittömiä oireita, mutta osa yhdisteistä aiheuttaa myös pitkäaikaisvaikutuksia. Näitä ovat esimerkiksi bentseeni, polysykliset aromaattiset hiilivedyt, asbesti, perfluoratut ja -klooratut yhdisteet (Edelman ym. 2003; IARC 2022). Osa pitkäaikaisia vaikutuksia aiheuttavista aineista ovat ihoa ja hengitysteitä herkistäviä, syöpävaaraa aiheuttavia sekä perimälle ja keskushermostolle myrkyllisiä. Lisäksi savu koostuu pienhiukkasista, jotka pystyvät etenemään keuhkoissa aina keuhkorakkulatasolle asti, ja voivat aiheuttaa muutoksia verenkiertoelimistössä ja sydämessä (IARC 2010). Epäpuhtaudet kulkeutuvat palomiesten elimistöön hengitysteiden, ihon ja ruuansulatuselimistön kautta (Laitinen ym. 2012; Fent ym. 2013; Fent ym. 2014; Laitinen ym. 2014; Laitinen ym. 2015; Laitinen ym. 2016; Laitinen ym. 2019; Taeger ym. 2023). Vuonna 2022 palomiesten työn syöpävaarallisuusluokitus nostettiin korkeimpaan luokkaan ryhmään 1, mikä tarkoittaa, että palomiesten kemiallisen altistumisen ja virtsarakkosyöpään ja mesotelioomaan sairastumisen välillä on riittävä yhteys (Demers ym. 2022; IARC 2022). Jotta altistuminen pystyttäisiin pitämään mahdollisimman pienenä, on henkilökohtaisten suojainten toimivuus, yhteensopivuus ja niiden huolto avainasemassa eri altistumisreittien kautta tulevan altistumisen torjunnassa.

4.2 Kemialliset aineet litiumioniakkupaloissa ja niihin vaikuttavat asiat

Hiilidioksidin, hiilimonoksidin ja kokonaishiilivetyjen päästöt osoittautuivat hyvin samanlaisiksi, kun niitä vertailtiin polttomoottoriautojen ja sähköautojen laajoissa palotestissä (Lecocqin ym. 2012; Hynynen ym. 2023). Eroja löytyi fluorivedyn, litiumin, alumiinin, koboltin, mangaanin, nikkelin ja sinkin

päästöistä, jotka sähköautoilla (NMC-kemia) olivat suurempia kuin polttomoottoriautoilla (Hynynen ym. 2023).

Litiumioniakkujen paloissa fluorivetyypäästöt ovat erityisesti nostettu esille ja niiden määrää on selvitetty usean tutkimusryhmän toimesta. Ribiere tutkimusryhmineen mittasi LMO-akkujen fluorivetyypäästökseen 36–68 mg/Wh (Ribiere ym. 2012). Lococq puolestaan totesi LFP-akkujen fluorivetyypäästöiksi 50–105 mg/Wh (Lococq ym. 2016). Larsson tutkimusryhmineen testasi LFP-akkuja neljässä testissä ja sai niiden fluorivetyypäästöiksi 170–200 mg/Wh, 60–125 mg/Wh, 10–25 mg/Wh ja 50 mg/Wh. Hän testasi myös LCO-akkuja ja päätyi 20 mg/Wh fluorivetyypäästöihin (Larsson ym. 2017). Hynynen tutkimusryhmineen mittasi NMC-akkujen fluorivetyypäästöiksi 15–42 mg/Wh testeissä, joissa sähköauton palotapahtumaan ei puututtu (Hynynen ym. 2023).

Litiumioniakkujen hetkellisiin päästöihin vaikuttaa merkittävästi lämpökarkaamisen vaihe. Lämmitettäessä akkua ulkoisesti, kuten valtaosassa testeistä on tehty, anodin pinnassa oleva suojakerros käy epävakaa ja tämä tapahtuu jo alle 100 °C lämpötilassa. Tässä vaiheessa syntyy pienimolekyylisiä yhdisteitä, kuten hiilimonoksidia, hiilivetyjä ja fluoriyhdisteitä. Suojakerroksen antautuessa elektrolyytti reagoi litioidun anodin kanssa kiihdyttäen eksotermistä reaktiota, jonka seurauksena elektrolyytti höyrystyy. Silloin syntyy vaaleaa savua, joka sisältää palavia kaasuja, kuten karbonaatteja, orgaanisia liuottimia ja perfluorattuja yhdisteitä. Lisäksi elektrolyytin suola litiumheksafluorofosfaatti hajoaa vetyfluoridiksi, fosforipentafluoridiksi ja fosforyylifluoridiksi. Kosteuden vaikutuksesta näistä syntyy vetyfluoridia ja edelleen vetyfluorihappoa. Mikäli erotin ei pysty kennoa sammuttamaan, syntyy sen sulaessa akkuun sisäinen oikosulku, jonka jälkeen alkaa katodin hajoaminen (Larsson ym. 2017; Hynynen ym. 2023). Tässä vaiheessa akusta vapautuu akun kemian mukaisesti metalleja ja kuumia heitteitä. Katodin hajoaminen alkaa eri lämpötiloissa eri akkukemioilla: LCO (150°C), NCA (160°C), NMC (210°C), LMO (TR:265°C) ja LFP (310°C) (Wu ym. 2018).

Akun päästöihin voidaan vaikuttaa merkittävästi myös sammutustoimilla. Litiumioniakkupalon muistuttaa kaasupaloa. Jos akun lämpökarkaaminen on alkanut, mutta sen tuottamat palavat kaasut eivät ole vielä syttyneet, syntyy nopeasti pitoisuus, joka saattaa ylittää niiden syttymisrajan. Mikäli palavat kaasut (elektrolyytin höyryt) syttyvät ja niiden annetaan palaa hallitusti, vähentää se räjähdysriskiä. Fluorivedyn päästöissä käy päinvastoin: mitä paremmin pystymme paloa hillitsemään sammutustoimilla, sitä paremmin fluorivetyypäästöt vähenevät (Laitinen & Jumpponen 2016; Hallikainen 2017; Hynynen ym. 2023).



4.3 Akuutin altistumisen raja-arvot ja haitalliseksi tunnetut pitoisuudet fluorivedylle

Akuutin altistumisen eristysraja-arvona fluorivetyonnettomuuksissa käytetään AEGL₃ (30 minuuttia) ja varoitusrajana AEGL₂ (30 minuuttia) arvoja (Työterveyslaitos 2023). AEGL₃ (30 minuuttia) raja-arvo on 51 mg/m³ ja AEGL₂ (30 minuuttia) raja-arvo on 28 mg/m³. Jos lasketaan teoreettisesti Hynysen tutkimusryhmän mittaaman sähkökäyttöisen 40 kWh energiasisältöisen pakettiauton fluorivetyypäästön (42 mg/Wh) tasainen jakautuminen 2500 m³ parkkihallin, AEGL₃ raja-arvo saavutettaisiin jos kun 7,5 % akusta on palanut.

Työpaikolla sovelletaan haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia. Lyhytkestoiselle fluorivetyaltistumiselle on annettu viidentoista minuutin HTP-arvo 2,5 mg/m³ ja pitkäkestoiselle koko työpäivän kestäväälle altistumiselle kahdeksan tunnin raja-arvo 1,5 mg/m³ (STM 2020).

4.4 Altistumisen torjunta

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. Ohjeissa annetaan toimintamalli kohteen lähestymiselle oikeasta kulmasta, tiedustelulle ja sammutustoimille tuulen yläpuolelta sekä vaaratekijöille esimerkiksi räjähdysvaarasta, ATEX-vaatimuksista mittalaitteille ja luonnollisesti tarvittaville suojavarusteille.

4.4.1 Palopuku

Ihoaltistumisen torjunnassa palopuvulla on merkittävä rooli. Tieliikennepelastamisessa ja suljetun tilan savusukelluksessa käytetään raskasta palopukua, joka täyttää standardin EN468:2020 tason 2 vaatimuksen. Myös samaisen standardin tason 1 tekniseen pelastamiseen tarkoitettuja pukuja on tieliikennepelastamisessa ja rakennuspaloissa käytetty. Niiden lämmönsuojauskyky on tasoa 2 selvästi huonompi. Tämän vuoksi niitä ei saa käyttää suljetussa tilassa tapahtuvaan sammutushyökkäykseen, vaan niitä voi käyttää vain rakennuksen ulkopuolelta tapahtuvaan sammutukseen. Koska litiumioniakkupalloissa esiintyy kuumia heitteitä, on suositeltavaa käyttää niiden sammutustilanteissa ensisijaisesti tason 2 palopukua.

Tekniseen pelastamiseen tarkoitettujen palopukujen kemikaalisuojaus on samanlainen kuin tason 2 palopuvuilla. Jotta puvut täyttäisivät EN468:2020 standardin vaatimukset, niiden on pudotettava vaadittavien kemikaalien pitoisuutta vähintään viidesosaan puvun ulkopuolella olevasta pitoisuudesta.

Ruotsissa MSB on tutkinut palopuvun suojaustehokkuutta polysyklisille aromaattisille hiilivedyille, ja mittauksissa palopuku keskimäärin pudotti pitoisuuden 146-osaan palopuvun ulkopuolella olevasta pitoisuudesta (Wingfors ym. 2018). Vastaavasti sama työryhmä tutki palopukujen suojausta fluorivetyä (HF) vastaan jäljitellen savusukelluksen eri vaiheita. Fluorivetyä vastaan suojaustehokkuus oli keskimäärin 120 vaihdellen 9,3–260 välillä (Wingfors ym. 2021).

He tutkivat myös keinohalla fluorivedyn imeytymistä ihon läpi 20 minuutin altistumisessa eri pitoisuuksilla $8,3 \text{ mg/m}^3$ (kuivalla iholla), 83 mg/m^3 (sekä kuivalla että hikisellä iholla) ja 830 mg/m^3 (kuivalla 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/m^3 oli 20 minuutin altistumisessa seitsemäsosa aikuiselle arvioidusta fluorivedyn akuutin toksisuuden raja-arvosta, 5 milligrammaa painokiloa kohden. Jos huomioimme palopuvun pienimmän mitatun suojauskertoimen 9,3 ja fluorivedyn imeytymisen ihon läpi suhteessa akuutin toksisuuden raja-arvoon, niin pienimmillään kokonaisturvakerroin olisi palopukua käytettäessä 65 ja keskimäärin 840 (Wingfors ym. 2021). Jos fluorivety muuttuu fluorivetyhapoksi ihon hien vaikutuksesta, sen ihon läpi imeytyminen lisääntyy merkittävästi (Dennerlein ym. 2016).

4.4.2 Tekninen alusasu ja asemapalvelupuku

Hien poistamiseksi ihon pinnalta suosittelemme käyttämään palopuvun alla teknistä pitkähihaista ja -lahkeista alusvaatetta. Sen tehtävänä on poistaa ihon pinnasta kosteutta ja näin ehkäistä fluorivedyn muuttumista fluorivetyhapoksi, joka imeytyy ihon läpi nopeammin kuin fluorivety (Dennerlein ym. 2016). Lisäksi pitkähihaiset ja -lahkeiset alusasut tuovat lisäsuojaa myös muita kemikaaleja vastaan. Metsäpaloissa on todettu pitkähihaisten ja -lahkeisten teknisten alusvaatteiden vähentävän polysyklisille aromaattisille hiilivedyille altistumista rinnan ja selän alueella 70 % sekä reiden ja nilkan alueella 90 % verrattuna altistumiseen lyhyillä alushousuilla ja t-paidalla (Laitinen ym. 2021). Palopuvun alle teknisen alusvaatteiden päälle suosittelemme litiumioniakkupaloihin puuvillaista väliasua tai pitkähihaisia ja -lahkeisia asemapalvelupukuja.

4.4.3 Palokypärä

Pään kautta tulevaa ihoaltistumista voidaan vähentää palokypärän alle tulevalla alushupulla, joka täyttää standardin EN 13911. Pää suojataan litiumioniakkupalojen kuumilta heitteiltä raskaalla palokypärällä, joka täyttää standardin EN 443 (Ala-Kokko 2021).

