



PELASTUSOPISTO

PSR
PALOSUOJELURAHASTO

Litiumioniakkujen paloturvallisuus teollisuudessa

Jari Mikkonen, Kimmo Rytönen, Juha Laitinen, hankekumppanit ja kehittämistyöryhmä





Sisällys

1	Johdanto	5
2	Lyhenteet ja käsitteet	6
3	Litiumioniakkupalon tunnistaminen ja sammutuksen turvallisuus	7
3.1	Sammutuksen perusteet	7
3.2	Akkupalon tunnistaminen ja kehittyminen	8
3.3	Sammutuksen turvallisuus	8
4	Toiminta akkupalon sattuessa	9
4.1	Alkusammutusmenetelmät	9
4.1.1	Jäähdytykseen perustuvat alkusammutusmenetelmät	9
4.1.2	Tukahduttamiseen perustuvat alkusammutusmenetelmät	11
4.1.3	Akun evakuointi	11
4.2	Henkilökohtaiset suojaimet	12
4.2.1	Lyhytaikainen altistuminen ja siihen sopivat henkilökohtaiset suojarusteet	12
4.2.2	Pitkäaikainen altistuminen ja siihen sopivat henkilökohtaiset suojarusteet	13
4.3	Alkusammutustoimenpiteet akkupalon sattuessa	14
5	Litiumioniakkujen valmistus ja käsittely teollisuudessa	15
5.1	Akkujen ja akkujärjestelmien valmistus	15
5.1.1	Tunnista akkujen valmistuksen erityisriskit	15
5.1.2	Akkupalon sammuttaminen valmistuslinjalla	16
5.1.3	Akun evakuointi valmistuslinjalta	16
5.1.4	Pelastuslaitoksen avustaminen akkupalo-tilanteessa	17
5.1.5	Akkupalon tunnistaminen linjalla	17
5.1.6	Akkupalojen automaattinen sammuttaminen	18
5.2	Laitteiden ja koneiden valmistaminen	18
5.3	Akkujen ja akkujärjestelmien varastointi	19
5.3.1	Litiumioniakkuvarastojen rakenteellinen palonsuojaus	20
5.3.2	Akkuvarastopalon sammutusvesien keräys	21
5.3.3	Akkupalontunnistaminen varastossa	21
5.4	Vikaantuneiden akkujen säilytys	22
5.4.1	Varaston merkinnät	23
5.4.2	Vikaantuneiden akkujen varaston sijainti	23



5.4.3	Muistilista akkujen säilytykseen:	23
6	Litiumioniakkuja sisältävien laitteiden käyttö ja lataus toimisto- ja teollisuusympäristössä.....	24
6.1	Polkupyörät ja käsityökalut.....	24
6.1.1	Pienten ja keskisuurten akkujen (alle 1kwh) lataaminen avoimessa tilassa.....	24
6.1.2	Pienten ja keskisuurten akkujen (alle 1kwh) lataaminen latauskaapissa	25
6.1.3	Litiumioniakkuvaraston kaasunpoisto	26
6.2	Sähköautot	27
6.2.1	Autojen latauspaikat	27
6.2.2	Savukaasujen hallinta autopalossa	28
6.2.3	Palonleviäminen parkkihalleissa	28
6.2.4	Sähköautonlataus standardit ja suositukset	29
6.3	Litiumioniakuilla varustetut trukit ja muut niihin verrattavat laitteet	29
7	Akkujen kierrätys ja jälkitoimenpiteet.....	31
7.1	Käytöstä poistettujen pienet ja keskisuurten akkujen keräys ja kuljetus.....	31
7.2	Akkujen kierrätyksen turvallisuus	33
7.2.1	Akkujen vastaanotto ja varastointi kierrätystoimijoilla	33
7.2.2	Akkujen mekaaninen purkaminen ja sähköautojen akuston poisto.....	34
7.2.3	Akkujen sähköinen purkaminen.....	34
7.2.4	Akkujen murskaus.....	35
8	Akkujen kuljetus.....	36
9	Sähköajoneuvojen korjaus ja kuljetus	38
9.1	Sähkö- ja hybridautojen siirto onnettomuuspaikalta	38
9.1.1	Toiminta palaneen auton/hybridauton kuljetuksessa	38
9.1.2	Sähköauton kuljetus täysin palaneelle ajoneuville.....	39
9.1.3	Sähköauton kuljetus sammutetulle ajoneuville, jonka akku ei ole loppuun palanut..	39
9.1.4	Auto ollut upotettuna veteen vähintään 1 vrk	40
9.1.5	Sähköauton kuljetus sen ollessa osallisena liikenneonnettomuudessa	40
9.1.6	Kalustosuosituksia sähköauton kuljettamiseen	40
9.1.7	Suurten sähköisten kulkuvälineiden siirtäminen	41
9.1.8	Ympäristökijät sähköautopalossa	41
9.2	Sähköautojen korjauksen aikaisiin akkupaloihin varautuminen.....	42
9.2.1	Kolaroitujen sähköautojen säilytys	42



9.2.2	Sähköautojen korjauksen aikainen paloturvallisuus.....	43
9.2.3	Muistilista palon aikaisille toimenpiteille	43
9.2.4	Kiinteäakuisten pienten ajoneuvojen varastointin, latauksen ja korjauksen paloturvallisuus.....	44
9.2.5	Pienten ajoneuvojen varastoinnin paloturvallisuus.....	44
9.2.6	Pienten ajoneuvojen lataussuositukset	44
9.2.7	Pienten ajoneuvojen korjauksen paloturvallisuus	44
	Lähteet	45



1 Johdanto

Litiumioniakkujen käyttö lisääntyy nopeasti monilla eri aloilla, ja niiden paloturvallisuudesta on saatavilla runsaasti tietoa. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin tiedon valtava määrä, jonka vuoksi sopivien ohjeiden löytäminen juuri omaan tarpeeseen voi olla haastavaa.

Tämä ohjeistus kokoaa yhteen kirjalliseen aineistoon perustuvaa tietoa litiumioniakkujen vaaratekijöistä ja toimintatavoista, joiden avulla akkupaloihin voidaan varautua teollisuusympäristössä. Lisäksi osa suosituksista pohjautuu yritysvierailuilla kerättyyn kokemukseräiseen tietoon.

Suosituksia voidaan soveltaa litiumioniakkujen ja niitä sisältävien laitteiden koko elinkaaren ajan, aina valmistuksesta kierrätykseen saakka.

Ohjeessa käsitellään akkujen valmistukseen, kuljetukseen, käyttöön, huoltoon ja kierrätykseen liittyvät riskit. Varautumisen lisäksi ohjeessa annetaan alkusammutustoimenpiteitä, joita voidaan soveltaa erilaisissa ympäristöissä.

Pelastuslaitoksille on laadittu erilliset ohjeistukset, joissa tarkastellaan sammutustoimia erityisesti teollisuusympäristön näkökulmasta.

2 Lyhenteet ja käsitteet

ABEK-P3	Standardin EN14387 mukainen koodi suodattimen suodatuskyvyille.
ADR	ADR on lyhenne eurooppalaisesta sopimuksesta vaarallisten aineiden kansainvälisistä tiekuljetuksista.
AEGL	Akuutin altistumisen raja-arvo, AEGL-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 pieni 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 määräykset
PFAS-yhdisteet	Per- ja polyfluoratut alkylyyhdisteet
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 Litiumioniakkupalon tunnistaminen ja sammutuksen turvallisuus

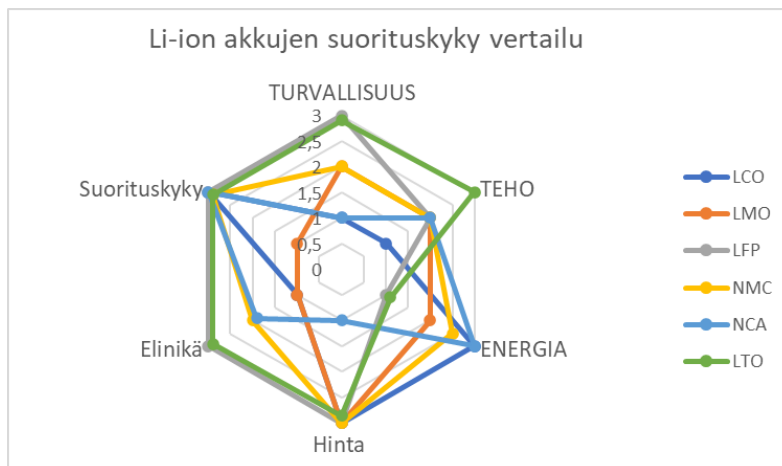
3.1 Sammutuksen perusteet

Litiumioniakkupalojen sammuttaminen on erityisen haastavaa niiden arvaamattoman käyttäytymisen ja akussa itsessään olevien palamiseen tarvittavien komponenttien (lämpö, happi, palava-aine) vuoksi. Litiumioniakun sammuttaminen onnistuu ainoastaan jäähdyttämällä akkua. Suojaavia toimenpiteitä voidaan tehdä palon leviämisen estämiseksi, mutta itse palon sammuttaminen esimerkiksi tukahduttamalla ei ole mahdollista.

Akkupalojen hallittavuudessa voidaan keskittyä kahteen päätekijään: *palotapahtuman jäähdyttämiseen* ja *purkautuvien kaasujen hallintaan*. Jäähdyttämällä voidaan hallita itse akkupaloa ja hidastaa sen leviämistä. Kaasujen poistolla tai neutraloinnilla voidaan estää niiden leimahdus tai suljetussa tilassa mahdollisesti syntyvä räjähdys. Kolmantena tekijänä voidaan huomioida ympäristön hallinta, johon sovelletaan samoja käytäntöjä kuin muiden palojen hallinnassa.

Akkujen palokäyttäytymiseen vaikuttaa olennaisesti niiden kemiallinen koostumus. Osa akkujen kemiallisista koostumuksista ei syty yhtä herkästi, mutta niiden käyttö suljetussa tilassa voi olla jopa vaarallisempaa. Tämä johtuu syttyvien kaasujen vapautumisesta, jotka voivat lisätä räjähdysriskiä.

Akkukemian valinnassa huomioidaan usein monia tekijöitä paloturvallisuuden lisäksi. Näitä ovat muun muassa hinta, käyttöikä, suorituskyky, teho ja energiamäärä. Saatavilla on useita vertailuja eri akkukemioista, joista kaaviossa 1 on esimerkki. Vertailusta voimme havaita, että esimerkiksi LFP (litiumrautafosfaatti) on paloturvallisuuden kannalta parempi vaihtoehto kuin NCO (Litium-Kobolttioksididi).



Kaavio 1. Akkujen kemiallisen koostumuksen vaikutus mm. paloturvallisuuteen.

3.2 Akkupalon tunnistaminen ja kehittyminen

Akkupaloa on vaikea havaita ilman apuvälineitä ennen kaasujen purkautumista ja syttymistä. Akkupalolle tyypillisiä ennakkomerkkejä ovat lämpeneminen ja turpoaminen. Lämpeneminen voidaan havaita vain mittaamalla, mikä tekee sen havaitsemisesta haastavaa. Turpoaminen voi puolestaan olla vaikea havaita ulkoisten rakenteiden vuoksi. Yksi erityispiirre ennen syttymistä on akun sisällä kuuluvat napsahtelevat äänet, jotka johtuvat kennojen avautumisesta (Hassinen 2022, s. 28).

Jos akussa havaitaan tällaisia merkkejä, se tulee siirtää mahdollisimman nopeasti paloturvalliseen paikkaan, kuten ulkotiloihin, tai upottaa veteen. Kuljetuksen aikana on tärkeää huolehtia omasta turvallisuudesta ja välttää altistumista mahdollisille kaasu- tai liekkipurkauksille.

Akkupalon seuraavassa vaiheessa akusta voi purkautua vaaleaa savua tai se voi syttyä välittömästi liekkipaloksi. Palon aikana saattaa myös kuulua suhisevaa ääntä, kun kaasuja purkautuu akkukotelosta ulos (Hassinen 2022, s. 28). Nämä purkautuvat kaasut voivat olla jopa vaarallisempia kuin liekkipalossa syntyvät palokaasut niiden leimahtamisriskin vuoksi.

3.3 Sammutuksen turvallisuus

Litiumioniakkupalossa vapautuu tavallista paloa myrkyllisempiä savukaasuja, jotka voivat aiheuttaa hengitys- ja iho-oireita joko välittömästi tai jopa usean tunnin kuluttua altistumisesta (TTL 2023). Toinen merkittävä riski on akun arvaamaton käyttäytyminen. Palo voi syttyä hitaasti, esimerkiksi napsahduksia päästämällä tai savuamalla hiljalleen. Toisaalta palo voi myös syttyä täysin ilman ennakkovaroitusta, muodostaen pistoliekkejä ja vapauttaen voimakkaasti myrkyllisiä savukaasuja. ***Tästä syystä alkusammutustoimenpiteissä tulee aina varautua akun ennalta arvaamattomaan käyttökseen.***

Ennen alkusammutustoimenpiteisiin ryhtymistä on erityisen tärkeää arvioida, onko sammutukseen riittävästi aikaa ja voidaanko tilasta poistua turvallisesti, jos akku syttyy. Akkupalojen arvaamattoman käyttäytymisen vuoksi yksiselitteisiä ohjeita alkusammutuksen turvallisuudesta ei voida antaa. On kuitenkin suositeltavaa, että akkujen kanssa työskentelevät tutustuvat videoihin, jotka esittelevät toimintaohjeita erilaisissa tilanteissa. Näiden avulla voidaan paremmin arvioida sammutustoimenpiteiden turvallisuutta. Alla olevassa videolinkissä on sähköpolkupyörän akkupalo pyörävarastossa. Videosta voidaan havaita mm. savukaasujen määrä ja niiden nopea muodostuminen ([Sähköpolkupyörän palo pyörävarastossa](#))

4 Toiminta akkupalon sattuessa

Alkusammutustoimenpiteillä on merkittävä rooli akkupalon etenemisen hallinnassa, kuten kaikissa muissakin paloissa. On kuitenkin ensiarvoisen tärkeää muistaa **oma turvallisuus** kaikissa tilanteissa. Tässä kappaleessa käsitellään alkusammutusmenetelmiä ja esitetään muistilista, jonka avulla voidaan toimia tehokkaasti ja turvallisesti akkupalon sattuessa.