4.4.4 Palokäsineet ja aluskäsineet

Käsien kautta tulevaa altistumista vähennetään palokäsineillä, jotka täyttävät standardin EN 659 (Ala-Kokko 2021). Palokäsineiden alle suositellaan aluskäsineitä, jotka on valmistettu nahasta tai puuvillasta. Kuivissa olosuhteissa jo puuvillakäsineiden on todettu vähentävän palomiesten käsien kautta tulevaa altistumista polysyklisille aromattisille yhdisteille 80 % (Laitinen ym. 2010). Märissä olosuhteissa palokäsineiden alle suositellaan nitrilikäsineitä, joilla estetään haitallisten kemiallisten aineiden imeytyminen työskentelyn tai varusteiden riisumisen aikana (Everaert ym. 2023). Palokäsineiden sähkönjohtavuutta ei testata, jonka 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 (1000 V) käsineitä erityisominaisuudella RC. Ne kestävät happoja, öljyä, otsonia ja kylmää. Jännitetyöhön suunnitellut käsineet kestävät räsitystä ja viiltoja huomattavasti paremmin kuin palomiehen käsineet.

4.4.5 Turvajalkineet

Palomiehen turvajalkineet täyttävät standardin EN 15090 ja niitä on kolme eri tyyppiä, joista tyyppi 2 (F2A) soveltuu savusukellukseen. Litiumioniakkupaloihin suositellaan tyyppin 3 (F3I) jalkineita, joissa on kemikaalisuojaus ja ne täyttävät myös sähköneristävyysvaatimukset. Turvajalkineita valittaessa on huomioitava myös niiden kemikaalisuojaus. Turvajalkineiden yhteydessä käytetään aina villasukkia lämmöneristävyden ja käyttömukavuuden lisäämiseksi (Ala-Kokko 2021).

4.4.6 Hengityksensuojain

Litiumioniakkupalossa kemikaalien pitoisuudet nousevat nopeasti korkeiksi ja palokaasuissa esiintyy yhdisteitä, joita puhallinavusteiset hengityksensuojaimet eivät pysty suodattamaan (Lecocqin ym.



2012; Hynynen ym. 2023). Suodattamisen kannalta hankalia yhdisteitä ovat typen oksidit ja hiilimonoksidi, joita ei pystytä suodattamaan lainkaan. Myös pienimolekyylisten hiilivetyjen suodattimilla on hyvin rajallinen suodatuskapasiteetti. Lisäksi korkeat pitoisuudet rajaavat suodattimilla varustettujen hengityksensuojainten käyttöaikaa ja niiden suojaustehokkuus on selvästi huonompi kuin turvapaineella varustettujen paineilmahengityslaitteiden. Näin ollen litiumioniakkupaloihin suosittelemme paineilmahengityslaitteita, jotka täyttävät standardit EN136 ja EN137 (Ala-Kokko 2021).

4.4.7 Lisävarusteet ihoaltistumista vastaan

Haettaessa lisäsuojauksia fluorivetyä vastaan suosittelemme aktiivihiliväliasua, kun joudutaan työskentelemään vaativissa olosuhteissa. Aktiivihiliväliasu täyttää standardin EN ISO 13982. Aktiivihiliväliasu kestää valmistajan mukaan vähintään 20 pesua ja pakkauksesta poistettu puku säilyy toimintakuntoisena seitsemän vuotta. Testeissä 24 savusukelluskerran jälkeen palopuvun ja aktiivihiliväliasun suojauskerroin oli vielä 132. Ilman aktiivihiliväliasua normaalilla väliasulla ja palopuvulla suojaus oli 70 kertaa pienempi (Ekberg ym. 2021). Aktiivihiliväliasu voidaan pukea asemavaatetuksen tai teknisen alusvaatetuksen päälle. Aktiivihiliväliasu voi kuormittaa pelastajaa normaalia enemmän pelastustoiminnan aikana.

Toinen mahdollisuus saada lisäsuojauksia ihoaltistumista vastaan on palopuvun ylle puettava lämpöä kestävä kemikaalisuojapuku, joka täyttää kuumuudelta ja tulelta suojaavuuden osalta standardin EN 14116.

Vaativissa pelastustilanteissa erityisesti suljetuissa tiloissa, joissa fluorivetyypitoisuudet ovat korkeita ja kun räjähdysvaara on suljettu pois, on lämpöä kestävä ja kaasutiiviin kemikaalisuojapuvun käyttö myös perusteltua. Kemikaalisuojapuku täyttää standardin EN 943-2:2019.

4.4.8 Ruuansulatuskanavan kautta tapahtuva altistuminen ja epäpuhtauksien leviäminen

Valtioneuvoston asetuksessa 113/2024 syöpäsairauden vaaraa aiheuttavista, perimää vaurioittavista ja lisääntymiselle vaarallisista tekijöistä työssä todetaan, että työntekijöiden ruoka- ja nestehuolto on järjestettävä siten, että työntekijät eivät altistu syöpävaarallisille tekijöille huollon aikana pelastustoiminta-alueella. Lisäksi peseytymismahdollisuudet on tarjottava mahdollisimmin nopeasti altistumisen jälkeen, koska ihoaltistuminen ei lopu ennen kuin iho on saatu puhdistettua altistavista aineista. Myös huomiota epäpuhtauksien leviämisen estämiseen suojavarusteista on kiinnitettävä huomiota.

4.5 Käytönjälkeinen huolto

Likaantuneet varusteet ja putoamissuojaimet on riisuttava jo tilannepaikalla sekä paketoitava itsesula-viin pusseihin. Riisumisen aikana käytetään hengityksensuojainta tarpeettoman altistumisen välttämiseksi. Varusteet kuljetetaan varustehuoltoon erillään miehistötilasta ja ne tulisi siirtää pesukoneisiin itsesulavissa pesupusseissa. Varusteet on pestävä mahdollisimman nopeasti niiden likaannuttua, jolloin voidaan vähentää epäpuhtauksien pinttymistä 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 vetyfluori on hyvin syövyttävää (Salmi & Laitinen 2023).

Tutkimustulosten mukaan vesipesun puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille ulommissa palopuvun kerroksissa oli keskimäärin 56 %. Tulosten perusteella vesipesussa 40 °C 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 2023).

Palopukujen puhdistaminen LCO₂-tekniikalla osoitti 74 % puhdistustehokkuutta ulommille kerroksille, mutta erityisen hyvin se puhdisti palopuvun keskikerroksen saavuttaen enimmillään 85 % 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 2023).

Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien ylivoimaisesti yleisin puhdistustapa on käsin puhdistus, joka osoitti 85 % puhdistustehokkuutta. Tehokkain tapa oli rumpuvesipesu teollisuuspesukoneessa osoittaen 94 % puhdistustehokkuutta. Ruiskupesulla päästiin myös 75 % pesutehokkuuteen. Suosittelemme ensisijaisesti käsinpesua ja rumpupesua kasvo-osien puhdistamiseen (Salmi & Laitinen 2023).



Lämpökameroiden ja niiden suojaussien puhdistamiseen kokeilimme ensimmäisessä testissä pinta-puhdistusliinaa ja yhdistimme siihen vetyperoksidikäsittelyn. Yhdistelmän puhdistustehokkuus oli 60 %. Myös VOC-yhdisteiden häviäminen vetyperoksidikäsittelyssä osoitti menetelmän olevan hyvä poistamaan myös palossa tulleita palojäämiä. Pelkällä pintapyyhinnällä tulos olisi jäänyt huonoksi. Suosittelemme kyseistä yhdistelmäpuhdistusta lämpökameroiden ja niiden suojaussien puhdistamiseen. Lämpökameroiden ja suojaussien puhdistamiseen kokeilimme toisessa testissä pintapuhdistusliinaa ja yhdistimme käsittelyyn lämpökameran suojaussin rumpuvesipesun. Yhdistelmän puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille oli 91 %. Pelkällä pintapyyhinnällä tulos olisi jäänyt huonoksi. Suosittelemme kyseistä yhdistelmäpuhdistusta lämpökameroiden puhdistamiseen (Salmi & Laitinen 2023).



5 Akkupalon tunnistaminen ja sammutustekniikka ja -taktiikka

Litiumioniakkupalon tunnistaminen on tärkeää, jotta voidaan valita oikea sammutustaktiikka ja -tekniikka (Kuva 3). Lämpökarkaamisen tunnistaa voimakkaasti akusta purkautuvasta vaaleasta savukaasusta, jonka väri muuttuu tummemmaksi akun lämmön noustessa ja palon alkaessa. Elektrolyytin höyrystyessä savun väri on vaaleaa, mutta muiden akun osien (muovit) osallistuessa paloon savun väri tummuu. Purkautuvien kaasujen syttyessä palamaan syntyy kaasupalon tyyppinen voimakas liekki, joka on lyhyempi kuin paineellisen kaasun liekkipalo. Esimerkkivideo pienen akun lämpökarkaamisesta ja palamisesta: [LION akkupalo työkaluseinässä](#)

Litiumioniakkuenergiavarastopalojen sammutustaktiikka on yleensä hyökkäävä ulkoa sammuttaminen tai puolustava ulkoa sammuttaminen. Sisätiloissa olevat energiavarastot sekä erilliset kontit muodostavat syttyvien savukaasujen leimahdusriskin sisätiloihin, joka tulee huomioida aina sammutustaktiikka valittaessa (Kuva 3). Sammutustaktiikan valinnan tulee perustua tilanteen kokonaisarvioon.

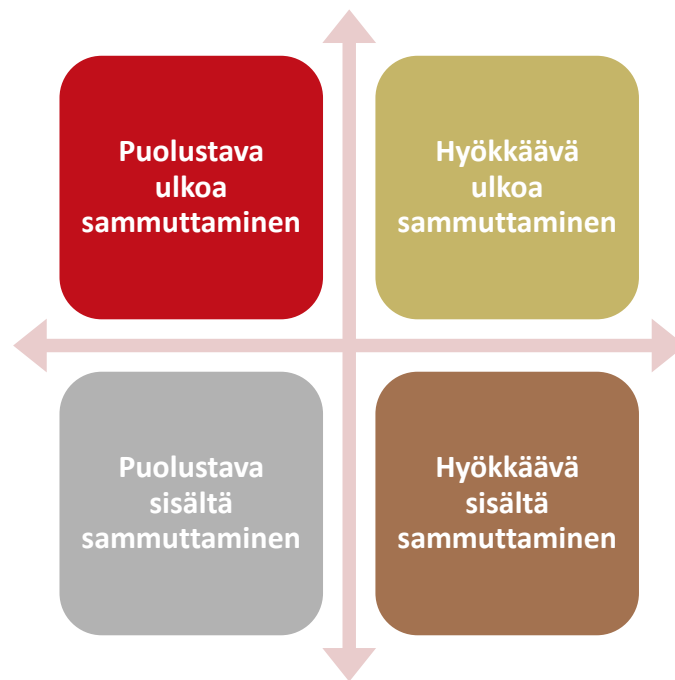
Litiumioniakkuenergiavarastojen kohdalla tulee pyrkiä tunnistamaan, onko lämpökarkaamista tapahtunut ja onko ison akkuenergiavaraston paloturvallisuuslaitteisto toiminut. Isoissa energiavarastoissa on ulkopuolella merkkivalo tai ääni, joka ilmoittaa paloturvallisuuslaitteiston tilasta. Suljetuissa tiloissa olevien litiumioniakkuenergiavarastojen lämpökarkaaminen on vaikeaa havaita, jos liekkipaloa ei vielä ole muodostunut. Liekkipalo vähentää syttyvien savukaasujen leimahdusvaaraa.

Sähköajoneuvon ajovoima-akkupalon tai lämpökarkaamisen sammuttaminen ja jäähdyttäminen on puolustavaa ulkoa sammuttamista, jossa päätarkoituksena on jäähdyttää akustoa (Hassinen 2022, 32). Ennen ajovoima-akuston jäähdyttämistä tulee käyttää hyökkäävä ulkoa sammuttamista sähköauton sisustuksen palossa, kuten perinteisessä autopalossa.

Sähköautopalossa tulee tunnistaa ja erottaa akkupalo, ja jos ajovoima-akku ei ole reagoinut, voidaan sähköautopalo sammuttaa samalla tavalla kuin polttomoottoriajoneuvot (Hassinen 2022, 30). Akkupalon voi tunnistaa palavien kaasujen voimakkaasta purkautumisesta akun paineentasausaukoista tai akuston muusta ylipainemekanismista ja akkupaloille ominaisesta suhinasta (Hassinen 2022, 30). Suhinan lisäksi voi kuulua pieniä poksahduksen ääniä, joita syntyy kennojen rikkoutuessa, näitä ei välttämättä kuule, jos palo on voimakasta. Sähköautopalossa voidaan hyödyntää rakennuspalojen nelikenttämallia (Ala-Kokko 2021, 64). Pääsääntöisesti tavoitteena on ensisijaisesti sammuttaa palo ja toissijaisesti jäähdyttää akustoa. Henkilöauton kokoinen sähköauto voi palaa ilman sammutusta ja jäähdytystä noin 3–5 tuntia (EV FireSafe 2023). Palavaa sähköajoneuvoa on miltei mahdoton siirtää,

johon vaikuttaa myös vahvasti ajoneuvon sijainti (avoin tai suljettu tila). Jos ajovoima-akku ei ole reagoanut sähköautopalossa, tulee jäähdytystä tehdä, jotta estetään sähköautopalon lämmönvaikutus akkuun.

Käytettävästä sammutustekniikasta tarkemmin käyttökohteisiin liittyvissä luvuissa 5, 6, 7 ja 8.



Kuva 3. Palon sammuttamisen nelikenttämalli (Ala-Kokko 2021, 64).

6 Pienet akut

Pienten akkujen lämpökarkaamisia ja niiden aiheuttamia paloja tapahtuu enemmän kuin pelastustoi-
melle tulevien tehtävien määrästä voisi päätellä. Pieniksi akuiksi voidaan lukea esimerkiksi matkapu-
helimen, varavirtalähteen, kannettavan kaiuttimen, sähköhammasharjan, kannettavan tietokoneen,
sähköpolkupyörän, skuutin tms. akut.

Yksiksennoisten pienten akkujen lämpökarkaaminen on nopea yksittäinen tapahtuma. Palo ei pääse
yleensä leviämään palopaikastaan, ellei lähellä ole helposti syttyvää materiaalia, kuten esimerkiksi
sohva, sänky, paperia/pahvia tms. Myrkyllisen ja haitallisen kaasun muodostus on vähäistä. Lämpö-
karkaaminen ei välttämättä muodosta liekkipaloa.

Moniksennoisissa akuissa lämpökarkaaminen ei tapahdu yhtäaikaaisesti kaikissa kennoissa, jonka vuoksi
akun kennoihin voi jäädä palon jälkeen sitoutunutta energiaa, joka voi reagoida myöhemmin. Lämpö-
karkaamisen jatkuessa akku voi käyttäytyä hallitsemattomasti ja useampi kenno voi reagoida saman-
aikaaisesti. Samankaltainen tapahtuman kulku tapahtuu myös isommissa akuissa.

6.1 Pienten akkujen sammutus ja jälkitoimenpiteet (moniksennoiset)

Tiedustelun yhteydessä selvitettävä, onko kyseessä yksittäinen akku, vai mahdollisesti keskitetty ak-
kulataamo, akkujen huoltotoimintaa suorittava yritys tai vastaava toiminta. Akun lämpökarkaaminen
ei aina muodosta liekkipaloa, jonka vuoksi syttyviä savukaasuja voi olla suljetussa tilassa.

a) Tiedustelu

a. Suojaustaso

- i. Yksikönjohtaja: Paloasu (taso 2), pitkä alusasu, turvapaineellinen paineilma-
hengityslaite (Sisäministeriö, 7.4), monikaasumittari (häkä ja hiilivety), jossa
riittävät mittausalueet (dsb, 35) ja lämpökamera (dsb, 30)
- ii. Pelastaja: Paloasu (taso 2), pitkä alusasu, turvapaineellinen paineilmahengi-
tyslaite (Sisäministeriö, 7.4) ja lämpökamera (dsb 2021, 30)
- iii. Lisäksi 3. pelastusryhmä: aktiivihiihiväliasu, jos joudutaan toimimaan pitkään
suljetussa tilassa, esimerkiksi akkulataamo tms.

- b. Suljetussa tilassa myrkyllisiä ja syttyviä kaasuja (huomioitava haitallisille aineille altis-
tuminen)



- i. Sähköpolkupyörän ja sähköskuutin akut voivat muodostaa normaalin kokoi-
seen huoneeseen leimahduskelpoisen kaasuseoksen lämpökarkaamisen yh-
teydessä, ellei varsinaista paloa ole vielä muodostunut (Meraner & Meliá
2020, 45).
 - c. Onko kyseessä keskitetty akkulataamo tai -korjaamo?
 - b) Varaudu rakennuspalon sammuttamiseen
 - a. Akusta lähtevien heitteiden vuoksi ympärillä olevat materiaalit voivat syttyä kauem-
pana akusta
 - b. Lämpökarkaamisen aikana voi muodostua voimakas kaasumainen liekki, joka osues-
saan muuhun materiaaliin aiheuttaa palon leviämisen.
 - c) Suljetun tilan tuulettamisen aloittaminen ennen palon sammutusta.
 - d) Palava litiumioniakku jäähdytetään ja sammutetaan vedellä (dsb 2021, 30 ja Ghiji ym. 2020,
13)
 - a. Varo akusta lähteviä heitteitä
 - b. Useampia kennoja, jotka reagoivat ketjureaktiomaisesti
 - c. Jäähdytä akku/akusto vähintään 50 °C lämpötilaan ennen siirtämistä (MSB 2024, 53).
 - e) Siirrä akku/akut pois sisätiloista
 - a. Täysin palaneita akkuja ei tarvitse siirtää, siirrettyjen vioittuneiden akkujen tai akun
paikka tulee kirjata tai kuvata mahdollista palontutkintaa varten muistiin
 - b. Siirrettäessä käsin polkupyörän tai skuutin vioittuneita akkuja jälkiraivauksen aikana
käytä jännitesuojakäsineitä.
 - i. Kerrostalossa ulkokautta akun siirtäminen palonarua hyödyntäen.
 - ii. Hyödynnä lapiota tms.
 - c. **Älä kuljeta vioittunutta akkua hississä!**
 - d. Upota vioittunut akku veteen (dsb, 11), vermikuliittiin, hiekkaan tai huokoiseen lasi-
rouheeseen ennen siirtoa. Kaikki kennot akussa eivät välttämättä ole reagoineet sa-
manaikaisesti, minkä vuoksi uudelleensyttyminen tulee estää. Edellä mainitut eivät
estä lämpökarkaamista, mutta estävät lämpökarkaamisesta johtuvan palon leviämi-
sen
 - e. Soveltuva suljettava astia paineenpurkuventtiilillä (ei saa olla ilmatiivis).
 - f) Tarkasta tilat lämpökameralla (heitteiden aiheuttamat kytöpalot?)
 - g) Kohteen luovutus ja jälkitoimenpiteet:



- a. Kohde voidaan luovuttaa omistajalle tai haltijalle, kun:
 - i. Palo on sammutettu ja vioittuneet akut tai akku on siirretty pois rakennuksesta
 - ii. Kohde on tarkastettu. Ympäristön tarkastus lämpökameraa hyödyntäen mahdollisten heitteiden vuoksi.
- b. Pelastuslaitoksella tulee olla sopimus vioittuneita akkuja vastaanottavan tahon kanssa, tai tieto siitä mihin vioittuneet akut voidaan toimittaa.



7 Litiumioniakkuenergiavarastot

7.1 Litiumioniakkuenergiavarastot (BESS) asuin- ja pienkiinteistöissä.

Asuin- ja pienkiinteistöissä akkuenergiavarastoja hyödynnetään esimerkiksi aurinkopaneelien tuottaman sähköenergian varastointiin ja sähköhinnan tasaamiseen. Akkuenergiavarastot voivat sijaita monessa paikassa pienissä kiinteistöissä niiden heikon ohjeistuksen ja valvonnan takia. Yleisimmät asennuspaikat ovat ulkona seinustalla, autotallissa, varastotilassa, erillisessä rakennuksessa tai kontissa. Kooltaan energiavarastot voivat vaihdella muutamasta kilowattitunnista kymmeneen kilowattituntiin. Lämpökarkaavaa akkua ja akustoa tulisi käsitellä samalla tavoin kuin kaasupulloja (MSB 2024, 33).

- a) Varaudu rakennuspalon sammuttamiseen.
- b) Määritä vaara-alueet (Sisäministeriö, 7.1 ja Tokeva, T9b)
 - a. Välittömän vaaran alue vähintään 25 m
 - b. Huomioi savun kulkeutuminen, varoita lähistöllä olevia ihmisiä.
- c) Yksiköt riittävälle etäisyydelle välittömän vaaran alueesta ja tuulen yläpuolelle (Sisäministeriö, 8.1).
- d) Tiedustele: (Mieti sammutustaktiikkaa (3.luku) hetki ennen kohteeseen menoa, tee riskinarviointi)
 - a. Suojaustaso
 - i. Yksikönjohtaja: Paloasu (taso 2), pitkä alusasu, turvapaineellinen paineilmahengityslaite (Sisäministeriö, 7.4), monikaasumittari (häkä ja hiilivety), jossa riittävät mittausalueet (dsb, 35) ja lämpökamera (dsb, 30)
 - ii. Pelastaja: Paloasu (taso 2), pitkä alusasu, (turvapaineellinen paineilmahengityslaite (Sisäministeriö, 7.4), monikaasumittari (häkä ja hiilivety), jossa riittävät mittausalueet (dsb 2021, 35) ja lämpökamera (dsb 2021, 30)
 - iii. Lisäksi 3.pelastusryhmä: aktiivihiiliväliasu, jos joudutaan toimimaan pitkään suljetuissa tiloissa,
 - b. Akuston sijainnin vaikutus pelastustoimintaan
 - i. Ulkotila, palon leviämisen estäminen ja jäähdytys
 - ii. Suljettutila, syttyvien savukaasujen leimahdusvaara, palon leviämisen estäminen. Tuuletuksen aloittaminen ennen sammutustehtävää ja tilaan menoa.
 - iii. (Pakoaukon tekeminen savulle/kaasulle kipinöimättömillä välineillä).



- e) Lähestyminen tuulen yläpuolelta
 - a. Altistumisen vähentäminen (PAH, PFAS, HCN, HCL, HF, CO, metallit).
- f) Sähkönkatkaisu energiavarastosta (Erillistä hätäkatkaisinta suositellaan asennettavaksi)
 - a. Energiavarastossa sitoutunutta energiaa jäljellä, huomioitava korkeajännitteen muodostamat riskit. Energiavaraston jännitteet vaihtelevat valmistajien mukaan 210–980 V välillä
 - b. Jos energiavaraston sähkönsyöttöä ei saada katkaistua, sammutus etäältä huomioiden sähköriskit ja muun ympäristön suojeleminen.
- g) Suljetun tilan tuulettamisen aloittaminen ennen tilaan menoa, jos kohteessa ei paloa
 - a. Vähennetään syttyvien savukaasujen leimahduksen riskiä, palamattomat kaasut voivat aiheuttaa syttyessään 1–4 kPa paineen (Schraiber ym. 2023, 190).
 - b. Vältä oleskelua ikkunoiden tai ovien läheisyydessä.
- h) Sammutus ja jäähdytys vedellä
 - a. Akkua tulee jäähdyttää palon sammuttamisen lisäksi (Ghiji ym. 2020, 13)
 - b. Varmista riittävä sammutusvesimäärä
 - c. Vesisumulla laimennetaan myrkyllisiä kaasuja (esim. fluorivety ja kloorivety ovat vesiliukoisia (Työterveyslaitos))
 - d. Aerosoli-/kaasupohjaiset sammutteet poistavat näkyvän liekin, mutta eivät estä akkujen lämpökarkaamista. Ne kuitenkin vähentävät liekkipalon muodostamaa lämpöä.
Huomioi sisätiloissa syttyvien savukaasujen leimahdusvaara!
 - e. Hyödynnä tarvittaessa täydentäviä sammutusmenetelmiä suljetun tilan sammutuksessa. Esimerkiksi: Sammutussauva, UHP, pistosuihkuputki jne. Vältä kipinöiviä menetelmiä. **Selvitä ennen täydentävien menetelmien käyttämistä akkujen sijainti.**
- i) Jos lämpökarkaamista ei saada estettyä tai sammutustyö ei ole mahdollista syttyvien savukaasujen leimahdusvaaran vuoksi, suojele ympärillä olevia rakenteita/rakennuksia ja estä palon leviäminen.
 - a. Liekkipalo pienentää syttyvien savukaasujen leimahdusriskiä. Huomioi mahdolliset sivutilat, joihin syttyviä savukaasuja on voinut kerääntyä.
- j) Huolehdi riittävästä miehistökierrosta, jos palon sammuttaminen kestää pidemmän aikaa.
 - a. Altistumista tulee vähentää ja sammutusmiehistön vaihtoa suositellaan yhden savusukelluskerran välein (yksi paineilmapullollinen, enintään 30 minuuttia). Aktiivihiihviäliasia käytettäessä voi työskentelyaika olla pidempi



- b. Energiavaraston (BESS) koon mukaan jäähdytys ja sammutustyö voi kestää muutamasta tunnista päivään.
- k) Kutsu akkuenergiavarastoja tunteva sähköalan ammattihenkilö paikalle (jos mahdollista laite-toimittajan edustaja)
 - a. Sähköalan ammattihenkilö varmistaa onko energiavarastoon jäänyt energiaa ja voi suorittaa tarvittavat irtikytkennät. Suljettuun tilaan mentäessä oltava hengityssuojain.
- l) Tarkasta tilat lämpökameralla.
- m) Kohteen jälkivartiointi
 - a. Kohde voidaan luovuttaa kiinteistönhaltijalle, kun tulipalo ja lämpökarkaaminen on päättynyt, sekä akuston lämpötila on alle 50 °C tunnin seurannan jälkeen tai akusto on siirretty pois rakennuksesta (MSB 2024, 53)
 - b. Älä siirrä akkuja, ennen kuin sähköalan ammattihenkilö antaa luvan. Pienet akustot voidaan siirtää pois rakennuksesta, uudelleensyöttymisen estämiseksi.
 - i. Akuissa voi olla jäljellä sitoutunutta energiaa, joka lisää riskiä sähköiskun todennäköisyydelle
 - ii. Siirrossa tulee käyttää soveltuvia työkaluja ja jännitesuojakäsineitä.