4.1 Alkusammutusmenetelmät

Suositteluvia alkusammutusmenetelmiä teollisuudessa on kolmea eri tyyppiä, jäähdyttävät-, tukahduttavat sekä akun evakuointimenetelmät. Alkusammutus ja evakuointi eivät ole toisiaan poissulkevia menetelmiä, mutta evakuointi käsitellään tässä kappaleessa, koska teollisuudessa sitä käytetään alkusammutusmenetelmän sijasta akkujen vaikean sammutettavuuden takia. Muita menetelmiä kuten hapen syrjäyttämiseen perustuvat menetelmät (CO₂ yms.), jota ei suositella käytettäväksi litiumioniakkupalossa niiden huonon tehokkuuden takia. DSB 2021, s.33

Alkusammutusmenetelmän valintaan vaikuttaa myös akun koko. Pienten yksi kennoisten akkujen (kännykät yms.) palo on niin nopea ja savukaasujen muodostus niin vähäistä, että se voidaan sammuttaa samalla tavalla kuin mahdollisesti syttynyt ympäristö sammutettaisiin muutenkin. Keskisuurten akkujen (polkupyörä, hybridauto yms.) kohdalla alkusammutuksella pystytään estämään palon leviäminen tehokkaimmin ja niiden sammuttamiseen onkin eniten vaihtoehtoja. Isojen akkujen (auton akut ja isommat) alkusammutustoimenpiteet ovat niin tehottomia, että niitä ei suositella tekemään ollenkaan, henkilölle aiheutuvien riskien vuoksi.

4.1.1 Jäähdytykseen perustuvat alkusammutusmenetelmät

Tukesin ja Pelastusopiston tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että jäähdyttäminen on ainoa tehokas tapa sammuttaa litiumioniakkupalo (Tukes 2021). Tutkimuksessa myös havaittiin, että mikään testatuista sammutusmenetelmistä ei pystynyt sammuttamaan akkupaloa välittömästi. Lisäksi todettiin, että ilman suojarusteita ei ole mahdollista mennä niin lähelle paloa, että käsiammuttimilla saataisiin aikaan riittävä jäähdytysteho. Tehokkaimmaksi menetelmäksi todettiin veteen upottaminen, joka tuotti myös vähiten myrkyllisiä päästöjä (Tukes 2021). Pienien akkujen sammuttamista veteen upottamalla suositellaan myös muissa lähteissä. DSB 2021, s.32). Video testeistä löytyy lähteestä (Tukes 2021b).

Litiumioniakkujen kotelointi aiheuttaa haasteita ulkopuoliselle jäähdyttämiselle. Akut on suunniteltu vesitiiviiksi, mikä vaikeuttaa sammutusaineen pääsyä paloalueille tai palon ympärillä oleviin kennoihin. Hollannissa käytössä oleva standardi (**NTA 8133**), jonka ruotsalainen tutkimuslaitos Kiwa on kehittänyt, määrittää testausmenetelmät käsiammuttimille. Standardin testit suoritetaan kuitenkin ilman suojakuorta olevilla kennoilla, jolloin jäähdyttävä aine pääsee vaikuttamaan suoraan palavaan kennoon ja sen ympäristöön. **Tämän vuoksi standardi ei vastaa akun todellista palotilannetta, vaan se voi antaa väärän kuvan sammuttimien tehokkuudesta ja turvallisuudesta** (Kiwa 2024).

Tukesin testeihin ja standardien puutelisuuteen perustuen käsiammuttimia ei voida suositella litiumioniakkupaloissa käytettäväksi, mutta niitä voidaan käyttää akkujen aiheuttaman ulkopuolisen palon sammuttamiseen perinteisin tavoin muistaen samuttajan turvallisuus. **Tehokkain alkusammutusmenetelmä on veteen upottaminen** ([Polkupyörän akun vesisammutus](#)). Siihen voidaan suositella kannellista astiaa, joka on täytetty vedellä siten että akku peittyy kokonaan veden alle. Akun ympärillä oleva vesi jäähdyttää akkua tehokkaimmin ja turvallisimmin. Akun upottamisen jälkeen astia tulee siirtää turvalliseen paikkaan ja antaa olla veteen upotettuna siellä vähintään 1 vrk. Jos tilaan on muodostunut savua, jätetään akku tilaan ja annetaan pelastustoimen siirtää akku pois. Isompien akkujen alkusammutukseen on olemassa myös sammutuspöytiä, joilla upottaminen on mahdollista. Jos akun korjaus tai valmistus tapahtuu yhdessä paikassa, ovat tällaiset upotuksen mahdollistavat pöydät hyvä vaihtoehto akkupalojen sammuttamiseen.



Kuva 1. Akkujen asennuspöytä, joka mahdollistaa akun upottamisen palotilanteessa manuaalisesti tai automaattisesti.

4.1.2 Tukahduttamiseen perustuvat alkusammutusmenetelmät

Litiumioniakkujen sammuttaminen tukahduttamalla ei ole mahdollista. Tukahduttavien menetelmien käyttö perustuu palon rajaamiseen. Esimerkiksi palonsuojapeitteillä voidaan estää pistoliekkien ja palavien heitteiden aiheuttamat ulkopuoliset palot. Peite ei kuitenkaan estä akkupalossa muodostuvia palavia kaasuja, jotka voivat palaa peitteen alla tai ne voivat syttyä peitteen ulkopuolella ([Akkupalopeite trukin litiumioniakkupalossa](#)).

Litiumakkupaloihin tarkoitettujen suojapeitteiden päätarkoitus on palonleviämisen estäminen, sekä palon hidastaminen. Peittoa käyttämällä saadaan lisää aikaa pelastustoimelle. Palonsuojapeitettä voidaan käyttää myös akkujen kuljettamiseen pois palopaikalta turvalliseen ympäristöön niiden sammuttua. Perinteiset sammutuspeitot eivät kestä litiumakkupalossa syntyviä pistoliekkejä ja näin ollen niitä ei voida suositella käytettäväksi sammuttajan loukkaantumisriskin takia. (Meurman 2021). Video perussammutuspeitteen käytöstä on saatavilla Tukesin sivuilta. ([Tukes 2021a](#)).

4.1.3 Akun evakuointi

Evakuointia, eli palavan akun siirtämistä pois sisätiloista, ei suositella henkilölle aiheutuvien riskien vuoksi. Joissakin tapauksissa evakuointi voi kuitenkin olla ainoa keino estää suurempi palo, ja siksi sitä voidaan harkita yhtenä vaihtoehtona akkupaloihin varautumisessa.

Evakuointi tulee aloittaa henkilösuojaimien pukemisella, kuten on kuvattu kohdassa 4.2.2. Evakuointi riippuu akun koosta. Pienten akkujen (akut, joita voidaan liikutella käsin) siirtäminen evakuointi astiaan on helpompaa ja siksi astian käyttö niissä on suositeltavaa. Isoilla akuilla evakuointi voidaan tehdä, jos ne on asetettu valmiiksi siirtoalustalle, jolla ne saadaan siirrettyä ulos, tai jos valmistuslinjan automaatio osaa siirtää akun evakuointialustalle palon sattuessa.

Pienten akkujen evakuoinnissa voidaan käyttää astiaa, joka on täytetty vedellä (kuva 2) tai muulla astiaan suojaavalla aineella, kuten Vermikuliitilla, Piioksigranulaatilla (esim Pyrobubbles), tai lasimurskalla (Kuva 3). Vedellä saadaan myös evakuoinnin yhteydessä sammutus vaikutus akulle, joten se on kaikista suositeltavin tapa. Muilla aineilla saadaan astiaan suojaava vaikutus, mutta ne eivät sammuta akkua. Muut aineet soveltuvat paremmin vikaantuneiden akkujen lähetykseen tai varastointiin täyteaineeksi kuin sammuttamaan akkupaloja.



Kuva 2. Pienten akkujen sammutus- ja evakuointi allas.



Kuva 3. Tynnyrissä olevaa vermikuliittia akkujen lähetyksestä varten.

4.2 Henkilökohtaiset suojaimet

Henkilökohtaiset suojaruuvit on jaettu kahteen luokkaan sammutuksessa tapahtuvan altistumisajan (savukaasu) pituuden mukaan. Lyhytaikainen altistuminen tapahtuu esimerkiksi akun upottamisessa ja pitkäaikainen altistuminen esimerkiksi akun evakuointi toimenpiteissä.

Alkusammutukseen ei pidä ryhtyä ilman suojaruuvit. Akkupaloissa syntyy kemiallisia haitallisia aineita, leimahdusvaarallisia kaasuja, kuumia heitteitä ja lisäksi siellä voi olla sähköiskun vaara.

4.2.1 Lyhytaikainen altistuminen ja siihen sopivat henkilökohtaiset suojaruuvit

Lyhytaikaiseksi alkusammutustoimenpiteeksi katsotaan akun sammuttaminen, kun akun läheisyydessä ei tarvitse olla kuin hetki, esimerkiksi silloin sitä siirretään vesiastiaan. Akun läheisyydessä tapahtuvat toimenpiteet ovat suositeltuja vain siinä vaiheessa, kun siitä ei näy liekkejä mutta terminen karkaaminen on havaittu esimerkiksi savun muodossa. Henkilön tulee suojautua kuitenkin mahdollisia pistoliekkejä ja heitteitä vastaan, vaikka niitä ole näkyvissä, koska akun arvaamattoman käytöksen vuoksi liekit tai heitteet voi tulla juuri akkua siirrettäessä.

Sopivat suojaruuvit tällaista toimenpidettä varten ovat kokomaskilla varustettu **hengityksensuojain**, jossa on vähintään ABEK2-P3-suodatin. Se pudottaa epäpuhtauspitoisuuden sisäänhengitysilmassa 500-osaan alkuperäisestä (Vuokko ym. 2020) ja suodattaa orgaaniset höyryt (ABEK), fluorivedyn (E) ja hiukkaset (P3). Kokomaski suojaa myös silmiä ärsyttäviltä kaasuilta. Hengityksensuojain ei poista sisäänhengitysilmaasta hiilimonoksidia ja typen oksideja. Sen antama suoja ei voi verrata turvapaineellisten paineilmahengityslaitteiden (EN 136 ja EN 137) suojaustehokkuuteen, joita ensisijaisesti suositellaan litiumioniakkupaloihin. Lisäksi tarvitaan **suoja-asu, joka suojaaa käyttäjäänsä kosketuksesta kuumuuden ja liekkien kanssa** (EN ISO 11612) sekä **kuumuuksia kestäviä suoja-asi-**

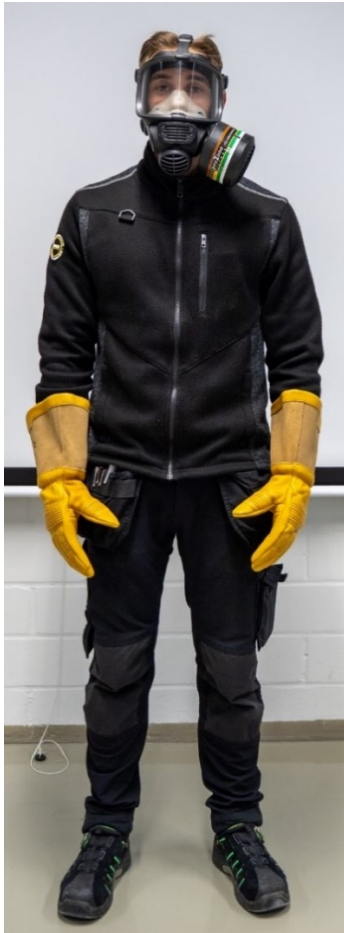
neet, esimerkiksi palo- (EN 659) tai hitsauskäsineet (EN 407) Esimerkki suojarusteista on esitetty kuvassa 4.

4.2.2 Pitkäaikainen altistuminen ja siihen sopivat henkilökohtaiset suojarusteet

Pitkäaikaiseksi alkusammutustoimenpiteeksi katsotaan esimerkiksi akun evakuointi toimenpiteet, jossa henkilö altistuu savukaasuille, pistoliekeille ja heitteille pitkän aikaa. Tällaisia tilanteita varten henkilön tulee suojautua pelastajan suojarusteilla (Kuva 5).

Pelastajan suojarusteita ovat seuraavat:

- Suojakypärä (EN 443)
- Liekeiltä suojaava suojapuku (EN 469:2020 taso 2)
- Suojakäsineet, esimerkiksi palo- (EN 659)
- Paineilmahengityslaitte



Kuva 4. **Lyhytaikaiseen altistumiseen** tarkoitetut suojarusteet, yhdistelmäsuodattimella varustettu hengityksensuojain, suojakäsineet ja palosuojattu suojapuku.



Kuva 5. **Pitkäaikaiseen altistumiseen** tarkoitetut suojarusteet, Pelastajan suojarusteet.



4.3 Alkusammutustoimenpiteet akkupalon sattuessa

- Varmista itsellesi turvallinen poistumisreitti, jos havaitset akussa merkkejä mahdollisesta palosta (katso kappale 3.2 Akkupalon tunnistaminen ja kehittyminen).
- Arvioi, voitko suorittaa alkusammutuksen turvallisesti altistumatta kaasuille tai pistoliekeille.
- Jos epäröit loukkaantumisen tai altistumisen riskiä, poistu tilasta ja soita hätänumeroon 112.
- Suojaa itsesi palokaasuja ja liekkejä vastaan (katso kappale 4.2).
- Jos palo on suljetussa tilassa (esim. varasto), varmista, ettei tilassa ole syttyviä kaasuja ennen oven avaamista. Jos et voi varmistaa kaasutasoa, ÄLÄ MENE TILAAN.
- Huolehdi kaasujen poistosta avaamalla savunpoistoluukut tai käynnistämällä savunpoistoinimuri.
- Käytä saatavilla olevaa sammutusmenetelmää tilanteen hallitsemiseksi, jos mahdollista tehdä se turvallisesti.

5 Litiumioniakkujen valmistus ja käsittely teollisuudessa

Tässä kappaleessa olevat ohjeistukset auttavat litiumioniakkuvalmistajia suunnittelemaan tuotantolaitoksensa ja toimintamallinsa siten, että akkupalon sattuessa vahingot jäisivät mahdollisimman pieniksi ja pelastuslaitoksella olisi edellytyksiä sammutus- ja pelastustoiminnalle. Tässä osiossa käsitellään keskisuuria ja isoja akkuja. Pienten akkujen käsittelyyn voidaan soveltaa alkusammutusmenetelmiä, jotka on esitelty kohdassa 4.1.

5.1 Akkujen ja akkujärjestelmien valmistus

Akkujärjestelmien valmistus voidaan jakaa kahteen ryhmään valmistusmenetelmien mukaan: manuaalisiin ja automaattisiin valmistuslinjoihin.

Manuaalisilla valmistuslinjoilla akkupalojen hallinta on hieman helpompaa, koska akku on helpommin saavutettavissa alkusammutusmenetelmillä, ja sen evakuointiin on helpompi varautua esimerkiksi siirrettävien pöytien avulla.

Automaattisilla valmistuslinjoilla haasteita aiheuttavat tuotantosolujen ja linjojen suojaukset. Palaavan akun lähelle pääsy tai sen evakuointi voi olla hankalaa, ellei automaatio ole suunniteltu kuljettamaan akkua evakuointipaikalle. Lisäksi itse akun sammuttaminen tai jäähdyttäminen voi olla vaikeaa, sillä suojaukset estävät usein niiden käytön.

Näiden syiden vuoksi paloturvallisuus on tärkeä ottaa huomioon jo tuotantolinjan suunnitteluvaiheessa, jolloin siihen voidaan vaikuttaa eri tavoin ja vähentää riskejä.

5.1.1 Tunnista akkujen valmistuksen erityisriskit

Akkujen valmistuksen erityispiirteet liittyvät valmistusmenetelmiin, sekä tuotteeseen. Esimerkkinä riskeistä voidaan mainita mm. akun mekaaninen kokoonpano (puristaminen, robotiikka yms.) tai jonkin ulkopuolisen esineen joutuminen prosessiin aiheuttaen akun oikosulun. Riskit on parasta arvioida aina tuotekohtaisesti.

5.1.2 Akkupalon sammuttaminen valmistuslinjalla

Akkupalon sattuessa tehokkain ja turvallisin tapa on yrittää sammuttaa palo välittömästi. Parhaaksi menetelmäksi on todettu akun upottaminen vesialtaaseen, mikä tarjoaa tehokkaimman jäähdyttävän vaikutuksen palon sammuttamiseen (DSB 2021, s. 32).

Menetelmä, jolla akku saadaan vesialtaaseen, tulee suunnitella linjasto- ja prosessikohtaisesti. Manuaalilinjastoilla voidaan käyttää altaita, joiden päällä työskentely tapahtuu. Pudottaminen altaaseen voidaan tehdä työntekijän toimesta tai kauempaa, esimerkiksi sähkön tai paineilman avulla (Kuva 1).

Jos upottaminen ei ole mahdollista, voidaan käyttää alkusammutustoimenpiteitä esimerkiksi ympäristön suojelemiseksi. Pikapalopostin käyttö on turvallinen vaihtoehto, koska sillä voidaan suorittaa sammuttamista hieman kauempaa, mikä vähentää altistumista savulle. Lisäksi pikapaloposti tarjoaa pitkäaikaisen jäähdyttävän vaikutuksen palavaan akkuun.

Kaikissa menetelmissä on ensisijaisesti huolehdittava työntekijöiden turvallisuudesta. Suojautumiseen kuuluvat henkilökohtaiset suojaimet, jotka on kuvattu kohdassa 4.2.

5.1.3 Akun evakuointi valmistuslinjalta

Jos akkua ei ole mahdollista sammuttaa tuotantolinjan läheisyydessä on varauduttava akun siirtämiseen ulos rakennuksesta turvalliseen paikkaan, jossa se voidaan upottaa vesialtaaseen tai antaa palaa loppuun. Akun siirtämiseen voidaan käyttää siihen tarkoitettuja evakuointivaunuja, kuten renkaila varustettuja työpöytiä, trukkeja yms. Tärkeintä evakuoinnissa on kuitenkin huolehtia työntekijöiden henkilökohtaisesta turvallisuudesta mm suojautumisen keinoin. Akkua kuljettavalla henkilöllä on suuri riski altistua pistoliekeille, savukaasuille tai heitteille, ellei akkua upoteta veteen tai suojata kannellisella astialla, sekä käytetä henkilökohtaisia suojavälineitä.

Evakuoinnissa on huomioitava etukäteen suunnitellut mahdollisimman lyhyet evakuointireitit. Reitit tulisi johtaa ulos, jossa akku voidaan upottaa sille varattuun astiaan. Reitit suunnittelussa ja ylläpidossa on varmistettava, ettei sen läheisyydessä ole palavia materiaaleja eikä sen varrella ole esteitä akun kuljettamiselle.

Henkilöstö tulisi kouluttaa tunnistamaan akustojen ongelmatilanteet ja toimintamallit tulipalotilanteessa. Toimintamallien tulee olla etukäteen suunniteltuja ja säännöllisesti harjoiteltuja.

5.1.4 Pelastuslaitoksen avustaminen akkupalotilanteessa

Jos akkua ei ole turvallista tai mahdollista kuljettaa ulos esimerkiksi sen koon vuoksi, on tärkeää varmistaa, että apu saadaan palopaikalle mahdollisimman tehokkaasti. Palokunnan ohjaaminen paikalle tulisi suunnitella etukäteen. Suunnittelussa on huomioitava henkilöt, vapaat reitit ja niiden merkkkaus sekä kommunikointi eri tahojen kesken.

Opastajan henkilökohtaiset suojarusteet, erityisesti myrkyllisiä savukaasuja vastaan, ovat ensiarvoisen tärkeitä. Tällaisissa tapauksissa voidaan harkita myös paineilmalaitteiden käyttöä varmistamaan henkilön turvallisuus.

Isommissa akkuja käsittelevissä yrityksissä on suositeltavaa muodostaa erillinen ryhmä, joka tuntee toimintaohjeet akkupalon varalta. Toimintaa tulisi myös harjoitella säännöllisesti yhdessä paikallisen pelastustoimen kanssa.

5.1.5 Akkupalon tunnistaminen linjalla

Akkupalo tuotantolinjalla voidaan tunnistaa erilaisilla savun- tai palavien kaasujen tunnistimilla. Osa kaasujen tunnistimista pystyy havaitsemaan akkupalon jo varhaisessa vaiheessa, jopa minuutteja ennen lämpökarkaamista (DNV 2019, s. 17, Taulukko 3–4).

Tunnistimien käyttöä voivat hankaloittaa avoimet tilat, joissa kaasut leviävät laajalle ja laimenevat ennen tunnistimen saavuttamista. Joissakin tapauksissa on suositeltavaa asentaa tunnistin poistoilmakanavaan, jolloin kaasut ohjautuvat tunnistimen kautta. Akkupalon alkuvaiheessa ja pisimpään havaittavissa oleva kaasu on hiilimonoksidi (CO) (DNV 2019, s. 9–10). Tunnistimien valinnassa suositellaan käyttämään malleja, jotka tunnistavat ainakin tämän kaasun.

Akkupalojen tunnistamiseen voidaan käyttää myös lämpökameraa. Lämpökameroiden haasteena on kuitenkin niiden myöhäinen reagoitokyky. Jos akkupalo alkaa akuston sisältä, kamera havaitsee palon vasta, kun lämpö on siirtynyt akun ulkopuolelle. Joissakin tapauksissa lämpökameroita voidaan kuitenkin suositella, esimerkiksi kennojen tarkkailuun tai suurten varastoalueiden valvontaan, joissa myöhäinen havaitseminen ei merkittävästi vaikuta turvallisuuteen.

Paras lopputulos palon ennakkointiin saadaan, kun palonsuojaus huomioidaan jo linjan suunnittelu- vaiheessa.

5.1.6 Akkupalojen automaattinen sammuttaminen.

Akkupalojen sammuttaminen automaattisilla menetelmillä on haastavaa. Automaattisissa järjestelmissä kohdataan samoja ongelmia kuin manuaalisammuttamisessa – sammutusaineen jäähdyttävää vaikutusta ei usein pystytä kohdistamaan suoraan palon lähteeseen.

Vaikka monet automatisoidut menetelmät eivät sammuta akkupalon lähdeä, ne voivat hidastaa palon etenemistä ja antaa lisää aikaa pelastustoimen saapumiselle. Näistä esimerkkinä hiilidioksidi- ja aerosolisammutteet, jotka voivat sammuttaa ulkopuolisia paloja, mutta eivät todennäköisesti pysäytä itse akkupaloa.

Vesisammutusmenetelmiä voidaan suositella, vaikka niilläkin akkupalon sammuttamista tärkeämmässä roolissa on palon rajaaminen. Poikkeuksena tästä on aiemmin mainittu vesiupotus.

5.2 Laitteiden ja koneiden valmistaminen

Laitteiden ja koneiden valmistaminen ei poikkea akkujen valmistuksen varautumisesta muilta osin, paitsi että niiden alkusammuttaminen on usein mahdotonta niiden suuren koon ja suojattujen akkurakenteiden vuoksi. Suuri koko estää akun upottamisen veteen, ja suojarakenteet vaikeuttavat veden pääsyä palon jäähdyttämiseksi, jolloin alkusammuttaminen on käytännössä turhaa tehottomuutensa takia. Tällaisissa tilanteissa, joissa sammuttaminen ei ole mahdollista, on tärkeää arvioida, voidaanko työntekijöiden toimesta suojata ympäristöä vai onko turvallisempaa panostaa pelastuslaitoksen nopeaan pääsyyn paikalle.

Tiloissa, joissa akkuja valmistetaan, on varauduttava savukaasujen ja akusta purkautuvien kaasujen tehokkaaseen poistoon. Pelastustoimen ei suositella menevän sammuttamaan akkupaloa, jos tilaa ei voida tuuletusjärjestelmillä puhdistaa myrkyllisistä savukaasuista.

Joidenkin tuotteiden osalta on mahdollista käyttää manuaalisia tai automaattisia kuljetusalustoja, joilla laite voidaan siirtää pois tuotantotiloista myös palotilanteessa.

Vaikka akkupalo saataisiinkin pysäytettyä, akkupalon riskien arvioinnissa on tärkeää ottaa huomioon akuista muodostuva suuri noen ja palokaasujen määrä, jonka puhdistaminen voi viedä runsaasti aikaa.

5.3 Akkujen ja akkujärjestelmien varastointi

Akkujen varastoinnille ei ole Suomessa määritetty erityistä lainsäädäntöä tai ohjeistusta. Joissakin maissa on kuitenkin käytössä maakohtaisia ohjeistuksia, joita voidaan soveltaa myös Suomessa rakennettaviin akkuvarastoihin.

Ohjeistuksen raja-arvojen laatiminen on haastavaa, koska akkuteknologia kehittyy nopeasti. Tässä ohjeistuksessa akuista muodostuva palokuorma on jaoteltu akuissa olevan elektrolyytin määrän mukaan.

Akun painosta noin 10 % on elektrolyyttiä, joka muodostaa suurimman osan sen palokuormasta. Elektrolyytin energiasisältöä voidaan verrata bensiinin energiasisältöön. Suhdeluvuksi saadaan 7:1 (7 kg akkua vastaa 1 kg bensiiniä), jolloin 7 kg akussa oleva elektrolyytti vastaa yhden kilogramman bensiinin paloenergiaa (DBI 2022, s. 11).

Jos yrityksellä ei ole tarkempaa tietoa elektrolyytin määrästä, tätä laskelmaa voidaan käyttää suuntaa antavana palokuorman mitoituksessa.

Akuston varaustaso on ADR säädösten mukaan alle 30 %, joten varastoitujen akkujen varastaso tulisi olla myös alhaisempi kuin ADR arvo. Jos varaustaso pidetään alhaisen, niin varatun energian määrä ei nosta palon reagointiherkkyyttä ja palokuorman määrää.

Palavien aineiden varastoissa suojausluokat on määritetty palavan aineen energiamäärän perusteella. Kun nämä määrät suhteutetaan akkujen elektrolyytin energiasisältöön, voidaan akustot jakaa kolmeen eri luokkaan.