7.2 Litiumioniakkuenergiavarastot (BESS), energiavarastokentät ja akkuvarastot

Teollisuuden ja sähköverkon kysyntäjoustopäiväyksen tasaamiseen hyödynnettävät akkuenergiavarastot voivat sijaita erillisissä konteissa tai rakennusten sisällä. Energiavarastokentillä on useampia erillisiä akkuenergiavarastokontteja.

Lähtökohtaisesti suljetussa tilassa olevaa litiumioniakkuenergiavarastoa, jossa on meneillään lämpökarkaaminen, ei tule lähestyä tai ovia aukaista. Energiavarastokentille ei tule mennä ennen kuin paikalla on kohteen asiantuntija, tai asiantuntijalta on varmistettu kohteeseen turvallinen meneminen. Lämpökarkaavaa akkuja ja akustoa tulee käsitellä samalla tavoin kuin kaasupulloja (MSB 2024, 33).

Akkuja varastoidaan Suomessa kennoina, akkuina tai akustoina teollisuudessa. Akkuvarastojen koot vaihtelevat toimijoiden välillä. Kyseisissä kohteissa on suositeltavaa käydä tutustumassa ja perehtyä kohteen paloturvallisuuteen ja siihen, miten toimitaan poikkeustilanteissa. (EU:n akkuasetus 2023/1542, 12 artikla).

- a) Varaudu rakennuspalon sammuttamiseen



- a. Tehtävä voi olla pitkäkestoinen, vaatii paljon resursseja ja suurien energiavarastojen osalta jäädyttämistä, ja seuranta voidaan joutua tekemään useamman päivän ajan.
- b) Määritä vaara-alueet (Sisäministeriö, 7.1 ja Tokeva, T9b)
 - a. Välittömän vaaran alue vähintään 50 m – 100 m. Energiavarastokentillä vähintään 100–300 m.
 - b. Huomioi savun kulkeutuminen, evakuoit lähistöllä olevat ihmiset.
- c) Yksiköt riittävälle etäisyydelle välittömän vaaran alueesta ja tuulen yläpuolelle (Sisäministeriö, 8.1).
- d) Tiedustelu: (Mieti hetki sammutustaktiikkaa (3. luku) ennen kohteeseen menoa, tee riskinarviointi.)
 - a. Suojaustaso
 - i. Yksikönjohtaja: Paloasu (taso 2), pitkä alusasu, turvapaineellinen paineilmahengityslaitte (Sisäministeriö, 7.4), monikaasumittari (häkä ja Hiilivety), jossa riittävät mittausalueet (dsb, 35) ja lämpökamera (dsb, 30)
 - ii. Pelastaja: Paloasu (taso 2), pitkä alusasu, turvapaineellinen paineilmahengityslaitte (Sisäministeriö, 7.4), monikaasumittari (häkä ja Hiilivety), jossa riittävät mittausalueet (dsb 2021, 35) ja lämpökamera (dsb 2021, 30)
 - iii. Lisäksi 3. pelastusryhmä: aktiivihiihväliasu, jos joudutaan toimimaan pitkään suljetuissa tiloissa.
 - b. Akuston sijainnin vaikutus pelastustoimintaan
 - i. Ulkotila: Palon leviämisen estäminen. Litiumioniakkuenergiavaraston sisälle voi muodostua syttyvien savukaasujen leimahdusvaara
 - ii. Suljettu tila: **Syttyvien savukaasujen leimahdusvaara**, palon leviämisen estäminen.
 - c. Selvitä kohdekortista tai kohteen edustajalta kohteen tiedot (Kohteeseen suositellaan esimerkiksi kylttiä tai tarkempaa ohjeistusta QR-koodin avulla).
 - i. Ohjeistus kohteen pelastustoimista
 - ii. Kohteen sammutusjärjestelmä ja sen toimintatapa.
 - iii. Valmistajan on toimitettava kohteen omistajalle ohjeet, kuinka toimitaan poikkeus- tai tulipalotilanteissa (EU:n akkuasetus 2023/1542, 12 artikla).
- e) Lähestyminen tuulen yläpuolelta.
 - a. Altistumisen vähentäminen (PAH, PFAS, HCN, HCL, HF, CO, metallit).



- f) Sähkönkatkaisu kohteesta hätäkatkaisimesta tai pääkytkimestä.
- Akkuenergiavarastokentillä odota kohteen edustajan saapumista tai selvitä kohteen edustajalta, miten irtikytkentä voidaan suorittaa turvallisesti
 - Energiavarastossa on sitoutunutta energiaa jäljellä. Akkumoduulit yleensä on suunniteltu niin, että lämpökarkaaminen ei pääse helposti leviämään moduulista toiseen. Kaikki akkumoduulit eivät reagoi yhtä aikaa palotapahtuman aikana.
- g) Älä lähesty kohdetta ennen kuin kohteesta on hävinnyt savu ja liekki.
- Selvitä onko sammutuslaitteisto toiminut (akustinen tai optinen merkinanto). Jos ei, laukaise sammutuslaitteisto manuaalisesti
 - Energiavaraston sammutuslaitteisto
 - Aerosoli-/kaasupohjaiset sammutusjärjestelmät poistavat näkyvän liekin, mutta eivät estä akkujen lämpökarkaamista. Ne kuitenkin vähentävät liekkipalon muodostamaa lämpöä. **Huomioi sisätiloissa syttyvien savukaasujen leimahdusvaara!**
 - Selvitä onko paineenpurkuluukku toiminut
 - Anna energiavaraston oman sammutuslaitteiston ja paloturvallisuusjärjestelmän toimia. Odota vähintään 30 minuuttia**
 - Selvitä mahdollisuuksien mukaan LEL% kohteesta.
 - Vältä ikkunoita/ovia (Syttyvien savukaasujen leimahduksen myötä paineen nousu voi aiheuttaa sirpaleita).
- h) Savukaasujen tuuletus (Syttyvien savukaasujen leimahdusvaaran pienentäminen).
- Hyödynnä savunpoistolaitteistoa, jos se on kohteeseen asennettu
 - (Savunpoistoaukon tekeminen, älä käytä kipinöiviä välineitä).
- i) Sammutus ja jäähdytys vedellä.
- Akkua/akustoa tulee jäähdyttää palon sammuttamisen lisäksi vedellä (Ghiji ym. 2020, 13)
 - Varmista riittävä veden saanti
 - Hyödynnä kuivasprinkleriä, jos se on kohteeseen asennettu
 - Hyödynnä täydentäviä sammutusmenetelmiä, esimerkiksi varsisammutin, sammutusleikkuri tai pistosuihkuputki, älä käytä kipinöiviä välineitä.
- j) Jos lämpökarkaamista tai paloa ei saada estettyä tai sammutustyö ei ole mahdollista syttyvien savukaasujen leimahdusvaaran vuoksi, suojele ympärillä olevia rakenteita tai rakennuksia ja estä palon leviäminen.



- a. Erilliset energiavarastokontit: Suojele ympäristössä olevia muita akkuenergiavarastoja. Palavan akkuenergiavarastokontin hallittu poltto.
- k) Huolehdi riittävästä miehistökierrosta.
 - a. Lämpökarkaamisessa vapautuu myrkyllisiä kaasuja, jotka ovat haitallisia ihmisille ja ympäristölle
 - b. Altistumista tulee vähentää ja sammutusmiehistön vaihtoa suositellaan vähintään yhden paineilmapullollisen välein (noin 30 minuuttia). Aktiivihilliväliasulla toiminta-aika voi olla pidempi välittömän vaaran alueella. Valitulla sammutustaktiikalla voidaan vähentää altistusta.
- l) Kutsu energiavarastoja tunteva sähköalan ammattihenkilö paikalle (jos mahdollista laitetoimittajan edustaja).
 - a. Sähköalan ammattihenkilö varmistaa onko energiavarastoon jäänyt sähköenergiaa ja suorittaa tarvittavat irtikytkennät.
- m) Kohteen jälkivartiointi ja ympäristövahinko.
 - a. Kohde voidaan luovuttaa kiinteistönhaltijalle, kun tulipalo ja lämpökarkaaminen on päätynyt, sekä akkujen lämpötila on alle 50 °C tunnin seurannan jälkeen (MSB 2024, 53)
 - b. **Älä siirrä akkumoduuleja, akuissa voi olla vielä energiaa jäljellä**
 - c. Ilmoita palosta ympäristösuojeluviranomaiselle (isot litiumioniakkuenergiavarastot: Jos sammutusvesi on päässyt kosketuksiin akkukemian kanssa, sammutusvesi on saastunut). Sammutusjätevesi on todettu haitalliseksi ympäristölle (Mellert ym. 2020, 64).



8 Sähköajoneuvot (litiumioniakku)

Sähkökäyttöiset ajoneuvot ovat lisääntyneet viime vuosina huomattavasti. Sähköhenkilöautojen määrä on noussut ja raskaan liikenteen kalusto on enenevässä määrin sähköistymässä. Isommissa kaupungeissa paikallisliikenteessä sähkölinja-autot ovat lisääntyneet haitallisten ympäristövaikutusten kriteerien kiristyessä. Teollisuudessa on vielä käytössä lyijyakkukäyttöisiä trukkeja paljon, mutta niiden uusiutuessa litiumioniakkutrukkien määrä lisääntyy. Ajoneuvopalossa ja liikenneonnettomuuksissa pelastuslaitoksen tulee tunnistaa ajoneuvon käyttövoima.

Litiumioniakkuvalon liekki voi näyttää samankaltaiselle kuin kaasupalon liekki, mutta liekin pituus on lyhyempi ja sen voimakkuus voi vaihdella. Palavat kaasut purkautuvat voimakkaasti akun paineentasausaukoista tai muusta valmistajan suunnittelema ylipainemekanismista lämpökarkaamisen aikana (Hassinen 2022, 28).

Iso litiumioniakusto, joka on lämpökarannut tai palanut on aina vaarallinen siihen asti, kunnes se on kierrätetty kierrätyslaitoksessa. Uudelleensyttymismahdollisuus on huomioitava aina pelastustoiminnassa ja sähköajoneuvoja siirrettäessä karanteeniin tai kierrätykseen.