Luokka 1

Elektrolyytin paino akussa < 200 kg => Max. 1000 kg akkuja => Max. varaston koko 125 kWh

Ei tarvita erillistä palonsuojausta

Luokka 2

Elektrolyytin paino akussa: 200 kg - 800 kg => 1000 kg – 4000 kg akkuja=> varaston koko 125–500 kWh

On syytä harkita:

- Automaattisia palon tunnistamislaitteita. kts. kappale 3.1.5
- Sprinkleri- tai kuivasprinklerijärjestelmä, johon pelastuslaitoksen on mahdollista liittyä.
- Erillinen savunpoisto kts. kappale 3.1.5

Luokka 3

Elektrolyytin paino akussa > 800 kg => 4000 kg akkuja => varaston koko >500 kWh

Varastossa tulisi olla:

- automaattinen palontunnistaminen. kts. kappale 3.1.5
- Sprinkleri- tai kuivasprinklerijärjestelmä, johon pelastuslaitoksen on mahdollista liittyä.
- Erillinen savunpoisto kts. kappale 3.1.5

Varaston sisäistä palo-osastointia tulee harkita, jos sammutusjärjestelmistä huolimatta palo voi leviätä koko varastoon ja aiheuttaa uhkan ympäristön väestölle savukaasujen tai laskeumien muodossa.

Saksalaisen tutkimuksen mukaan varaston osastointia jakamalla se pienempiin osiin yksinkertaisilla peltilevyillä pidetään tehokkaana menetelmänä (Kunkelmann 2015, s. 85). Osastojen koko on hyvä arvioida yritysten oman riskienhallinnan perusteella, sillä yksiselitteistä ohjeistusta osastojen kokoon on vaikea määrittää muuttujien suuren määrän vuoksi.

Edellä mainituilla toimenpiteillä pyritään ensisijaisesti varmistamaan, että pelastustoimella on mahdollisuus rajoittaa palon merkittävää leviämistä. Lisäksi ne edistävät sitä, että henkilöillä, jotka oleskelevat tiloissa tai niiden läheisyydessä, on riittävät olosuhteet ja aika poistua rakennuksesta palon havaitsemisen jälkeen.

5.3.1 Litiumioniakkuvarastojen rakenteellinen palonsuojaus

Litiumioniakkujen varastointia samoissa tiloissa muun tuotannon kanssa pitäisi välttää. Tuotannon läheisyydessä tulisi säilyttää vain se määrä akkuja joka tuotannon takia siellä tarvitaan. Jos varastointi tapahtuu kuitenkin samassa tilassa, suositellaan varasto luokiteltavaksi luokkaan 3.

NFPA:n mukaan samassa kiinteistössä olevat energiavarastot on erotettava muista rakennusalueista paloseinillä, joiden palonkestävyys on 120 min (NFPA 855 2020 k. 4.3.6). Monesti akkuvaraston palokuorma on isompi kuin energiavarastojen (600 kWh) ja tätä samaa palonsuojausta olisi suositeltavaa käyttää myös normaali akkuvarastossa. Akkuvarastoa ei voida pitää normaalina rakennuksena tai varastona, sen sisällön (akkujen) palokäyttäytymisen takia, joka on erityistä niiden palossa tuottaman hapen takia.

Erillinen varastorakennus on hyvä suojata siten, että siitä ei aiheudu haittaa palotilanteessa muille kiinteistöille. Varastoa ei kuitenkaan suositella sijoittamaan 8 metriä lähemmäksi muita rakennuksia ilman palonsuojausta.

Varaston sammuttamiseen on todennetusti parasta käyttää vesisammutusta. Sammuttaminen tai palonleviäminen on parasta estää kohdennetulla sprinkleri - tai korkeapainevesisumujärjestelmällä. Arviointin perustuvaa mitoitusta ei suositella käytettäväksi, suuren muuttujamäärän takia, vaan varastojen mitoitus tulisi perustua sammutusjärjestelmien testaukseen oikeassa mittakaavassa, oikeilla akkukemioilla sekä oikeilla pakkausmateriaaleilla. Jos laajamittaisille testeille ei ole mahdollisuutta, varaston sprinklaukseen suositellaan hyllykohtaisia suuttimia riittävän tiiviisti estämään palon leviäminen. NFPA 855 standardin mukaan sprinklerin vesimääräksi suositellaan 12,2 mm/min/m² ja jos muuta arvoa ei ole saatavilla, niin mitoitukseen voidaan käyttää tätä arvoa (NFPA 855 2020 k. 4.11.2.1).

Kattospinklereillä ei voida suojata varastoa riittävästi, vaan vesi tulisi kohdentaa tarkemmin suoraan palavaan kohteeseen. Tällä menetelmällä sammutusveden käyttö voidaan säännöstellä ja vesivahingot jäävät pienemmäksi. Myös saastuneen sammutusveden kerääminen on helpompi järjestää pienemmille vesimäärille (Kunkelmann 2015 s.82).

Vikaantuneiden ja käytöstä poistettujen akkujen varastointi on käsitelty kohdassa 3.4

5.3.2 Akkuvarastopalon sammutusvesien keräys

Sammutusvesien keräys on suositeltavaa ottaa huomioon jo akkuvarastoa suunniteltaessa. Kappaleessa 7.1.8 on käsitelty sähköautojen sammutusvesien myrkyllisyyttä, ja näiden tietojen perusteella myös teollisuuden akkupaloissa syntyvät vedet tulisi kerätä talteen.

Teollisuuden akkuvarastot ovat moninkertaisesti autojen akkuja suurempia autojen akkuihin, ja myös päästöt ovat siten moninkertaisia.

5.3.3 Akkupalontunnistaminen varastossa

Akkupalon tai minkä tahansa muun palon tunnistaminen heti alkuvaiheessa auttaa palon hallinnan jatkotoimenpiteissä. Akkupalo on levitessään erityisen hankala sammuttaa ja siksi palontunnistamiseen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota.

Lasiputkia lämmön vaikutuksesta aukeavia sprinklerisuuttimia ei voida suositella käytettäväksi akkuvarastojen kanssa. Palot, joissa alussa muodostuu paljon savua ja vähän lämpökuormaa saavat aikaan viivettä palon tunnistamisessa. Kaasutunnistimet ovat tehokkaita, jos ne on sijoitettu esimerkiksi poistoilman virtaukseen, mutta myös varaston alaosaan ilmaa painavimpien kaasujen tunnistami-

miseksi. Jos anturit ovat vapaassa tilassa, kaasut eivät välttämättä niitä tavoita ja palon tunnistuksen viivettä voi esiintyä (Kunkelmann 2015 s.82).

Suosittelavinta olisi käyttää kaasuantureita, jotka tunnistavat hiilimonoksidin ja vedyn. Hiilimonoksidiä syntyy palon kaikissa vaiheissa ja vetyä syntyy palon alkuvaiheissa (PGS 37-2 2023 k. 7.5.3)

5.4 Vikaantuneiden akkujen säilytys

Vikaantuneiden akkujen säilytykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä paloriski kasvaa luonnollisesti vikaantumisen myötä. Tilannetta hankaloittaa se, että vikaantumista ei voida luokitella tarkasti, ja akku voi olla vaarallinen sekä syttyä missä tahansa tilanteessa.

Vikaantuneita akkuja ei tulisi säilyttää korjaus- tai tuotantotiloissa, vaan niille tulisi varata oma varastotila, jossa noudatetaan alla määritellyjä suojaussuosituksia.

Vikaantuneiden akkujen varastoinnille ei ole varsinaista standardia, joten tässä kappaleessa on viitattu energiavarastoille tarkoitettuun NFPA 855 -standardiin, joka tarjoaa pohjan vikaantuneiden akkujen varastointiin. Vikaantuneiden akkujen säilytyksessä voidaan soveltaa samoja rajoja kuin ehjien akkujen varastoinnissa. Koska niiden riskitaso on kuitenkin kohonnut, voidaan suositella luokan 2 varustelua, erityisesti silloin, kun varaston koko ylittää 125 kWh. Vikaantuneiden akkujen määrä tulisi pyrkiä pitämään mahdollisimman pienenä toimittamalla akut välittömästi kierrätykseen tai varastoimalla ne vain siihen asti, kunnes niiden stabiilisuus on varmistettu.

Akkuja kannattaa jakaa varaston sisällä eri osastoihin siten, että yhden akun syttyessä kaikki akut eivät pala. Jos akut ovat alle 5 kg painoisia ja niitä kertyy suurempia määriä, ne kannattaa pakata akkujen kuljetukseen tarkoitettuihin tynnyreihin. Näitä tynnyreitä saa litiumioniakkujen kierrätykseen erikoistuneilta yrityksiltä, kuten Fortum Battery Recycling ja Recser Oy.

Kuljetuksen kannalta kaikki akut kannattaa pakata vermikuliitin, piioksidirakeiden (esim. Pyrobubbles) tai lasimurskan sisään, vaikka tätä ei käytöstä poistettujen akkujen osalta vielä vaaditakaan Suomessa. Vikaantuneille akuille palamattoman materiaalin sisään pakkaus on kuitenkin pakollista. Vikaantuneiden akkujen varastointiin suositellaan aina vähintään painovoimasta tuuletusta tai kaasunpoistoa samalla tavalla kuin litiumioniakkuvarastossa kappaleessa 3.4.3.

5.4.1 Varaston merkinnät

Varastot suositellaan merkittäväksi vähintään seuraavilla standardien ISO 3864 tai IEC 60417 mukaisilla varoitusmerkeillä tai ilmoituksilla. Näiden varoitusten on oltava näkyvissä akkuhuoneen ulkopuolelta:

- Kieltomerkki: "Avotulenteko ja tupakointi kielletty" (IEC 60417-6039:2010–08).
- Varoitusmerkki: "Akku, Akkuhuone" osoittamaan korrosoivaa elektrolyyttiä, räjähtäviä kaasuja, sekä vaarallista jännitettä ja virtaa (ISO 7010 W026).
- Lisäksi varaston tiedot tulee merkitä myös kohdekorttiin, jos sellainen on olemassa.

5.4.2 Vikaantuneiden akkujen varaston sijainti

Vikaantuneiden akkujen varaston paloluokka riippuu sen sijainnista. Jos vikaantuneita akkuja säilytetään samassa kiinteistössä, huone on erotettava muista rakennusalueista paloseinillä, joiden palonkestävyys on vähintään 2 tuntia (NFPA 855, 4.3.6). Erilliselle varastolle paloluokkaa ei ole erikseen määritetty, mutta etäisyyden toiseen rakennukseen tulee olla vähintään 8 metriä (Ympäristöministeriön laki rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 29 §). Tätä etäisyyttä voidaan pienentää NFPA:n ohjeistuksen mukaisesti rakentamalla paloseinä rakennuksen ja varaston välille tai korottamalla varaston paloluokkaa (NFPA 855, 14.3.2.1.1, NFPA 855 4.4.3.3). Varasto on sijoitettava vähintään viidenmetrin päähän ilmastoinneista, ikkunoista, lastauslaitureista yms., joista savukaasut voivat joutua sisäilmaan.

5.4.3 Muistilista akkujen säilytykseen:

- Varmista tilan riittävä paloluokitus.
- Tee ilmanvaihto ja paineenpoistoluukku määräysten mukaisesti.
- Älä jätä vikaantuneita akkuja korjaus- tai tuotantotiloihin, vaan säilytä ne erillisessä, niille tarkoitettussa varastossa.
- Jos akkuja tai niiden osia tullaan käyttämään, säilytä akut valmistajan suosittelemassa lämpötilassa.
- Säilytä akut mahdollisimman matalassa varaustilassa palokuorman pienentämiseksi (SOC 20–30 %).
- Älä säilytä varastossa muita palavia aineita (NFPA 4.1.6.1).
- Merkitse sijainti kohdekorttiin.
- Säilytä akkuja varastossa mahdollisimman pieni määrä kerrallaan.
- Lähetä akut kierrätykseen asianmukaisesti pakattuna.
- Kaikki säilytyspaikat tulee merkitä ISO 3864 tai IEC 60417 -standardin mukaisesti (katso kappale 3.4.1).

6 Litiumioniakkuja sisältävien laitteiden käyttö ja lataus toimisto- ja teollisuusympäristössä

6.1 Polkupyörät ja käsityökalut

Polkupyörien ja käsityökalujen (alle 1 kWh) kokoluokan akkuja ladataan monissa eri ympäristöissä. Tämän vuoksi on tärkeää arvioida vaaratilanteiden vaikutuksia omassa toimintaympäristössä. On ymmärrettävää, että haitat – niin ihmisille kuin omaisuudelle – ovat huomattavasti suurempia toimistoympäristössä verrattuna esimerkiksi konepajaympäristöön, jossa paloriski on usein jo varauduttu.

Merkittävimpiä riskejä ovat:

- Palon leviäminen
- Myrkyllisten kaasujen aiheuttamat terveysriskit
- Palavien kaasujen aiheuttama leimahdus- tai räjähdysriskit
- Sekä palon jälkeiset savun ja noen aiheuttamat riskit ympäristölle ja ihmisille.

Perusohjeena tulee pitää, että akkuja ei ladata kulkureiteillä ja niitä tulee välttää lataamasta tai säilyttämästä samoissa tiloissa, joissa työskentelee ihmisiä. Palotilanteessa, voimakas savukaasujen muodostuminen voi aiheuttaa suuria henkilö- ja materiaalivahinkoja. Savun muodostumista voi tarkastella esimerkiksi työkaluseinän akun syttymisestä, linkissä olevasta videosta. [LION akkupalo työkaluseinä.](#)

6.1.1 Pienten ja keskisuurten akkujen (alle 1kwh) lataaminen avoimessa tilassa

Akkuja ei suositella lataamaan avoimessa tilassa, mutta jos lataaminen avoimessa tilassa on välttämätöntä, tulee huomioida seuraavat asiat:

- Latauspaikan tulisi olla erillinen tila tai huoneen osa.
- Latauspaikka ei saa olla poistumisreitillä.
- Latauspisteen läheisyydessä ei saa olla herkästi syttyvää materiaalia. Palavat heitteet voivat lentää jopa 50 metrin päähän (Siren 2023 s.21).
- Lataustila tulee varustaa palovaroittimella, joka hälyttää myös tilan ulkopuolella tai lähettää hälytyksen eteenpäin.
- Latauspaikka tulee varustaa savunpoistolaitteistolla, jonka virtauksen tehoa voidaan lisätä palotapahtuman aikana. Virtausmäärän on oltava vähintään 1 m³/min. Kaasut tulee johtaa ulos paikkaan, jossa kukaan ei altistu niille. Kaasunpoisto voidaan myös toteuttaa savunpoistoluukkujen avulla.
- Latauspaikka tulee varustaa sopivilla alkusammutusvälineillä. Alkusammutusvälineet on käsitelty erikseen tämän suosituksen kappaleessa 2.

6.1.2 Pienten ja keskisuurten akkujen (alle 1kwh) lataaminen latauskaapissa

Turvallisempi vaihtoehto avoimelle tilalle akkujen lataamisessa ja säilytyksessä on käyttää niille tarkoitettuja latauskaappeja, jolloin avoimen tilan lataukseen liittyviä erityistoimenpiteitä ei tarvita.

Kaappeja ei kuitenkaan voida käyttää kaikkien laitteiden kohdalla, kuten sellaisten, joiden akku ei ole irrotettavissa. Tämän vuoksi myös tiloille on määritetty omat suosituksensa.

Latauskaappien käytössä on kuitenkin omia riskejä, joista merkittävin on kaappiin kertyvän kaasun räjähtäminen. Pelastusopistolla suoritetuissa käsityökalujen akkujen testeissä havaittiin kaasujen syttyminen, joka aiheutti leimahduksen kaapin sisällä. Varsinaista räjähdystä ei syntynyt, ja kaapin ulkopuolella havaittiin vain pieni leimahdus ([LION akkupalo suljetussa peltikaapissa](#)).

Sama tapahtui myös käytettäessä aerosolisammutetta ([Aerosolitestivideo](#)). Vaikka nämä ovat yksittäisiä testejä, niin ne osoittavat, että latauskaapeissa on huolehdittava riittävästä kaasujen poistosta räjähdysvaaran poistamiseksi. Pelastusopistolla ei ole tehty samaa testiä isommilla akuilla, mutta pelkästään sähköpotkulautojen säilyttäminen samalla lavalla on saanut aikaan erittäin rajuja tulipaloja (Siren 2023 s.21).

Latauskaappien riskeistä huolimatta turvallisin paikka ladata akkuja on kuitenkin erillinen niille tarkoitettu latauskaappi, joka on varustettu sammutusjärjestelmällä. Tällaisilla kaapeilla saavutetaan paras lopputulos palon leviämisen ja savukaasujen minimoinnin kannalta.

Latauskaappeja on saatavilla erilaisilla sammutusmenetelmillä, joista tehokkain on vesiupotukseen perustuvat kaapit ([Polkupyörän akun vesisammutus](#)). Vesi sammuttaa palon nopeasti ja näin ollen savukaasujakaan ei pääse vapautumaan ilmaan. Muilla sammutusaineilla ja menetelmillä saadaan lisää aikaa palokunnan sammutustoimille, mutta itse akun sisäisen palon (lämpökarkaamisen) pysäyttäminen on niillä vaikeaa.

Aerosoli- ja inerttikaasusammutteisissa kaapeissa voi syntyä räjähdysriski, jos sammutuskaasupitoisuus vähenee. Tämä voi tapahtua, jos kaapista tapahtuu tuuletusta tai akusta vapautuvat palavat kaasut syrjäyttävät sammutuskaasun ([Aerosolitestivideo](#)). FM GLOBAL ei suosittele minkäänlaisia kaasusammutusjärjestelmiä käytettäväksi litiumioniakkujen energiavarastoissa (Marioff 2023 s.16, DNV 2019 s.8).

Umpinaisessa metallikaapissa räjähdysriski kasvaa, minkä vuoksi täysin umpinaisia kaappeja, joista kaasut eivät pääse tuulettumaan pois, ei suositella käytettäväksi lainkaan.

Umpinaiset kaapit estävät kuitenkin tehokkaasti palon leviämistä kaapin ulkopuolelle sekä ehkäisevät akusta lentävien palavien heitteiden pääsyn kaapin ulkopuolelle, kunhan muistetaan huolehtia tuuletuksesta. ([LION akkupalo suljetussa peltikaapissa](#)).

Testiraportit käsityökalujen akkujen palon leviämisestä avoimessa tilassa sekä umpinaisessa peltikaapissa ovat luettavissa linkistä:

[Litiumioniakkujen latauksen paloturvallisuus](#) (<0,1 kWh)

Latauskaapin valinta

Latauskaappia valittaessa käyttäjän on usein vaikea varmistua kaapin todellisesta turvallisuudesta ilman ulkopuolisen tahon testejä. Suomessa ei ole lainvoimaisia standardeja latauskaapeille, mutta saksalainen VDMA on kehittänyt standardin (VDMA 24994/2024) juuri tätä ongelmaa varten. Standardia suositellaan kaikille laitevalmistajille, ja myös käyttäjien olisi hyvä tarkistaa, että kaappi on testattu tämän standardin mukaisesti.

Standardi määrittää tarkasti latauskaapin testauksen:

- Ulkopuoliselle palolle
- Ladattavien akkujen palolle

Lisäksi standardi määrittää testauksen tehtäväksi suurimmalla määrällä akkuja, joilla sitä sallitaan käytettäväksi. Näiden testien läpäisy ulkopuolisen testauslaitoksen toimesta tarjoaa luotettavan turvan akkujen säilytykselle ja lataukselle.

6.1.3 Litiumioniakkuvaraston kaasunpoisto

Varaston ilmanvaihtoon ja kaasunpoistoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska vikatilanteessa akusta voi purkautua palavia kaasuja, jotka voivat pahimmassa tapauksessa syttyä ja suljetussa tilassa aiheuttaa räjähdysvaaran. Tähän vaaraan varastossa voidaan varautua ilmavaihdolla tai paineenpurkuluukuilla. Ilmanvaihdon tulee olla vähintään 5,1 l/s/m² varaston lattiapinta-alasta (NFPA 855 4.9.3.1). Ilmanvaihdon on oltava jatkuvasti toiminnassa tai sen tulee kytkeytyä automaattisesti kaasuntunnistusjärjestelmän avulla. Ilmanvaihdon on käynnistytävä, jos syttyvien kaasujen pitoisuus ylittää 25 prosenttia räjähdysvaarallisesta pitoisuudesta (NFPA 855 4.9.2). Järjestelmään tulee liittää hälytys, joka on varustettu merkkivalolla, ja hälytyksen tulee olla näkyvillä rakennuksen ulkopuolella.

6.2 Sähköautot

Sähköautojen lataamisen riskit ovat samankaltaisia teollisuudessa kuin muissakin ympäristöissä. Vaikka sähköautot eivät muodosta palokuormaltaan suurempaa riskiä kuin perinteiset polttomootoriautot, niiden sammuttaminen voi olla vaikeampaa. Tästä syystä on tärkeää kiinnittää erityistä huomiota sähköauton latauspaikkojen suunnitteluun ja turvallisuuteen.

Latauspaikan rakentamiseen on saatavilla runsaasti rakennusohjeita, ja sen toteutuksessa tulee noudattaa sähköturvallisuusstandardia SFS 6002, jota sovelletaan myös sähköautojen korjaustöissä. Lisäksi standardi SFS 6000-7-722 määrittää sähköajoneuvojen latauspaikkojen tekniset vaatimukset sekä ohjeet tilanteisiin, joissa sähköä syötetään sähköajoneuvoista takaisin yksityiseen tai yleiseen jakeluverkkoon.

Tämän suosituksen kohdassa 4.2.4 on listattu tarkempia ohjeistuksia, joiden avulla voidaan rakentaa turvallisia latauspaikkoja. Alla on lisäksi käsitelty riskienhallinnan kannalta tärkeimmät näkökohdat, kuten latauspaikan sijainti, savukaasujen poisto, palon leviäminen ja sähköturvallisuus.

6.2.1 Autojen latauspaikat

Latauspaikat voidaan jakaa kahteen ryhmään: sisä- ja ulkolatauspaikat. Ulkona sijaitseva latauspaikka tulee sijoittaa riittävän kauas rakennuksista tai muusta palavasta materiaalista. Palon sattuessa sähköautosta voi lentää palavia heitteitä usean kymmenen metrin päähän, mikä voi sytyttää lähellä sijaitsevia rakennuksia tai rakenteita.

Toinen merkittävä riski on savukaasut, jotka voivat päästä sisätiloihin väärän latauspaikan valinnan seurauksena. Suositeltu minimietäisyys palaviin materiaaleihin on 8 metriä (ASETUS 848/2017, 29 §).

Sisätiloissa latauspaikka suositellaan sijoitettavaksi sisä- ja ulosajoreittien läheisyyteen, mikä on pelastustoimen kannalta hyvä vaihtoehto. Sijoittamisessa on kuitenkin tärkeää varmistaa myös ihmisten poistumisreittien turvallisuus. Palosta syntyvät savukaasut eivät saa tukkia luonnollisinta poistumisreittiä, kuten esimerkiksi kauppakeskuksen sisäänkäyntiä (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto 2022, s. 7).

6.2.2 Savukaasujen hallinta autopalossa

Akkupalossa muodostuu merkittävästi enemmän savukaasuja kuin tavallisessa autopalossa. Nämä kaasut sisältävät myös enemmän myrkyllisiä aineita, minkä vuoksi niiden hallitseminen on tärkeää sekä sivullisten että pelastuslaitoksen näkökulmasta.

Latauspaikka tulisi sijoittaa niin, että palon sattuessa palokaasut eivät pääse ilmastoinnin kautta leviämään sisätiloihin, joissa työskentelee ihmisiä. Lisäksi latauspaikka ei saa sijaita ikkunoiden tai parvekkeiden alapuolella, joista kaasut voivat joutua hengitysilmaan.

Sisätiloissa sijaitsevilla latauspaikoilla tulee varautua samoihin vaaroihin kuin ulkotiloissa. Suljetuissa tiloissa on kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota kaasun muodostukseen, joka voi aiheuttaa myös leimahdus- tai räjähdysriskin. Sisätiloissa sijaitsevat latauspaikat tulisi aina varustaa erillisellä savukaasunpoistolla, joka kytkeytyy päälle automaattisesti palotilanteessa. Savukaasujen tunnistamiseen soveltuvan anturin tulisi mitata ainakin hiilimonoksidia ja vetyä. Savukaasujen poiston mitoitussuhteena voidaan käyttää energiavarastoille suositeltua ohjetta $5,1 \text{ l/s/m}^2$ (latauspaikan lattiapinta-alasta) (NFPA 855, 2020, k. 4.9.3.1).

6.2.3 Palonleviäminen parkkihalleissa

Tanskalaisen tutkimuslaitoksen (The Danish Institute of Fire and Security Technology) tutkimuksen mukaan yksittäisen auton paloa parkkihalleissa ei pidetä kriittisenä. Kuitenkin useissa suurissa parkkihalleissa on havaittu palon nopeaa leviämistä autotyyppistä riippumatta. Tästä syystä on tärkeää huomioida palon leviämisen riskit jo parkkihallien suunnittelussa.

Alla on lueteltu joitakin keskeisiä suosituksia uusien parkkihallien suunnitteluun (DBI 2022, s. 7):

- Autopalon maksimi lämpöteho on kasvanut uusien autojen myötä 5-10MW:n. Suunnitteluarvona tulisi käyttää vähintään 7MW tehoa.
- Parkkihalleissa tulisi olla automaattinen palonilmoitin ja hälytysjärjestelmä, sillä ei voida olettaa, että pysäköijät hälyttävät palokunnan tulipalon sattuessa.
- Savunpoisto ei ole tehokas tapa estää palon leviämistä autosta toiseen. Useissa tapauksissa palo on levinnyt parkkihalleissa, joissa julkisivut ovat olleet avonaiset ja savunpoisto on tapahtunut niiden kautta.
- Palon leviämisen riski on erityisen suuri yli 150 m^2 parkkihalleissa, jotka eivät ole varustettu sprinklereillä tai savunpoistolla.
- Sprinklauksesta on tehty täysimittaisia testejä sähköhenkilöautoilla ja ICEV-busseilla. Testeissä havaittiin seuraavaa:

- Henkilöautokokeessa järjestelmä, jonka kapasiteetti oli 10 mm/min/m², pystyi estämään palon leviämisen viereiseen autoon. Kapasiteetti 5 mm/min/m² ei riittänyt palon rajoittamiseen.
- Busseilla 14 mm/min/m² pystyi estämään palon leviämisen, kun sprinkleri oli asennettu bussien väliin (DBI 2022, s. 47–48). (DBI 2022 s.47–48).

Näiden suositusten huomioiminen voi merkittävästi parantaa parkkihallien paloturvallisuutta ja vähentää riskejä niin ajoneuvojen kuin ihmisten turvallisuuden kannalta.

6.2.4 Sähköautonlataus standardit ja suositukset

Ohjeen tai standardin nimi	Tekijä	vuosi	linkki
Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023	Sesko	2023	Sähköajoneuvojen lataussuositus SK 69-1:2023
SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUSPIS-TEET KIINTEISTÖISSÄ JA PELASTUSTOIMINNAN EDELLYTYSTEN HUOMIOIMINEN	Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto	2022	Sähköautojen latauspisteet kiinteistöissä
SÄHKÖTYÖTURVALLISUUS	Sesko	2015	SFS.fi SFS 6002:2015
SÄHKÖASENNUKSET SFS 6000-7-722:2022	Sesko	2022	SFS.fi SFS 6000-7-722:2022

Yllä olevien suositusten lisäksi vakuutusyhtiöiden suojeleohjeissa on erillisiä vaatimuksia latausympäristölle, joita tulee noudattaa. Ohjeet löytyvät täältä. [vakuutusyhtiöiden suojeleohjeet](#).