8.1 Sähköajoneuvopalon sammuttaminen ja jälkitoimenpiteet

- a) Pelastusyksikkö riittävälle etäisyydelle kohteesta.
- b) Määritä vaara-alueet, vähintään 25 m (Sisäministeriö, 7.1 ja Tokeva).
- c) Tiedustelu:
 - a. Suojaustaso: Paloasu (taso 2), pitkä alusasu, turvapaineellinen paineilmahengityslaitte, monikaasumittari jos suljetussa tilassa (CO ja hiilivety) riittävällä mittausalueella (dsb 2021, 35) ja lämpökamera (dsb 2021, 30)
 - i. Ajoneuvon lähellä häkäarvon (CO) koholla oleminen voi viitata tapahtumaan ajovoima-akussa (MSB 2024, 48).
- d) Tunnista palon lähde.
 - a. **Jos ajovoima-akusto ei pala, perinteinen autopalon sammutus** (Hassinen 2022, 18)
 - b. Korkeajänniteajoakun irtikytkentä ajoneuvo kohtaisen ohjeistuksen mukaisesti, jos akku ei ole reagoinut, esimerkiksi liikenneonnettomuus.
 - i. Autonvalmistajien mukaan ajovoima-akku kytkeytyy irti onnettomuustilanteissa automaattisesti, jos sähköautossa jokin turvalaite on reagoinut



- ii. Jännitetyökäsineet ja -työkalut!
- e) Lisäveden saannin varmistaminen.
 - a. Sammutus/jäähdytys voi vaatia yli 10 000 l vettä sähköauton palossa
 - i. Vesimäärä vähintään 400 l/min (DEMA 2023, 9)
 - ii. Jäähdytys on tehokkainta, kun vesi saadaan vietyä akkukoteloon. Tarvittava vesimäärä pienempi kuin ulkoisessa jäähdytyksessä (Sturm 2022, 3.2 luku)
- f) Latauksessa olevan ajoneuvon latauspiste sähköttömäksi hätäkatkaisimesta.
 - a. Latausjohdon irti kytkeminen
 - i. Latausjohtoa ei saa katkaista sähköiskuvaaran vuoksi
 - ii. Latauspistoolin lukitus voidaan avata ajoneuvokohtaisen ohjeen mukaisesti. (Euro Rescue, Crash Recovery System ja ajoneuvon manuaali).
- g) Suljetussa tilassa ensisijaisesti kaasujen/savujen tuuletus (altistumisen vähentäminen ja syttyvien savukaasujen leimahdusriskin alentaminen), avoimissa tiloissa ajovoima-akkupalon sammutus
 - a. Lähestyminen tuulen yläpuolelta
 - b. Savunpoistopuhaltimien/savutuulettimien hyödyntäminen suljetuissa ja avoimissa tiloissa
 - c. Huomioi savunpoiston ulostulo ja eristä alue sivullisilta
 - d. Ajoneuvon lähestyminen kulmittain, 45 astetta (Ei suoraan sivulta, edestä tai takaa) (CTIF, 63)
 - i. Vältetään liekkiä ja kaasupurkausta, sekä auton mahdollinen liikkuminen.
- h) Lämpökarkaamisen alkaessa vaalea/harmaata savua purkautuu voimakkaasti auton alta
 - a. Savua/kaasua voi purkautua sisätilaan, johon voi muodostua räjähdys/leimahduskel-poinen seos. Riko sähköajoneuvon ikkuna, jos on epäily kaasun kerääntymisestä au-ton sisätilaan
 - b. Savun väri muuttuu tummaksi muoviosien osallistuessa paloon
 - c. Voi esiintyä kaasupalonkaltainen liekki, joka yleensä tulee auton alta.
- i) Laita kiilat renkaiden eteen ajoneuvon liikkumisen estämiseksi.
- j) Sammutus/jäähdytys (Ulkoinen jäähdytys, akun kuoren läpäiseminen tai upottaminen)
 - a. Akkua tulee jäähdyttää vedellä palon sammuttamisen lisäksi (Ghiji ym. 2020, 13–15)
 - b. Jäähdytys on tehokkainta, kun vesi saadaan johdettua akkukoteloon (Willstrand ym. 2019, 9 ja MSB 2024, 32)



- c. Huomio riittävä sammutusvesimäärä
 - d. Liekkipalon sammuttaminen ei estä lämpökarkaamista akustossa.
- k) Aloita sammutus suihkuputkella, suorasuihkulla etäältä ja lähestyessäsi suurena suihkukulmaa.
- a. **Sammuta sähköajoneuvon palo ensin ennen kuin keskityt jäähdyttämään ajovoima-akkua**
 - b. Ajoneuvoissa korkeajänniteakut (< 400 V <), huomioi tarvittaessa turvaetäisyys
 - c. Vielä ei ole todennettu sähköiskutapaturmia sähköajoneuvopaloissa (EV FireSafe ja MSB 2024, 26–27). Sähköajoneuvoissa on ”kelluva järjestelmä”, eli ajovoima-akkua ei ole maadoitettu runkoon, jonka vuoksi sähköiskun vaara pieni, mutta järjestelmä voi vioittua.
- l) Jäähdytä ajovoima-akkua vedellä vähintään 30 min, jatka tarvittaessa 60 min.
- a. Jos ”palomiesluukku”, jäähdytys luukun kautta suorasuihkulla (kts. Ajoneuvokohtaiset ohjeet)
 - b. Hyödynnä esimerkiksi varsisammutinta tai alustasprinkleriä alapuolisessa jäähdyttämisessä
 - c. Jos jäähdyttäminen ei tehoa, voidaan hyödyntää lävistäviä menetelmiä, **jonka suorittaa kyseiseen menetelmään erikseen koulutettu pelastusryhmä**
 - d. Suojele ympärillä olevia ajoneuvoja tai rakenteita. Tarkkaile akuston lämpötilaa lämpökameralla (Tavoitteena kotelon pintalämpötila alle 50 °C)
 - e. Sammutus ja jäähdytys aina ensisijainen toimenpide, mutta haastavassa tilanteessa harkitse hallittua loppuun polttoa lähiympäristöä suojellen
 - f. Ei säännöllistä veteen upottamista
 - i. Upottaminen voi johtaa lämpökarkaamiseen veden aiheuttaman oikosulun takia. Upottamisveteen liukenee akusta ympäristölle haitallisia aineita.
 - ii. Upotusvettä ei saa päästää luontoon tai viemäriin. Upotusvesi tulee toimittaa soveltuvaan jätekäsittelylaitokseen. (Held ym. 2020, 5 luku).
- m) Suojele ja estä palon leviäminen ympärillä oleviin ajoneuvoihin tai rakenteisiin.
- n) Jälkivartiointi (SPPL 2022, 4).
- a. Jälkivartiointia tulee suorittaa vähintään tunnin ajan seuraten akuston lämpötilaa, akusta ei saa muodostua ääntelyä, kipinöitä tai savunmuodostusta
 - b. Jälkivartiointiin aikana tulee olla jatkuva sammutusvalmius.



- o) Huolehdi vahingontorjunnasta ja sammutusvesistä.
- a. Uputusmenetelmää käytettäessä sammutusjätevesi tulee toimittaa käsiteltäväksi. Uputuksen aikana veteen liukenee haitallisia aineita akustosta ja ajoneuvosta. (Mellert ym. 2020, 64–65)
 - b. Akun huuhtelu lisää sammutusveden haitallisuutta ympäristölle. (Hynynen ym. 2023, 36).
- p) Ajoneuvon siirtäminen, suljettu tai avoin tila.
- a. Siirto voidaan suorittaa sitten, kun lämpökarkaaminen on saatu hallintaan ja akku on jäähtynyt
 - b. Huomioi uudelleensyttymisen mahdollisuus
 - c. Hyödynnä siirron aikana renkaiden alle laitettavia siirtoalustoja suljetuista tiloista (Kuva 4)
 - d. Vaihtoehto 1: Siirtäminen hinausautolla sovittuun paikkaan
 - i. Palanut ajoneuvo sijoitettava erilleen muista kohteista ja etäisyys niihin vähintään 8 metriä.
 - ii. Eristys vähintään yksi viikko
 - iii. Toimintaohjeistus hinausauton kuljettajalle, suuremmissa kaupungeissa pelastusyksikkö saattamaan siirtoa
 - e. Vaihtoehto 2: Auton siirtäminen sammutuslavalle tai avoimeen konttiin
 - i. Ei vesitäyttöä
 - ii. Sammutuslavan tai kontin siirto ennalta sovittuun paikkaan ja etäisyys muihin kohteisiin vähintään 8 metriä.
 - iii. Eristys vähintään yksi viikko
 - iv. Lämpökarkaamisen uudelleen käynnistyttyä lava tai kontti täytetään vedellä akkutasoon asti.
 - v. Jäähdytysvesi ongelmajätettä ja toimitettava käsittelyyn.



Kuva 4. Ajoneuvon siirtoalusta (liro Wennberg).



9 Sähköajoneuvon sammutus/jäähdytysmenetelmät

Litiumioniakun sammutus ja jäähdytys on kustannustehokkainta vesipohjaisilla sammutteilla. Haittapuolena on, että vesi reagoi akussa olevien aineiden ja lämmön kanssa. Vesi lisää esimerkiksi fluorivedyn, hapen ja vedyn muodostumista, mutta kyseisiä aineita muodostuu muutoinkin lämpökarkaamisen yhteydessä. Veden ja muiden epäpuhtauksien myötä akusto menee oikosulkuun. (Ghiji 2020, 6.luku.)

Sähköisten ajoneuvojen akkupalossa akkukotelon sisälle viety vesi voi lyhentää sammutukseen ja jäähdytykseen tarvittavaa veden määrää ja aikaa huomattavasti (MSB 2023, 39 ja Hassinen 2022, 37). Haasteita veden suihkuttamisessa akkukotelon sisään muodostavat akkukoteloiden rakenne ja akuston sijainti sähköajoneuvoissa. Moni esitellyistä menetelmistä ei sovellu raskaan kaluston ajovoima-akkupalojen sammuttamiseen tai jäähdyttämiseen. Raskaan kaluston osalta ulkoinen jäähdyttäminen on myös ensisijaista.

Käsisammuttimilla ei voida jäähdyttää tai sammuttaa sähköajoneuvon ajovoima-akkupaloa, vaikka sammuttimien valmistajat näin ilmoittavat (Ev Firesafe, 04.10). Käsisammuttimien kapasiteetti ei riitä isojen akkujen riittävään jäähdyttämiseen, joka on tärkein keino litiumioniakkupalojen sammuttamisessa. Käsisammuttimet soveltuvat muuhun ajoneuvopaloon hyvin.

9.1 Auton sammutuspeite

Auton sammutuspeite ei ole sähköautopaloissa toimiva tai tehokas ratkaisu ja sen käyttöä ei suositella. Auton sammutuspeite ei pysäytä lämpökarkaamista. Helposti syttyvien ja palavien kaasujen kerääntyminen sammutuspeitteen alle voi aiheuttaa leimahdusvaaran.

Auton sammutuspeitteellä voidaan pienentää sähköautopalon tehoa, mutta sen paikalleen laittaminen ja peitteen reunojen tiivistäminen on haastavaa. Auton sammutuspeitteen käyttö voi ehkäistä akusta purkautuvan savun reaktiota ulkoisen hapettimen kanssa, vaikka se ei vaikuta akusta purkautuvaan happeen. Akusta muodostuvat kaasujen seokset voivat vaihdella voimakkaasti palon aikana. Tästä syystä peitteen käyttöön liittyy riskejä, jotka voittavat usein peiton mahdolliset hyödyt. Akkupalosta syntyvä voimakas kaasun purkautuminen ja liekki kykenee siirtämään sammutuspeitteen reunoja

ja sitä ei saada riittävän tiiviiksi. Akku itsessään tuottaa palon tarvitsemansa hapen, jonka vuoksi samanlaista tukahduttavaa vaikutusta ei saada aikaiseksi kuin muissa paloissa. (Sturm ym. 2022, luku 3.2.1; Albero 2021, 9.)

Auton sammutuspeitteen käyttö muuta ajoneuvon palavaa materiaa vastaan voi olla hyvinkin tehokasta olosuhteet, selvitysmatka ja kokonaistilanne huomioiden. Tässä tapauksessa sammuttajien osaaminen ja mahdollinen akkupalon tunnistaminen korostuu. Auton sammutuspeitteellä voidaan estää palon leviämistä, mutta se eristää hyvin lämpöä sisäänsä ja voi kiihdyttää akun reagointia. Lisäksi auton sammutuspeitteen haittapuolina on paino ja haastava ajoneuvon päälle laittaminen tilanteen aikana. Käytännössä auton sammutuspeite on kertakäyttöinen, koska sen puhdistaminen haitta-aineista on erittäin vaikeaa. (EV Firesafe, 04.10; Sturm ym. 2020, 4 luku; Albero 2021, 9.)