6.3 Litiumioniakuilla varustetut trukit ja muut niihin verrattavat laitteet

Litiumioniakuilla varustettuja trukkipaloja on tilastojen mukaan ollut Suomessa vain yksi, mutta niihin on hyvä varautua litiumioniakkujen hankalan sammutettavuuden takia.

Nykyiset latauspaikat ovat hyvin varusteltuja, erityisesti lyijyakkujen vedyn vapautumisen hallintaan latauksen aikana. Sähköalan ohjekorttia ST52-30.01 voidaan soveltaa myös litiumioniakkujen trukkeihin, mutta vetykaasun tunnistusantureiden lisäksi latauspaikalla tulisi olla myös hiilimonoksidin (CO) tunnistava anturi. Savukaasujen poiston riittävyys tulisi tarkistaa NFPA 855 -standardin mukaiseksi, johon viitataan tämän asiakirjan kohdassa 4.2.2. Lisäksi savukaasujen poistossa tulee noudattaa myös standardia IEC EN 62485-2:2018.

Avoimessa tilassa, kuten varastotilan yhteydessä, trukkeja ei suositella ladattavaksi, niiden hankalan sammutettavuuden vuoksi. Trukkien lataus tulisi aina suorittaa omissa paloturvallisissa tilassa. Akusta aiheutuvat savukaasut tai palo voivat tuhota varastossa olevia materiaaleja tai levitä muihin

rakenteisiin. Jos trukkeja tai muita laitteita kuitenkin ladataan avoimessa tilassa, latauspaikan tulisi sijaita mahdollisimman kaukana poistumisreiteistä ja muusta palavasta materiaalista.

Alkusammutustoimenpiteet, jotka on kuvattu tämän suosituksen kohdassa 4.2, soveltuvat myös trukkipalojen sammutukseen tai rajaamiseen. *Kaikissa alkusammutustoimenpiteissä on ensiksi huolehdittava henkilökohtaisten suojaimien käytöstä ja muiden kuin sammutukseen osallistuvien työntekijöiden evakuoinnista.*

Lisätietoja trukkien latauspaikoista on kerätty Tukesin oppaassa ”Opas teollisuuden litiumioniakkujen turvalliseen käyttöön” (Tukes 2018).

7 Akkujen kierrätys ja jälkitoimenpiteet

7.1 Käytöstä poistettujen pienet ja keskisuurten akkujen keräys ja kuljetus

Säilytyksen ja kuljetuksen aikana akuista aiheutuu paloriski, jonka takia akkuja ei kannata säilyttää tai kuljettaa suuria määriä kerralla. Alla on kerätty asioista, joita tulisi ottaa huomioon pienten ja keskisuurten akkujen kierrätykseen.

Pienet akut ja paristot kierrätetään samalla tavalla. Paristojen ja pienten akkujen kierrätyksestä vastaa tuottajayhteisö Recser Oy. Paristokierrätys.fi sivustolta löytyy tarkat ohjeet kannettavien akkujen (alle 5 kg) kuljetusta ja kierrätystä varten.

Pienakkujen ja paristojen keräysastiat löytyvät mm. akkuja ja paristoja myyvistä kaupoissa. Astiat voivat olla erillisiä pahvisia laatikoita, tai keräyspisteet voivat olla yhdistettynä kiinteistön seinään (kuva 6).



Kuva 6. Paristojen ja akkujen keräyslaatikko

Seuraavassa on luettelo asioista, jotka tulee huomioida akkujen kierrätyksessä: Lista on tarkoitettu kotitalouksiin, mutta niitä voidaan soveltaa myös teollisuudessa.

- **Vältä suurten akkumäärien keräämistä samaan paikkaan.**
 - Vie erityisesti vikaantuneet akut heti ulos ja edelleen kierrätykseen.
 - Akkujen säilyttäminen yhdessä paikassa lisää suuren palon riskiä, joten akut kannattaa toimittaa kierrätykseen säännöllisesti.
 - Vuotavat akut voidaan pakata tiiviisti muovipussiin kuljetusta varten.
- **Pidä akut poissa lasten ja eläinten ulottuvilta.**
 - Säilytä akut ja paristot niin, että lapset ja eläimet eivät pääse käsiksi niihin.
 - Eläinten puremat voivat aiheuttaa akun syttymisen, ja nieleminen voi johtaa myrkytyksiin.
- **Teippaa navat**



- Teippaus estää oikosulun ja vähentää syttymisriskiä kuljetuksen ja säilytyksen aikana.
- **Vie akut takaisin ostopaikkaan**
 - Paristot ja pienakut voi kierrättää helposti kauppareissun yhteydessä.
 - Jos keräysastia ei ole näkyvillä, kysy apua kaupan henkilökunnalta.

Kaikki pienet akut ja paristot voidaan laittaa samaan keräysastiaan.

Lähimmän keräyspisteen voit tarkistaa osoitteesta.

www.kierratys.info.

Lisätietoa akkujen kierrätyksestä löytyy myös osoitteesta:

www.paristokierratys.fi.

Sivustolla käsitellään myös niin kutsuttuja "zombiakkuja". Nämä ovat akkuja, jotka ovat päätyneet muun jätteen sekaan ja voivat aiheuttaa tulipalon jätteen käsittelyssä tai kuljetuksessa.

Rikkinäiset tai pullistuneet akut tulee pakata muovipussiin ja laittaa niille tarkoitettuun erillisiin kierrätysastioihin (kuva 7). Apua näihin asioihin saat kierrätyspisteen vastaavalta.



Kuva 7. Paristojen ja litiumioniakkujen keräystynnyrit

Keskisuurten akkujen kuten polkupyörän akut tulee viedä alueellisiin kierrätyspisteisiin. Akun koko saa olla enintään 5 kg.

Teollisuudesta tuleville pienakuille voi tilata kuljetuksen mm. Recser Oy:ltä tai Kuusakoski Oy:ltä

7.2 Akkujen kierrätyksen 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.

Kierrätettävät akut toimitetaan laitoksiin pääsääntöisesti vaarallisten aineiden kuljetuksena (VAK). VAK-standardeihin perustuvat määräykset määrittelevät akkujen pakkauksen, mikä parantaa myös niiden varastoinnin turvallisuutta.

7.2.1 Akkujen vastaanotto ja varastointi kierrätystoimijoilla

Akkujen saapuessa kierrätystoimijoille ne tulisi sijoittaa erilliselle alueelle, jossa niitä valvotaan ympärivuorokauden menetelmällä, joka mahdollistaa palon havaitsemisen pakkausmenetelmästä huolimatta ja estää palon leviämisen. Yksi yleisesti käytössä oleva menetelmä on lämpökameratunnistus.

Akkujen varastoinnissa tulee välttää suurten määrien säilyttämistä yhdessä paikassa. Akut olisi hyvä jaotella pienempiin kokonaisuuksiin käyttämällä turvaetäisyyksiä tai paloeristää ne paloturvallisilla rakennuksilla, kuten merikonteilla.

Merikonteissa tulee huolehtia riittävästä tuuletuksesta palavien kaasujen poistamiseksi sekä niiden välisistä etäisyyksistä. Minimietäisyys konteille on 3,1 metriä (NFPA 855 energiavarastostandardin mukaan). Tätä etäisyyttä voidaan pienentää palonsuojamenetelmillä, mutta on lisäksi tärkeää varmistaa pääsy varastoihin sammutustilanteissa mielellään kahdesta eri suunnasta, jotta sammuttaminen voi tapahtua aina tuulen yläpuolelta.

Nämä toimenpiteet parantavat turvallisuutta ja mahdollistavat tehokkaamman palontorjunnan vaaratilanteissa.

7.2.2 Akkujen mekaaninen purkaminen ja sähköautojen akuston poisto

Akkujen käsittelyssä on tärkeää rajoittaa akkujen määrää tuotanto- tai käsittelytiloissa vain siihen, mitä kulloinkin tarvitaan. Tämä pienentää palokuormaa ja parantaa palon hallintaa kriisitilanteissa.

Akkujen mekaanisessa purkamisessa tai esikäsitellyssä murskaukseen (lajittelu) on läsnä useita riskejä, kuten myrkylliset kaasut, paloturvallisuusriski ja joissakin tapauksissa myös sähköturvallisuusriski.

Pienempien akkujen kohdalla paloturvallisuuden hallintaan suositellaan veteen upottamista. Tämä vähentää savukaasujen muodostumista ja tekee palon sammuttamisesta helpompaa.

Isompien akkujen kohdalla paloturvallisuusriski tulisi hallita ensisijaisesti evakuoinnilla, sillä akun sammuttaminen voi olla hyvin hankalaa. Evakuointi auttaa estämään isommat vahingot.

Evakuoinnissa tulee aina muistaa henkilökohtaisten suojainten käyttö, kuten kappaleessa 4.2 on kerrottu. Jos kyse on korkeajännitetyöstä, niin jännitesuojakäsineet tulee olla lisäksi kuumasuojakäsineiden alla.

Jos akut upotetaan veteen, tilan hyvä tuuletus on erityisen tärkeää tai akku tulee viedä ulos herkästi syttyvien kaasujen vuoksi. Korkeajännite ja (suola)vesi voivat aiheuttaa elektrolyysin, jossa muodostuu muun muassa herkästi räjähtävää vetykaasua. Tästä syystä on tärkeää varmistaa riittävä ilmanvaihto ja turvallinen käsittely kaikissa työvaiheissa.

7.2.3 Akkujen sähköinen purkaminen

Akkujen varauksen purkamisella akut saadaan turvallisemmiksi käsitellä, kuljettaa ja mahdollisesti jatko käsitellä esimerkiksi murskaamalla. Varauksenpurkua suositellaan kuitenkin vain ammattimaisesti toimiville tekijöille, jotka suorittavat sen oikeaoppisesti ja oikeassa ympäristössä.

Akkujen purkamiseen liittyy useita työturvallisuusriskejä, kuten mekaaniset muutokset, syttyminen useista eri syistä sekä syttyvien kaasujen muodostuminen kennojen rikkoutuessa. Purkutilanteessa kennojen pullistuminen voi aiheuttaa akun ulkopuolisen rakenteen rikkoutumisen, mistä voi seurata sirpaleiden irtoamista ympäristöön.

Suolavedessä tai vedessä akun varauksen purkamista ei suositella. Tämä johtuu prosessin hankalasta hallittavuudesta sekä siitä, että vesiupotus voi hankaloittaa akun jatkokäsittelyä.

7.2.4 Akkujen murskaus

Akkujen murskausprosessit ovat paloturvallisuuden ja ympäristön osalta isossa osassa akkujen kierrätystä. Murskausprosessit ja varsinkin niiden paloturvallisuus on prosessin erityisosaamista ja siksi tässä hankkeessa ei julkisesti niitä käsitellä. Toimijoiden on kuitenkin hyvä tehdä yhteistyötä pelastuslaitosten kanssa, että palotilanteessa pelastustoimi osaa toimia oikein kokonaisuuden hallinnan kannalta.

Valtioneuvoston asetuksessa 715/2001 kemiallisista tekijöistä työssä sanotaan, että työnantajan on tunnistettava työssä esiintyvien kemiallisten tekijöiden aiheuttamat vaarat ja arvioitava niistä työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle mahdollisesti aiheutuvat riskit (Asetus 715/2001). Jos työntekijöiden altistumista vaarallisille kemiallisille tekijöille ei voida muutoin luotettavasti arvioida, on työnantajan suoritettava altistumismittauksia säännöllisesti. Mittaustuloksia verrataan Sosiaali- ja terveysministeriön oppaassa HTP-arvot 2020:24 annettuihin haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin (HTP). Altistumista verrataan kahdeksan tunnin raja-arvoon, kun altistuminen kestää työvuoron ajan. Mikäli altistuminen on lyhytaikaista mittaustuloksia, verrataan 15 minuutin raja-arvoon. Kierrätystoimijoille suositellaan prosessista vapautuvien epäpuhtauspitoisuuksien seuraamista työskentelytiloissa, mutta myös niiden päästöjä ympäristöön. Akustosta poistuu palamisen ja murskauksen aikana myrkyllisiä epäpuhtauksia, joilla voi olla lyhyt tai pitkävaikutteisia vaikutuksia niin työntekijöille kuin luontoonkin. Akkujen murskaamisessa ja siitä seuraavissa termisissä karkaamisissa vapautuu fluorivetyä, hiilimonoksidia ja typenoksideja. Lisäksi ilmassa voi esiintyä luonnossa ja ihmisessä hyvin pitkäikäisiä perfluorattuja yhdisteitä ja elektrolyytistä vapautuvia karbonaatteja sekä muita palavia kaasuja, kuten vetyä. Katodilta murskauksessa vapautuu myös hiukkasia, jotka voivat sisältää litiumia, kobolttia, mangaania ja muita akkukemian mukaisia alkuaineita. Näiden epäpuhtauspitoisuuksien seuraaminen ja kontrollointi on työturvallisuuden ja luonnon suojelun kannalta erittäin tärkeää.