9.2 Lävistävät menetelmät

Lävistävät menetelmät eivät ole ensisijaisia menetelmiä sähköajoneuvon ajovoima-akuston paloissa. Lävistäviä menetelmiä tulee harjoitella ja menetelmän osaaminen tulee kouluttaa pienelle erikoiskoulutetulle henkilöstölle. Käytettävä kalusto suositellaan keskitettävän niille pelastusasemille, joilla riittävä osaaminen ja kyky suorittaa kyseinen menetelmä.

Lävistävän menetelmän tarkoituksena on hukuttaa akusto omaan koteloonsa. Lävistäviä menetelmiä käytettäessä sähköajoneuvo tulee stabiloida mahdollisemman suoraksi, jotta vesi saadaan jakautumaan akkukoteloon. Kovalla paineella syötetty vesi voi kuplia, jolloin jäähdytysteho laskee, mutta vesi voidaan pakottaa joka paikkaan akkukotelossa. Lämpökarkaamisen aiheuttama paine voi työntää vettä pois akkukoteloon muodostuneista aukoista.

Sähköajoneuvon akuston sisärakenne voi estää veden kulkeutumista ympäri akkukoteloita. Akkukoteloissa voi olla tikapuutyypinen sisärakenne (Kuva 5) tai uudemmissa voi olla kennojen välissä täyteainetta, joka estää veden leviämistä akkukotelossa. Hybridiautojen akustot poikkeavat täyssähköautojen akkukoteloista huomattavasti ja niiden jäähdyttämiseen ei välttämättä voida hyödyntää lävistäviä menetelmiä. Ulkoapäin ei voida tunnistaa akkukotelon sisäistä rakennetta. Ajoneuvojen pelastuskoristeista tai oppaista ei vielä löydy sammutustoimintaa varten tietoa akunrakenteesta, mutta se voi muuttua tulevaisuudessa. Lävistävää menetelmää käytettäessä pelastajan kykyä tulkita tilannetta on tällä hetkellä ratkaisevin tekijä menetelmän toimivuudesta akkupaloon.



Kuva 5. Audin akkukotelon sisärakenne.

Sähköajoneuvon akustopalon sammuttaminen on nopeinta, kun akustoon saadaan suihkutettua suoraan vettä. Lävistäväällä menetelmällä tehty jäähdytys vähentää huomattavasti tarvittavaa vesimäärää lämpökarkaamisen hallitsemiseksi (Sturm ym. 2020, luku 3.2.2). On huomioitava, että menetelmää käytettäessä akustoon syntyy uusia oikosulkuja. *Läpäisyyn on erilaisia menetelmiä ja sillä saadaan tehokkaampi jäähdytysvaikutus. Kääntöpuolena on menetelmän haasteellisuus ja lisääntynyt uudelleen-syttymisriski. Läpäisy rikkoo helposti kennoja akun sisältä, mikä saa kyseiset kennot reagoimaan.* (Hassinen 2022, 30.)

Sähköautojen valmistajat eivät suosittele lävistämismenetelmiä, mutta muutaman tutkimuksen mukaan se on tehokkain tapa hallita lämpökarkaamista (Ev Firesafe, 04.10). Alempana on esitelty muutama laite, joilla voidaan akkukotelon lävistäminen suorittaa. Markkinoille on tullut uusia laitteita näiden lisäksi, mutta pääsääntöisesti suurin osa on suunniteltu ainoastaan sähköhenkilöautoja varten.

9.2.1 UHP/Sammutusleikkuri (Cold Cut Cobra, tai muu)

UHP-järjestelmällä (Ultra High Pressure System) tehdään auton sisätilan kautta reikä lattian läpi akustoon, ja reiän kautta saadaan suihkutettua vettä korkeapaineella akustoon. UHP:n käyttäjiä tulee suojata alta tulevilta liekeiltä matalapainesuihkulla toisen pelastajaparin toimesta. Kaasuille ja savulle altistumista voidaan vähentää pelastajien taakse laitettavalla savutuulettimella ja pelastajien oikeanlaisella sijoittumisella. UHP-laitteen taktiikkana on etsiä lämpökameralla lämpöpisteitä, joiden kohdalta UHP-laitteella läpäistään lattiarakenteet. Lävistyskohtaa vaihdetaan havaittujen vaikutusten mukaan (liekkien poistuminen ja savun muodostuminen). UHP:ta käytettäessä voidaan lisätä turvallisuutta liittämällä peitsiosaan jatko-osa. Yksikönjohtajan tulee tarkkailla ympäristöä ja ohjailta tarvittaessa pelastajia. Toimintamallia tulee harjoitella, jotta se onnistuu todellisessa tilanteessa. Uusimman tutkimuksen mukaan sähköiskunvaara on erittäin pieni, ja toimintamallia suositellaan Alankomaissa ja Ruotsissa. (NIPV 2024, 8.luku; MSB A 2023.)

9.2.2 Lyöntisuihkuputket

E-Murer ja T-ISS valmistavat lyöntisuihkuputkia, jotka voidaan lyödä lekan avulla akkukoteloon. Käytettäessä putkea tulee tietää missä kohtaa akusto on ja erityisesti lämpökarannut kohta, jotta saataisiin haluttu jäähdyttävä vaikutus. Putket on suojattu 1000 V eristävällä kerroksella. Muitakin samankaltaisten mallien valmistajia on olemassa. (Hassinen 2022, 33.)

Lyöntisuihkuputket tarvitsevat työskentely tilaa ja kaksi pelastajaa, jotta se voidaan lyödä akkukoteloon. Toiminta-ajatuksena on saada vesi akkukoteloon, mutta haasteena on se, mistä kohtaa on mahdollisuus tavoittaa akusto ja saadaanko suihkuputki lyötyä riittävän pitkälle. Samanaikaisesti on tehtävä ulkoista jäähdytystä.

9.2.3 AVL Stingray one

Laite asennetaan ajoneuvon sisään ajoneuvon katon ja sisälattian väliin. Sijoituspaikat ovat rajalliset, koska laite tarvitsee kattorakenteen toiseksi pisteeksi ja suoran yhteyden lattiaan. Ajoneuvon istuimet estävät laitteen vapaan sijoittamisen haluttuun kohtaan. Pistin työntyy akkukoteloon ja sen kautta veden jäähdyttävä vaikutus saadaan vietyä akustoon (Hassinen 2022, 34.)

Haasteena laitetta asennettaessa on se, että pelastajan tulee työskennellä sähköajoneuvon sisätilassa. Laitetta käytettäessä ulkoista jäähdytystä sekä kaasujen tuuletusta on tehtävä samanaikaisesti.

9.2.4 Auton alle laitettavat lävistävät laitteet

Yksi lävistysmenetelmä on tehdä reikä akustoon soveltuvalla laitteella sähköauton alapuolelta. Esimerkiksi tästä käy Rosenbauerin BEST-laite, joka työntää piikin akkukoteloon, jonka kautta vettä saadaan suihkutettua akustoon jäähdyttämään kennoja. BEST-laitteen koon vuoksi se ei mahdu suoraan matalien sähköautojen alle. Erillisissä testeissä on havaittu, että laite on vaikea irrottaa ajoneuvon pohjasta käytön jälkeen, koska kotelon läpi laukaistu piikki voi jäädä jumiin. (Hassinen 2022, 33.)

Samankaltainen sähköauton alle laitettava laite on myös Suomessa kehitetty. Kyseistä laitetta ei ole vielä täysimittaisesti testattu sähköauton ajovoima-akkupalon sammuttamisessa. Laitteen teknisen ratkaisun myötä se ei jää jumiin sähköauton alustaan. Kyseisellä laitteella voidaan jäähdyttää alustaa ja suihkuttaa vettä akkukoteloon samanaikaisesti.

9.3 Ulkoinen jäähdytys

Ulkoinen jäähdyttäminen on ensisijainen menetelmä sähköajoneuvon ajovoima-akuston palossa.

Tarkoitus on sitoa lämpöä, jotta kennosta toiseen tapahtuva lämpöjohtuminen saataisiin pysähtymään. Ulkoista jäähdyttämistä tulee tehdä myös, kun käytetään muita menetelmiä (Hassinen 2022, 31). Ulkoista jäähdyttämistä voidaan toteuttaa perinteisellä suihkuputkella tai seuraavien alakappaleiden mukaisin menetelmin. Pohjajäähdytystä voidaan pääsääntöisesti toteuttaa henkilöautoissa, mutta isompien sähköajoneuvojen kohdalla tulee eri menetelmiä soveltaa akuston sijainnin mukaan.

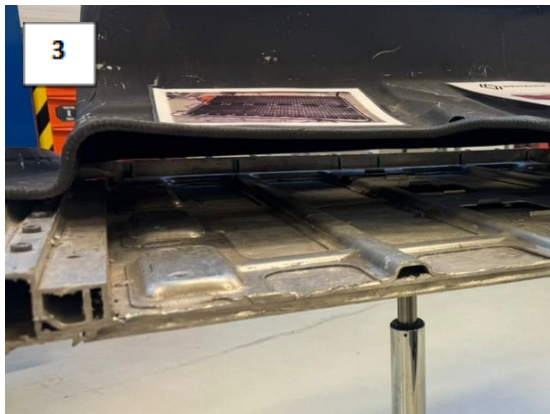
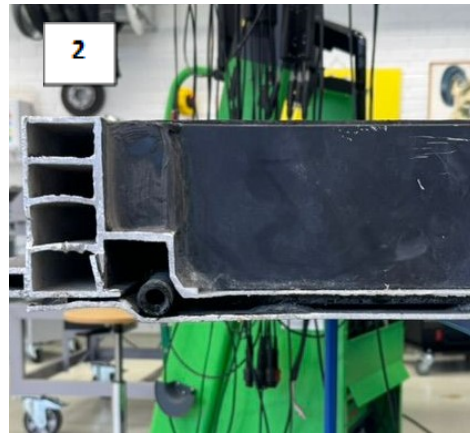
Jäähdytyksen teho riippuu ajoneuvon ja akuston rakenteesta. Nykyaikaisten sähköautojen pohja ja akkukotelon rakenne on vahvempaa ja monikerroksisia, joka vähentää ulkoisen jäähdytyksen vaikutuksia ajovoima-akustoon. Myös akkumoduulien ja kennojen koot ovat kasvaneet, jonka vuoksi pohjajäähdytystä tulee tehdä mahdollisemman laajalta alueelta.

Jäähdytyksen kohdistumista akustoon voidaan tarvittaessa helpottaa kallistamalla sähköajoneuvoa (Hassinen 2022, 31). Suihkuputkella jäähdytettäessä veden määrä on suuri, mutta sammutus/jäähdytysveden saastuminen on vähäisempää upottamiseen verrattuna.

9.3.1 Alustasprinkleri

Alustasprinkleriä voidaan hyödyntää sähköajoneuvon alapuolisessa akuston jäähdytyksessä. Alustasprinkleriä käytettäessä pelastajien eivät altistu savu- ja palokaasuille, ja sen käyttö on mahdollista yhden pelastusyksikön voimin. Jäähdytys ei suoraan vaikuta akustoon, vesimäärä on suuri ja sammutusvesiä ei saada kerättyä talteen (Helander 2022, 37–38). Muutamia samankaltaisia ratkaisuja on itseenäisesti rakenneltu eri pelastuslaitoksilla.

Alustasprinklerin jäähdyttävään vaikutukseen vaikuttaa vahvasti akkukotelon rakenne ja sen paksuus. Esimerkiksi muiden valmistajien akkukoteloista poiketen Teslan malleissa akkukotelo on yksinkertainen (Kuva 6, 1), jolloin jäähdyttävä vaikutus saadaan suoraan akkuja suojaavaan rakenteeseen. Akkukotelo materiaalit voivat vaihdella alumiinista ruostumattomaan teräkseen ja vahvin osa akkukotelosta on sen alapuoli. Akkukotelon pohja voi olla paksu, monikerroksinen, jossa sijaitsee akuston omia jäähdytyskanavia tai akkukoteloa voi suojata erillinen pohjapanssari (Kuva 6, 2 & 3).



Kuva 6. Akkukotelon rakenteet. 1.kuva Teslan akkukotelo ja 2. sekä 3.kahden muun sähköautovalmistajan akkukoteloiden leikkauskuvat (Iiro Wennberg).