8 Akkujen kuljetus

Litiumioniakkujen ja litiummetalliparistojen kuljetus on määritelty YK:n kuljetusmääräysten mukaan vaaralliseksi aineiksi (Tukes 2024). Litiumakut ja -paristot kuuluvat vaarallisuusluokkaan 9, muut vaaralliset aineet ja esineet. Litiumioniakkuja on seitsemässä eri lähetyksryhmässä (Taulukko 2). Yleisimmin käytetyt lähetyksryhmät ovat UN3480, UN3481, UN3090 ja UN3091. Kaksi ensimmäistä koskevat litiumioniakkuja ja kaksi jälkimmäistä litiummetalliakkuja (paristoja). Käytöstä poistettujen pienten ja keskiuurten akkujen kuljettamisesta on suositus kohdassa 5.1, jossa on käsitelty akkujen kierrätystä, joten tässä kappaleessa käsitellään vain isojen vaurioituneiden akkujen kuljetusta.

Taulukko 2. Yleiskatsaus litiumioniakkuja sisältävien akkujen ja laitteiden yleiskatsaus (PGS 37-2, 2023 k.1.2).

YK koodi	Määritelmä
YK3171	Akkukäyttöinen laite tai ajoneuvo, joissa on käyttövoimana märkä-, natrium-, litiummetalli- tai litiumioniakkuja, ja akkukäyttöisiin laitteisiin, joissa on käyttövoimana märkä- tai natriumakkuja, ja joita kuljetetaan akut asennettuina.
YK3166	Ajoneuvot (hybridi, litiumioniakun ja polttomoottorin yhdistelmä)
YK3480	Litiumioniakut
YK3481	Litiumioniakut, jotka sisältyvät laitteeseen tai ovat pakattu laitteen kanssa.
YK3090	Litiummetalliakut
YK3091	Litiummetalliakut, jotka sisältyvät laitteeseen tai ovat pakattu laitteen kanssa.
YK3536	Litiumioni- tai litiummetalliakut, jotka ovat asennettuna lastinkuljetusyksikköön

Litiumioni akkujen pakkaamisen tavoitteena on estää oikosulku, mekaaniset vauriot ja mahdollinen kosteuden sisäänpääsy kuljetuksen aikana. Materiaalit ja pakkaus olisi valittava siten, että estetään tahaton sähkönjohtaminen, korrosio ja ympäristösaasteiden sisäänpääsy (SFS-EN IEC 62619 2022). YK säännösten pakkaustavat koskee pääsääntöisesti ehjiä vaurioitumattomia akkuja, (stabiilissa tilassa olevat akut) mutta ohjeistus sisältää myös ohjeet vahingoittuneille tai viallisia litiumioniakuille, jotka tulee pakata erillisen pakkaustavan mukaan. Nämä pakkaustavat on määritetty vaarallisten aineiden kuljetus ohjeistuksessa kohdassa 8 joka löytyy mm. Traficom VAK-hausta taulukossa olevilla UN koodeilla (VAK-HAKU 2024).



Monessa pakkaustapaohjeessa on viitattu vaarallisia aineita ja esineitä koskevaan yleiseen määräyksen kohtiin 4.1.1 ja 4.1.3. Nämä kohdat löytyvät Traficomien määräyksestä ”Vaarallisten aineiden kuljetus tiellä” (TRAFICOM/473662/03.04.03.00 2022 s.579 ja s.609).

VAK-ohjeet määrittävät akkujen kuljetukselle vapaarajan. Se on raja, jota kuka tahansa meistä voi tätä tavaraa kuljettaa ilman VAK-ajolupaa, ilman ajoneuvon merkintää tai maantiekuljetuksen ohjekorttia. Litiumioniakuille raja on 333 kg (VAK-HAKU 2024, sarake 15).

Akkujen kuljettamisen muistilista

- Kaikkien akkujen tulee olla stabiilissa tilassa ennen lähettämistä
- Jos on olemassa riski akun syttymisestä kuljetuksen aikana (on hyvä ottaa yhteyttä akun vastaanottajaan. Monella kierrätyslaitoksella on valmiina epästabiilin akun kuljettamiseen tarkoitettuja laatikoita, täytteitä, ja ohjeistusta Fortum Battery recycling Oy, Akkuser Oy tai Kuusakoski Oy.
- Kaikki akut tulee lähettää yllä mainittujen UN standardien mukaisesti ja pakata niille kuuluvan pakkausryhmän mukaan
- Muista käyttää oikeaa pakkaustapaa
- Suuria akkuja, joissa itsessään on riittävän vahva ulkokuori, ei tarvitse pakata erilliseen suojalaatikkoon.
- Muista suojata akun navat
- Merkkää lähetys VAK vaatimusten mukaisesti

9 Sähköajoneuvojen korjaus ja kuljetus

Tässä kappaleessa on selvitetty litiumioniakkujen korjaukseen ja kuljetukseen liittyvät vaaratekijät sekä keinot, joiden avulla niihin voi varautua.

Kappaleessa käsitellään myös kolariautojen kuljetusta, sillä vaikka VAK-kuljetusmääräykset määrittelevät litiumioniakkujen ja niitä sisältävien laitteiden turvallisen kuljettamisen, näitä määräyksiä ei voida suoraan soveltaa kolariautoihin. VAK-määräyksiä tulee kuitenkin käyttää pienempien laitteiden, kuten sähköskuuttien, kuljettamiseen.

Hinausyritysten suositellaan keskustelemaan paikallisten pelastuslaitosten kanssa yhteistyöstä kuljetusten turvallisesta järjestämisestä ja erityisesti autojen sijoittamisesta kuljetuksen jälkeen.

9.1 Sähkö- ja hybridautojen siirto onnettomuuspaikalta

Alla olevat suositukset on tarkoitettu ensisijaisesti hinausliikkeiden edustajille tilanteissa, joissa sähkö- tai hybridauto on ollut osallisena liikenneonnettomuudessa tai autopalossa, ja ajoneuvo tulee kuljettaa onnettomuuspaikalta joko väliaikaiseen säilytykseen tai autoliikkeen/maahantuojan osoittamaan paikkaan.

Sähkö- ja hybridaajoneuvojen akustojen palot ovat Suomessa edelleen erittäin harvinaisia. Tästä huolimatta tällainen mahdollisuus on aina olemassa, ja siksi on tärkeää, että hinausliikkeiden henkilökunnalla on riittävä tietotaito toimia oikein, erityisesti tilanteissa, joissa ajoneuvo saattaa syttyä kuljetuksen aikana palamaan.

9.1.1 Toiminta palaneen auton/hybridauton kuljetuksessa

Kolaroitujen sähköautojen kuljetus voidaan suorittaa sille tarkoitettulla siirtolavalla tai konttikuljetuksella. Siirtolavalla kuljetettaessa on hyvä ottaa huomioon auton poistaminen lavalta mahdollisimman nopeasti, kuljetuskaluston suojaamiseksi ja huolehdittava pelastuslaitoksen nopeasta paikalle pääsystä. Konttikuljetuksen etuna on kontin antama ympäristön palosuoja sekä helpompi palon hallinta akun uudelleen syttymistilanteessa.

Auton saaminen lava- tai konttikuljetukseen suoraan parkkihalleista ei välttämättä ole mahdollista niiden tilojen mataluuden takia ja niissä tapauksissa suositellaan käytettävän hinauskalustoa sekä auton siirtoalustoja (Kuva 8).



Kuva 8. Esimerkki auton siirtoalustasta.

9.1.2 Sähköauton kuljetus täysin palaneelle ajoneuvolle

Toimintaohje ajoneuvon hinaamiseen, joka on palanut, niin kauan kun palokuormaa on ollut, eikä sitä ole yritetty sammuttaa.

- Akun lämpötilan tulee olla alle 50C° ja sen lämpötila ei saa nousta 60 minuutin tarkastelu jakson aikana (CTIF 2024 s.50) (MSB 2023 s.35).
- Palanut auto voidaan siirtää normaali hinaustehtävänä määränpäähensä millä tahansa kuljetuskalustolla.
- Akuston syttymiseen varauduttava yllä olevista toimenpiteistä huolimatta.

9.1.3 Sähköauton kuljetus sammutetulle ajoneuvolle, jonka akku ei ole loppuun palanut

- Ennen kuljetuksen alkamista, varmistetaan lämpökameralla auton akuston lämpötila. Seurataan vähintään 60 min ajan nouseeko akuston lämpötila, ennen kuljetuksen aloittamista. Akuston lämpötila ei saa olla yli 50C° (CTIF 2024 s.50) (MSB 2023 s.35).
- Kuljetukseen pyritään käyttämään konttiratkaisua, ilman vettä.
- Jos epäily, että ajoneuvon ajoakku on epästabiili, niin kuljetus tehdään akusto veteen upottuna.
- Jos konttia ei ole saatavilla, on kuljetus tapahduttava pelastuslaitoksen saattamana.
- Kuljetuksessa oleva ajoneuvo vaatii jatkuvaa tarkkailua kuljetuksen aikana ja viestiyhteys saattoautoon
- Paikka mihin ajoneuvo jätetään, täytyy olla huomioituna riittävä suojaetäisyys palaviin rakenteisiin kuljetetun ajoneuvon mahdollisesti uudelleen syttyessä. Suojaetäisyys muihin autoihin ja palavaan materiaaliin minimissään 8 m (ASETUS 848/2017 2017 pykälä 29).



9.1.4 Auto ollut upotettuna veteen vähintään 1 vrk

- Auto nostetaan ylös vedestä ja sitä tarkkaillaan turvallisessa ulkotilassa vähintään 1 vrk ajan. Auto voidaan siirtää normaali hinaustehtävänä määränpäähensä, jos akun lämpötila ei lähde nousemaan ja on kaikin tavoin stabiili.
- Auto vaatii kuitenkin jatkuvaa tarkkailua kuljetuksen aikana
- Sähkö- ja hybridautojen kuljetuksissa käytettäväksi lavaratkaisua, joka voidaan laskea kuljetusauton kyydistä, eikä kuljetettavan ajoneuvon kiinnityksiä tarvitse erikseen irrottaa, jos ajoneuvo syttyy uudestaan palamaan kuljetuksen aikana
- Paikka mihin ajoneuvo jätetään, täytyy olla huomioituna vähintään 8 metrin suojaetäisyys palaviin rakenteisiin kuljetetun ajoneuvon mahdollisesti uudelleen syttyessä.

9.1.5 Sähköauton kuljetus sen ollessa osallisena liikenneonnettomuudessa

Toimitaan 7.1.4 kohdan ohjeistuksen mukaan, mutta lisäksi tarkastetaan auton ajoakku ulkoisten vaurioiden osalta. Jos akussa on ulkoisia vaurioita, siirrossa suositellaan käytettäväksi konttia sekä keskustelemaan pelastuslaitoksen kanssa mahdollisesta avustustoimenpiteistä.

9.1.6 Kalustosuosituksia sähköauton kuljettamiseen

- Sammutuskontti. (Konttia ei tule ensisijaisesti täyttää vedellä kuin vasta silloin kun auto sytty kontin sisällä palamaan) Kontti ei saa olla umpinainen tai akusta purkautuvat kaasut on tuuletettava kontin ulkopuolelle (Kuva 9).
- Lavaratkaisu, jossa lava voidaan irrottaa vetoautosta, eikä kuljetettavan ajoneuvon kiinnityksiä tarvitse erikseen irrottaa, jos ajoneuvo sytty palamaan kuljetuksen aikana (Kuva 10).
- Lämpökamera litiumioniakuston lämpötilan seurantaan
- Moottoroitu hengityssuojain tai paineilmalaitte



Kuva 9. Vedellä täytettävä autonkuljetuskontti.



Kuva 10. Kuljetusauto avonaisella lavalla.

9.1.7 Suurten sähköisten kulkuvälineiden siirtäminen

Bussit, kuorma-autot ja muut vastaavat ajoneuvot yleistyvät nopeasti myös Suomessa ja sen takia tähänkin on pelastustoimen ja hinauspalveluiden syytä varautua. Ajoneuvojen kuljettaminen joudutaan useasti tekemään valmistajan ohjeistuksen mukaisesti, että sen runko rakenteet kestävät kuljetuksen, niin tämä ohje ei ota kantaa siihen, miten esimerkiksi bussit tulisi kuljettaa, mutta alla olevassa listauksessa on suosituksia siitä mitä tulisi huomioida akkupalon sattuessa.

- Älä hengitä akuista tulevia savukaasuja ja varo joutumasta niiden kanssa ihokosketuksiin muutenkin.
- Suunnittele hinausreitti siten että, se menee mahdollisimman kaukana ihmisistä ja asutuksesta.
- Jos arvioidaan riski akuston uudelleen syttymiselle, niin pelastuslaitoksen tuki olisi suositeltavaa ainakin keskusta alueella autoa hinattaessa.

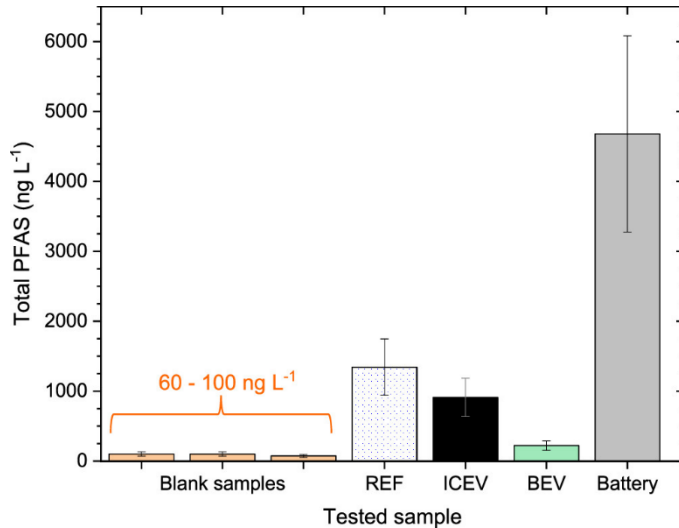
Hinaukseen ohjeita löytyy autovalmistajien sivuilta hakusanalla turvallisuusohjeet.