9.3.2 Varsisammutin

Varsisammutin voidaan työntää auton alle ja sen avulla pelastajien altistumista voidaan vähentää. Varsisammutin on suunniteltu avopalona palavan ajoneuvopalon tai huoneistopalon sammuttamiseen ulkoapäin (Hassinen 2022, 32). Varsisammuttimen tyyppisiä ratkaisuja on useampia vaihtoehtoja eri valmistajilta. Varsisammutin voidaan myös asettaa itsenäisesti toimimaan ajoneuvon sisätilaan

9.4 Upottaminen

Upottamalla saadaan mahdollisesti parempi jäähdytysteho kuin ulkoisella jäähdyttämisellä ja vesihaude sitoo palossa vapautuvia haitallisia aineita. Toisaalta siinä mahdollisesti akkuun päätyvä vesi lisää uudelleensyttymisen riskiä merkittävästi. Upottavassa menetelmässä vesi ei pääse akkuun palon



*aktiivivaiheessa, kun akun sisäinen paine on korkea kennojen avautuessa. Akun sisäisen paineen las-
kiessa vesi pääsee akun sisään.* (Hassinen 2022, 30, 37.)

Upotusmenetelmää on perusteltu sillä, että se purkaisi akun varausta. Vahvaa näyttöä sille, että akut tyhjenisivät upotuksen aikana ei ole. Tämän hetken tiedon mukaan akuston ehjiin kennoihin jää varausta. Pitkäaikainen hukutus altistaa ehjät kennot ruosteelle ja epäpuhtauksille, jonka myötä uusien oikosulku mahdollisuuksien lisääntyä. Pelastushenkilöstö ei voi todentaa akun varauksen purkaantumista.

Upotusmenetelmiä on olemassa useampia, esimerkiksi lava, kontti tai erilliset altaat, jotka asennetaan ajoneuvon ympärille. Upotuslavaa tai konttia käytettäessä akun lämpökarkaaminen ja palo on saatava loppumaan, ennen kuin ajoneuvo voidaan siirtää niihin turvallisesti. Upotuslavalle tai konttiin sähköajoneuvo voidaan vetää tai nostaa. Upotuslavaa tai konttia käytettäessä ajoneuvon tulee jäädä siihen vähintään pari vuorokaudeksi uudelleensyttymisen estämiseksi (Hassinen 2022, 36). **Upotusmenetelmää käytettäessä akuston varaus ei välttämättä tyhjene, vaan kennoihin voi jäädä varausta vielä jäljelle!**

Sammutuslavaa (Kuva 7) tai -konttia voidaan ilman vettä hyödyntää sähköajoneuvon säilytykseen ja siirtämiseen, tällöin se voidaan tarvittaessa täyttää vedellä uuden lämpökarkaamisen tapahtuessa. Kyseinen malli estää tehokkaasti palon leviämistä ja sammutusjäteveden kerääminen on mahdollista (Helander 2022, 42). Haasteena upotuslavan tai kontin käytölle ovat talviset olosuhteet. Konttia käytettäessä tulee huomioida, että se ei ole tiivis ja akustosta muodostuvat syttyvät kaasut pääsevät tuulettumaan pois. Useampi sähköautonvalmistaja ei suosittele tällä hetkellä upotusmenetelmää käytettäväksi. Kyseistä mallia käytettäessä sammutusvesi saastuu voimakkaasti ja on toimitettava erilliseen käsittelyyn (Hynynen ym. 2023, 36; Mellert ym. 2020, 64–65).



Kuva 7. Sammuuslava

Tilapäisaltaita voidaan käyttää, mutta niitä ei välttämättä saada riittävän tiiviiksi, vaan niihin voidaan joutua lisäämään vettä aika ajoin. Tilapäisallasta käytettäessä ajoneuvon lämpökarkaamisen ja palon tulisi olla loppu ja sähköajoneuvon tulisi jäädä paikalleen, jotta jäähditys olisi kyllin tehokasta. Kyseistä mallia käytettäessä sammutusvesi saastuu voimakkaasti ja on toimitettava erilliseen käsittelyyn (Hynnen ym. 2023, 36; Mellert ym. 2020, 64–65).

Lähteet

- Ala-Kokko, V. 2021. Savusukellusopas. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_A/A1_2021.pdf.
- Barowy, A. UL Research institute. The Science of Fire and Explosion Hazards from Lithium-Ion Batteries. <https://fsri.org/lithium-ion-battery-guide>.
- CRBAman. 2024. Litiumioniakku kennot. CC BY-SA 4.0. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=151003049>.
- CTIF, Comité Technique International de prevention et d'extinction de Feu. 2020. FIRE SERVICE OPERATIONAL HANDBOOK EMERGENCY RESPONSE ON VEHICLES. <https://www.ctif.org/training-and-tools/emergency-response-vehicles>.
- DEMA. Danish Emergency Management Agency. 2023. Theme Booklet. Responding to electric and hybrid vehicle fires. <https://www.brs.dk/en/nyheder-og-publikationer/publikationer2/alle-publikationer/2023/responding-to-electric-and-hybrid-vehicle-fires/>.
- dsb. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Risk assessment and handling of fire in lithium-ion batteries. 2021. <https://www.dsb.no/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterieell/risk-assessment-and-handling-of-fire-in-lithium-ion-batteries/>.
- Ekberg, L., Langer, S., Strandberg, B. 2021. Testing of clothing for the protection of firefighters against exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in fire smoke. <https://www.cppgarments.com/tests-and-reports>.
- Euroopan unionin asetus 2023/1542. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32023R1542>.
- EV FireSafe. 2023. All electrified transport lib fire incidents. https://www.evfiresafe.com/files/ugd/8b9ad1_c25fd371dc4b43849a09d37fa53089f7.pdf.
- EV FireSafe. 2024. Passenger EV LIB fire incident. https://www.evfiresafe.com/files/ugd/8b9ad1_1e058681d2e447fdbe00fce9c46d4ec8.pdf.
- Everaert, S., Schoeters, G., Claes, K., Raquez, J-M., Buffel, B., Vanhaecke, T., Moens, J., Laitinen, J., Van Larebeke, N., Godderis, L. 2023. Balancing Acute and Chronic Occupational Risks: The Use of Nitrile Butadiene Rubber Undergloves by Firefighters to Reduce Exposure to Toxic. Contaminants <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10301703/>.
- Ghiji, M., Novozhilov, V., Moinuddin, K., Joseph, P., Burch, I., Suendermann, B. ja Gamble, G. 2020. A Review of Lithium-Ion Battery Fire Suppression. <https://vuir.vu.edu.au/42560/1/energies-13-05117-v2.pdf>.
- Hallikainen, V. 2017. Ajoneuvojen Li-ion-akkujen palotutkimus. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK) Auto- ja kuljetustekniikka, Insinööriyö. <https://pdfs.semanticscholar.org/efe3/a926849dcd3031fd462e2ddc0c2781ef3114.pdf>.
- Hassinen, M. 2022. Pelastusopisto. Uudet energiamuodot liikennevälineissä ja energiavarastoissa. Sammutustaktiikka ja -tekniikka. http://info.smedu.fi/kirjasto/sarja_B/B2_2022.pdf.

- Helander, T. 2022. Sähköautojen akkupalojen sammutusmenetelmät. Pelastustoimen toteuttamat sammutusmenetelmät tilannepaikalla. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/780338/Sa%cc%88hko%cc%88autojen%20akkupalojen%20sammutusmenetelma%cc%88t.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Held, M., Tuchschnid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L., Welte, U., Kompatscher, M., Hermann, M., Nachev, L. 2022. Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122003793>.
- Huttu, I., Ala-Kokko, V., Paloluoma, P., Smura, M., Ronkainen, J., Jämsä, J., Mustonen, A., Meurman, K ja Hassinen, M. 2022. Pelastusopisto. Rakennuspalon sammutus. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_A/A3_2022.pdf.
- Hynynen, J., Willstran, O., Blomqvist, P., Quant, M. 2023. Rise. Investigation of extinguishing water and combustion gases from vehicle fires. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1744894/FULLTEXT01.pdf>.
- Hynynen, J., Willstrand, O., Blomqvist, P., Andersson, P. 2023. Analysis of combustion gases from large-scale electrical vehicle fire tests. Fire Safety Journal 139 103829. [Analysis of combustion gases from large-scale electric vehicle fire tests - ScienceDirect](#).
- IARC. 2010. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. Painting, Firefighting, and Shiftwork. Firefighting 98, 397–451.
- IARC. 2022. IARC monographs evaluate the carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter. <https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-evaluate-the-carcinogenicity-of-occupational-exposure-as-a-firefighter/>.
- Laitinen J., Hassinen M., Kiviranta K., Toivanen P., Huttu I., Savola R., Ahonen V., Ruusunen J., Rissanen S., Uusitalo A. 2022. Pelastajan työvälineet ja henkilökohtaiset suojaimet metsäpaloissa. Pelastusopisto, B-sarja 1/2022. Kuopio. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_B/B1_2022.pdf.
- Laitinen J., Koponen J., Koikkalainen J., Kiviranta H. 2014. Firefighters' exposure to perfluoroalkyl acids and 2-butoxyethanol present in firefighting foams. Toxicology Letters, 231: 227–232
- Laitinen J., Lindström A., Jumpponen, M., Lallukka, H., Hassinen, M. 2019. Asbestille altistuneiden työvaatteiden varustehuollon toimivuuden testaaminen. Raportti Työsuojelurahastolle. Tietoa työstä -sarja. Työterveyslaitos Helsinki. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=117083#materials>.
- Laitinen J., Mäkelä M., Mikkola J., Huttu I. 2012. Firefighters' multiple exposure assessments in practice. Toxicology Letters 213:129–133.
- Laitinen, J., Jumpponen, M. 2016. Korkeajänniteakkukennojen ja akkujen palot, niiden sammuttaminen ja riskienhallinta. Työterveyslaitos. TYHYG-2016- 327990.
- Laitinen, J., Jumpponen, M., Heikkinen, P., Lindholm, H., Lindholm, T., Sistonen, H., Halonen, J. 2015. Tehostesavujen haitalliset keuhko- ja verisuonivaikutukset ja niiden torjunta. Raportti Työsuojelurahastolle, Palosuojelurahastolle ja Valtiokonttorille. Huhtikuu 2015, Työterveyslaitos. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=112091#materials>.



- Laitinen, J., Lindholm, H., Aatamila, M., Hyttinen, S., Karisola, P. 2016 Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operatiivisessa toiminnassa. Raportti Palosuojelurahastolle ja Työsuojelurahastolle. Tietoa Työstä –sarja, Työterveyslaitos Helsinki. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankeet/hanke?h=113080#materials>.
- Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., Mellander, B.-E. 2017. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Sci. Rep. 7, 10018. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>.
- Lecocq, A., Bertana, M., Truchot, B., Marlair, G. 2012. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle, in: International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2012. Chicago. pp. 183–194. <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973680/document>.
- Mellert, L., Tuchschild, M., Hermaan, M., Tesson, M. 2020. Risikominimierung von Elektrofahrzeugbränden in unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen. https://amstein-walthert.ch/media/files/2021/01/Risikominimierung_von_Elektrofahrzeugbr%C3%A4nden_in_unterirdischen_Verkehrsinf_w74WhYu.pdf.
- Meraner C. Li, T. Meliá, C. 2021. RISE. Avgassing fra litium-ion batterier i hjemmet. <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/andre-rapporter/rapport---avgassing-fra-litium-ion-batterier-i-hjemmet.pdf>.
- MSB. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. 2023. Demonstration av släckmetod för litiumjonbatterier. <https://rib.msb.se/filer/pdf/30340.pdf>.
- MSB. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. 2024. Vägledning - Räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer. <https://www.msb.se/sv/publikationer/vagledning---raddningsinsats-dar-litiumjonbatterier-forekommer/>.
- Mylenbusch, I., Claffey, K., Chu, B. 2023. Hazards of lithium-ion battery energy storage systems (BESS), mitigation strategies, minimum requirements, and best practices. https://www.researchgate.net/publication/371850177_Hazards_of_lithium-ion_battery_energy_storage_systems_BESS_mitigation_strategies_minimum_requirements_and_best_practices.
- NFPA. National Fire Protection Association. NFPA 1851 (2020): Standard on Selection, Care, and Maintenance of Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting.
- NIPV. Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. 2024. Fire experiment to examine the use of ultra-high pressure extinguishing systems for fires in batteries of electric vehicles. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2024/11/20241126-NIPV-Fire-experiment-to-examine-the-use-of-ultra-high-pressure-extinguishing-systems-for-fires-in-batteries-of-electric.pdf>.
- Posniak, M. 2000. Chemical hazards in fire-fighting environments. Medycyna Pracy 51 (4), 335–344.
- Salmi, R., Laitinen, J. 2024. Varusteiden ja kaluston puhdistusmenetelmien arviointi ja kehittäminen (SAVE-hanke). http://info.smedu.fi/kirjasto/sarja_B/B1_2024.pdf.
- Savolainen, H., Kirchner, N. 1998. Toxicological mechanism of fire smoke. The International Journal of Rescue and Disaster Medicine 1 (1).

- Schraiber, A., Barowy, A., Gaudet, B., Kimmerly, V. 2023. Considerations for Fire Service Response to Residential Battery Energy Storage System Incidents. https://www.iaff.org/wp-content/uploads/IAFF_DOE_ResidentialESSConsiderations_Final.pdf.
- ScienceDaily. 2019. Scientists pinpoint cause of harmful dendrites and whiskers in lithium batteries. <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/10/191014111723.htm>.
- Sisäministeriö. 2023. Ohje pelastustoimen sukellus- ja pintapelastustoimintaan. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165143/SM_2023_28.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- SPPL. Suomen palopäällystiiliitto. 2022. Toimintaohje 12/2022. Sähköautopalo pysäköintilaitoksessa. https://sppl.fi/content/uploads/2023/08/OHJE_Sahkoautopalo-pysakointilaitoksessa_SPPL-1.pdf.
- STM. 2020. HTP-arvot 2020, haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisu 2020:24. Sosiaali- ja terveysministeriö 2020, Helsinki.
- Sturm, P, Fößleitner, P., Fruhwirt, D., Galler, R., Wenighofer, R., Franz Heindl, S., Krausbar, S., Heger, O. 2022. Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711222001722#sec3>.
- Taeger, D., Koslitz, S., Käfferlein, H., Pelzl, T., Heinrich, B., Breuer, D., Weiss, T., Harth, V., Behrens, T., Brüning T. 2023. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons assessed by biomonitoring of fire-fighters during fire operations in Germany. International Journal of Hygiene and Environmental Health 248, 114110
- Tokeva. <https://tokeva.fi/#/tervetuloa>.
- Työterveyslaitos. Fluorivety ja fluorivetyhappo. <https://ova.ttl.fi/fluorivety-ja-fluorivetyhappo>.
- Varone, C., Jutras, K., Molis, J. 2006. Report of the Investigation Committee into the Cyanide Poisoning of Providence Firefighters. <http://www.waterburyfire.org/Docs/providence.pdf>.
- Willstrand, O., Bisschop, R. ja Rosenbergen, M. 2019. Fire Suppression Tests for Vehicle Battery Pack. https://www.researchgate.net/publication/337330881_Fire_Suppression_Tests_for_Vehicle_Battery_Pack.
- Willstrand, O., Bisschop, R., Blomqvist, P., Temple, A., Anderson, J. 2020. RISE. Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles. <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1522149/FULLTEXT01.pdf>.
- Wingfors, H., Magnusson, R., Thors, L., Thunell, M. 2021. Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen - risker for hudupptag vid insatser. <https://rib.msb.se/filer/pdf/29507.pdf>.
- Wingfors, H., Rattfelt Nyholm, J., Magnusson, R., Hammar Wijkmark C. 2018. Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers. Annals of Work Exposures and Health, 62, No. 2, 221–231 doi: 10.1093/annweh/wxx097.
- Wu, T., Chen, H., Wang Q., Sun, J. 2018. Comparison analysis on the thermal runaway of lithium-ion battery under two heating modes. Journal of Hazardous Materials 344, 15:733-741. [Comparison analysis on the thermal runaway of lithium-ion battery under two heating modes - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.041).

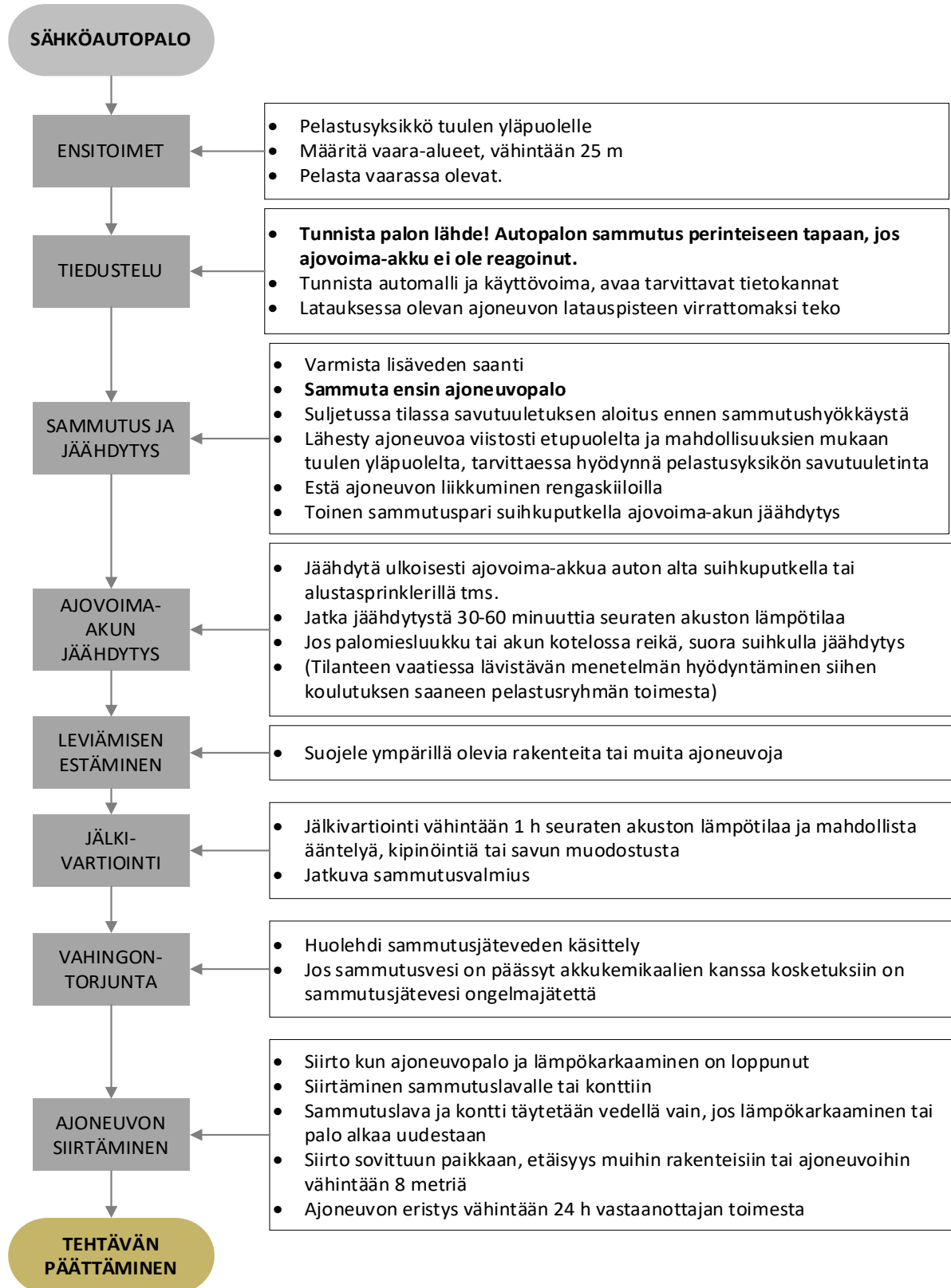


Albero. 2021. Summary of the results of the project ALBERO. Transport of alternatively operated vehicles on RoRo ferries. https://alberoprojekt.de/index_htm_files/all_over_Summary_ALBERO_Results_final.pdf



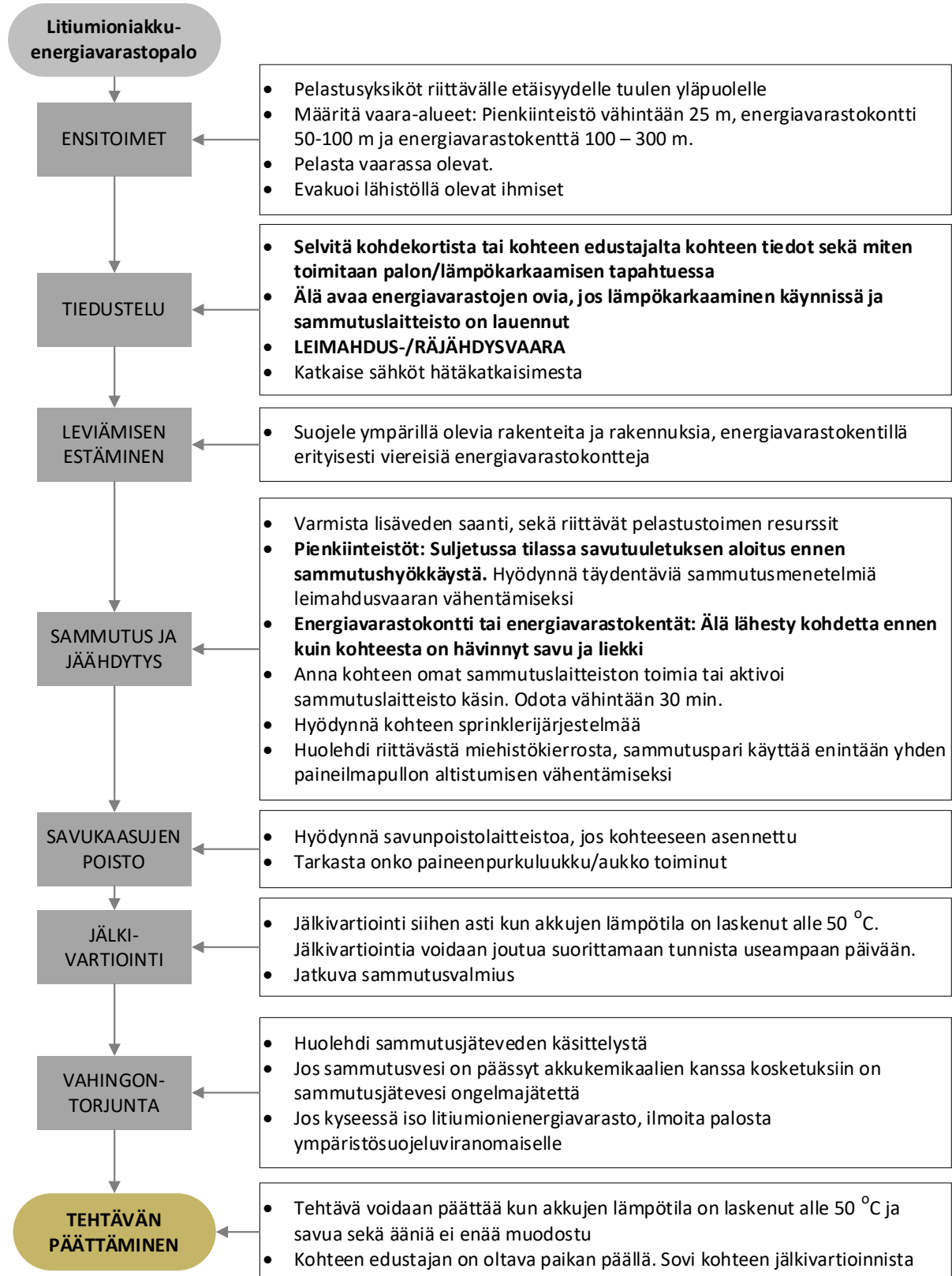
Liitteet

Liite 1. Sähköajoneuvopalon ohjekortti





Liite 2. Litiumioniakkuenergiavarastopalon ohjekortti





Liite 3. Akkuenergiavaraston kohdekorttimalli

Kohdekorttimalli on muokattu liro 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 häätätilanteisiin

Yritystiedot

kohteen osoite

QR-koodi tai lyhytverkko-osoite sähköiseen kohdekorttiin.



Tiivistelmä

Perustieto

Yhteystiedot hätätilanteissa	(henkilö/t, puhelinnumero/t)
Käytetty akkukemiat	(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)
Räjähdyksen/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 sisääntulo kohta.
 - a. Ilmakuvasssa 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 kytetään irti sähköverkosta.
- Lisää kuva hätäseisäkytkimen 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 huomioon otavat, jotka eivät sovellu aiempien otsikoiden alle