9.1.8 Ympäristötekijät sähköautopalossa

Sähköauton sammuttamisessa ympäristöön voi päästä vaarallisia aineita sekä savukaasujen että sammutusvesien kautta. Sammutusvedet tulisi aina kerätä talteen ja toimittaa asianmukaisesti kierrätettäväksi, jos se on suinkin mahdollista.

Sammutuskontilla kuljetettaessa ei suositella, että kontti täytetään vedellä, ellei se ole ehdottoman tarpeellista akun uudelleensyttymisen estämiseksi. Tämä johtuu akusta veteen irtoavien myrkyllisten PFAS-yhdisteiden ja raskasmetallipitoisuuksien vuoksi (Mellert ym. 2020, s. 48, 55, 61).

Akun ”huuhteleminen” vedellä irrottaa siitä enemmän ympäristölle vaarallisia aineita, kuten PFAS-yhdisteitä, joiden esiintyvyys ja pitoisuudet on esitetty Kuvassa 11. (Quant ym. 2023).



Kuva 11. Perfluorattujen (PFAS) -yhdisteiden kokonaispitoisuus sammutusvesinäytteissä kunkin testin lopussa (Quant ym. 2023).

9.2 Sähköautojen korjauksen aikaisiin akkupaloihin varautuminen

Sähköauton paloturvallisuusriski kasvaa erityisesti, jos auto on kolaroitu tai jos akku joudutaan poistamaan autosta huolto- tai korjaustyön ajaksi.

Korjaamotyössä akusta aiheutuvat riskit ovat samankaltaisia kuin akkujen käsittelyssä yleensä, mutta erityisen haastavaksi tilanteen tekee akun hankala evakuointi ja sammutus. Tämän vuoksi on tärkeää varautua tilanteisiin ennaltaehkäisevästi.

Toinen merkittävä riski liittyy kolariautojen akuston syttymiseen tai palaneiden sähköautojen akuston uudelleensyttymiseen. Näihin riskeihin on hyvä varautua auton paloturvallisella säilytyksellä.

9.2.1 Kolaroitujen sähköautojen säilytys

Kolariauto tulisi säilyttää ulkona, mahdollisimman kaukana muusta palavasta materiaalista, mutta kuitenkin vähintään 8 metrin päähän palavasta rakennuksesta. Tätä etäisyyttä voidaan pienentää käyttämällä palomureja tai muita paloa rajoittavia toimenpiteitä. Koska sähköauton sammutus on hankalaa, palon leviämisen estämiseksi on hyvä varautua pikapalopostilla tai muulla järjestelmällä, josta vettä on helposti saatavilla auton ulkopuoliseen jäähdyttämiseen ja ympäristön suojaamiseen.

9.2.2 Sähköautojen korjauksen aikainen paloturvallisuus

Kolariautoja ei tulisi säilyttää sisätiloissa, paitsi niiden korjaustoiminnan aikana tai kunnes akku on todettu turvalliseksi. Akun kennojen vaurioituminen voi olla vaikeaa havaita akun ulkopuolelta, minä vuoksi akku tulisi aina purkaa, jos on syytä epäillä, että ulkopuoliset vauriot ovat aiheuttaneet kennojen rikkoutumisia. Kolaroitua, vaurioitunutta tai käytöstä poistettua akkua ei tulisi säilyttää samoissa tiloissa korjaustoiminnan kanssa, ellei akkua ole todettu turvalliseksi. Erityisesti käytöstä poistetut akut tulisi viedä pois rakennuksesta palokuorman vähentämiseksi ja sammutustoiminnan helpottamiseksi.

Vaikka sammutustoimenpiteet ovat hankalia, paloa voidaan mahdollisesti hillitä jäähdyttämällä akustoa ulkopuolelta. Tehokkain tapa on käyttää runsasta vesimäärää, esimerkiksi pikapalopostilla. Toinen tärkeä varautumiskeino on palon leviämisen estäminen, johon voidaan käyttää myös pikapalopostia. Jos akku on jo irrotettu autosta, sen tehokkain sammutustapa on upottaminen vesialtaaseen. Tämä toimenpide edellyttää erikoistyyöpöytää, jossa on vesiallas (Kuva 1).

Pienempien akkumoduulien sammuttamiseen voidaan varautua käyttämällä suljettavia vesiaستioita tai kuljettamalla akut ulos (Kuva 2). *Jos alkusammutustoimenpiteitä tehdään, on erityisen tärkeää muistaa käyttää henkilökohtaisia suojavälineitä (kts kappale 4.2).*

9.2.3 Muistilista palon aikaisille toimenpiteille

- Soita hätäkeskukseen (112).
- Kytke savunpoisto syttyvien ja myrkyllisten kaasujen poistamiseksi.
- Tee seuraavat toimenpiteet vain, jos pystyt tekemään ne altistumatta savukaasuille tai akusta lähteville heitteille tai pistoliekeille (käytä kappaleessa 4.2 mainittuja henkilökohtaisia suojaimia).
- Käytä alkusammutuskalustoa palon leviämisen estämiseen, jos voit tehdä sen turvallisesti ja riittävän kaukaa altistumatta akusta lenteleville heitteille ja siitä tuleville palokaasuille (esim. pikapaloposti). ***Kokonaisille auton akuille ei suositella tekemään alkusammutustoimenpiteitä niiden tehottomuutensa takia.***

9.2.4 Kiinteäakkuisten pienten ajoneuvojen varastointin, latauksen ja korjauksen paloturvallisuus

Pienemmillä laitteilla, kuten sähköpolkupyörien ja sähköskuuttien varastoinnissa, korjauksessa ja latauksessa suurimman paloturvallisuusrisikin aiheuttaa niiden suuri määrä tiloissa, jotka eivät välttämättä ole soveliaita litiumioniakuille tehtäville toimenpiteille. Yhden akun syttyminen voi aiheuttaa riskin, että palo leviää muihin akkuihin, synnyttäen suuren ja hallitsemattoman palon. Tämän vuoksi on tärkeää kiinnittää erityistä huomiota palo-osastointiin, savunpoistoon sekä alkusammutukseen. Huoltotoimenpiteissä, valvotuissa olosuhteissa, pienemmät akkupalot ovat helpommin hallittavissa, kunhan niihin on varauduttu asianmukaisesti. Katso tarkemmat ohjeet kohdasta 4.1. Alkusalutusmenetelmät.

9.2.5 Pienten ajoneuvojen varastoinnin paloturvallisuus

Pienten ajoneuvojen varastoinnin suosituksina voidaan soveltaa osaltaan samoja käytäntöjä kuin pelkkien akkujen ja kennojen varastoinnissakin, jotka löytyvät kappaleesta 5.3.

9.2.6 Pienten ajoneuvojen lataussuositukset

Pienten, alle 1 kWh, pelkkien akkujen avoimen tilan lataussuositukset löytyvät kappaleesta 6. Näitä ohjeita voidaan soveltaa myös kiinteäakkuisten laitteiden lataukseen, kunhan huolehditaan riittävästä savukaasujen poistosta ja ilmanvaihdosta. Isompia määriä ladattaessa, kuten polkupyöriä ja skuutteja, suositellaan palo-osastointia ja osastojen jakamista 10–20 kWh kokoisiksi (DBI 2022, s. 52).

9.2.7 Pienten ajoneuvojen korjauksen paloturvallisuus

Korjauksen aikaiseen paloturvallisuuteen voidaan soveltaa alkusalutuksen toimenpiteitä, jotka on mainittu kappaleessa 4. Tehokkain tapa estää vahingot ovat veteen upotus. Veteen upotusta varten on tärkeää varautua riittävän isolla altaalla sekä henkilökohtaisilla suojarusteilla. Riskitoimenpiteet, kuten lataus, testaus, korjaus ja säilytys, tulisi sijoittaa mahdollisimman kauas poistumisteistä, jotta evakuointi voidaan tarvittaessa suorittaa turvallisesti.

Lähteet

Asetus 715/2001 (2001), *Valtioneuvoston asetus kemiallisista tekijöistä työssä.*

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010715>.

ASETUS 848/2017 (2017), *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.*

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848#Pidm46111191571984>.

CTIF 2024 *Rescue operation where lithium-ion batteries are present.*

https://www.ctif.org/sites/default/files/2024-07/Operational%20guidance%20lithium%20ion%20batteries_Sweden_MSB_2024.pdf.

DBI 2022, *Brandsikkerhed i garageanlæg, oplag af litium-ion batterier og batterier til solcelleanlæg i bygninger.* <https://www.dnv.com/maritime/publications/Technical-Reference-for-Li-ion-Battery-Explosion-Risk-and-Fire-Suppression-report-download/>.

DNV 2019, *Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression.*

<https://www.dnv.com/maritime/publications/Technical-Reference-for-Li-ion-Battery-Explosion-Risk-and-Fire-Suppression-report-download/>.

DSB 2021, *Risikovurdering og håndtering av brann i Litium-ion batterier.*

https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterieill/veiledere/risikovurdering_og_haandtering_av_brann_i_litium-ion_batterier.pdf.

Hassinen, M. 2022. Pelastusopisto. Uudet energiamuodot liikennevälineissä ja energiavarastoissa. Sammutustaktiikka ja -tekniikka. http://info.smedu.fi/kirjasto/sarja_B/B2_2022.pdf.

KIWA. 2024. *NTA 8133 test Lithium Brandblussers.* <https://www.kiwa.com/nl/nl/services/testen/nta-8133-test-lithium-brandblussers/>.

Kunkelmann, J. 2015. *Untersuchung des Brandverhaltens von Lithium-Ionen- und LithiumMetall-Batterien in verschiedenen Anwendungen und Ableitung einsatztaktischer Empfehlungen.* Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Marioff. 2023. *Fire Protection of Lithium-ion Battery Energy Storage Systems.*

https://www.marioff.com/en/media/Marioff-2023-04-EN-Fire-protection-of-Li-ion-BESS-Whitepaper-WEB.pdf_tcm986-203077.pdf.

Mellert, L & Welte, U., Tuchschnid, M., Held M., Hermann, M., Kompatscher, M., Tesson, M. & Nachef L. 2020 *Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures.*

https://amstein-walthert.ch/media/files/2021/01/AGT_2018_006_EMob_RiskMin_Undergr_Infrastr_Final_Report_V1.0.pdf.

Meurman, K., Hassinen, M., Kiviranta, K., Laitinen, J. & Toivanen, P. 2021. *Litiumakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla.* <https://tukes.fi/-/litiumioniakkupaloon-tarkoitettuja-kasisammuttimia-testattu-sammutus-haastavaa-ja-sisaltaa-riskeja>.

NFPA 855 2020. *Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems.*

<https://www.sandiegocounty.gov/content/dam/sdc/pds/ceqa/JVR/AdminRecord/IBR/326a%20NFA%202020.pdf>

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto 2022. *SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUSPISTEET KIINTEISTÖISSÄ JA PELASTUSTOIMINNAN EDELLYTYSTEN HUOMIOIMINEN.*

https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2022-08/S%C3%A4hk%C3%B6autojen_latauspisteet_kiinteist%C3%B6ss%C3%A4_ja_pelastustoiminnan_edellytysten_huomioiminen.pdf.

PGS 37-2 2023, *Richtlijn voor de veilige opslag van lithiumhoudende energiedragers.*

<https://publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/publicaties/online/pgs-37-2/2023/1-0-december-2023#m51>.

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.*

https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.2c08581?ref=article_openPDF

Saldaña, G., San Martín, J., Zamora, I., Asensio, F. & Oñederra, O. 2019. Analysis of the Current Electric Battery Models for Electric Vehicle Simulation. <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/14/2750/pdf>.

SFS-EN IEC 62619 2022, Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes. Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications.

Siren, J., Fjellgaard Mikalsen, R. & Meraner, C. 2023 Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel. <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1741748/FULLTEXT03.pdf>.

TRAFICOM/473662/03.04.03.00 2022, *Vaarallisten aineiden kuljetus tiellä.*

<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/454001/49437>.

TTL 2023, *OVA-ohje Fluorivety ja fluorivetyhappo.* <https://ova.ttl.fi/fluorivety-ja-fluorivetyhappo>.

Tukes 2018, *Opas teollisuuden litiumioniakkujen turvalliseen käyttöön.*

<https://tukes.fi/documents/5470659/8237195/Opas+teollisuuden+litiumioniakkujen+turvalliseen+k%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n/c5c7fefe-7979-4344-ba25-ba18a6f9f234/Opas+teollisuuden+litiumioniakkujen+turvalliseen+k%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n.pdf>.

Tukes 2021, *Litiumioniakkupaloon tarkoitettuja käsiammuttimia testattu – sammutus haastavaa ja sisältää riskejä.* <https://tukes.fi/-/litiumioniakkupaloon-tarkoitettuja-kasisammuttimia-testattu-sammutus-haastavaa-ja-sisaltaa-riskeja>.

Tukes 2021a, *Litiumioniakkupalon sammuttaminen sammutuspeitteellä ja kattilalla.*

<https://www.youtube.com/watch?v=VLzWfXmqa7E>.

Tukse 2021b, *Litiumioniakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla.*

<https://www.youtube.com/watch?v=SKi4R2PIbJs>.

Tukes 2024, *VAK - vaarallisten aineiden kuljetukset.* <https://tukes.fi/vak/vak-luokitukset>.

VAK-HAKU 2024, Vak haku. <https://eservices.traficom.fi/AutoilijanPalvelut/VAKHaku>.

Vuokko A, Punakallio A, Paajanen T, Lusa S. Pelastushenkilöstön työterveysseuranta – yhteistyö ja käytännöt. Työterveyslaitos, Helsinki 2020, ISBN 978-952-261-862-7 (pdf) [Pelastushenkilöstön työterveysseuranta : yhteistyö ja käytännöt](#)