

Opas teollisuuden litiumioniakkujen turvalliseen käyttöön

Antti Pitkämäki, Marika Bröckl ja Tuomas Raivio

Gaia Consulting Oy

24.5.2018

Projektin rahoitus:



Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry

Sisältö



1) Johdanto

- Oppaan tavoite ja rajaukset
- Erot lyijyakkuun
- Litiumioniakut

2) Litiumioniakkuihin liittyvät vaarat

- Yleiskuvaus vaaroista
- Li-akkujen vaaramekanismit: tulipalo
- Li-akkujen vaaramekanismit: työturvallisuusvaarat

3) Litiumioniakkujen turvallinen käyttö

- Yleiset suositukset
- Akkujen hankinta
- Akkujen lataaminen
- Akkujen käyttö ja asentaminen
- Akkujen säilytys ja varastointi
- Eurooppalaisten vakuutusyhtiöiden varastointisuositukset
- Akkujen käytöstä poistaminen
- Varautuminen ja toiminta eräissä vaaratilanteissa

Johdanto

Oppaan tavoite ja rajaukset



- Tämä dokumentti on opas teollisuusakuiksi luokiteltavien litiumioniakkujen ("Li-akut")* turvalliseen käyttöön
 - Opas on tarkoitettu yrityksille, joilla on käytössään teollisuusakuiksi luokiteltavia litiumioniakkuja tai jotka suunnittelevat ottavansa ko. akkuja käyttöön
 - Opas on yleisluontoinen tarkistuslistatyyppinen kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää esim. turvallisuussuunnittelussa, työpaikan vaaranarvioinnissa ja prosessiturvallisuussuunnittelussa
 - Oppaasta saa nopeasti yleisellä tasolla käsityksen tekijöistä, jotka tulee huomioida Li-akkujen käyttöelinkaaren turvallisuussuunnittelussa
- Opas on jaettu seuraavaan kahteen osa-alueeseen:
 - Kuvaus Li-akkuihin liittyvistä vaaroista
 - Li-akkujen turvallinen käyttö ja riskien minimointi elinkaaren eri vaiheissa
- Oppaan rajaukset
 - Opas rajautuu ammattikäytössä oleviin teollisuusakuiksi luokiteltaviin Li-akkuihin. Teollisuusakkuja ovat mitkä tahansa akut, jotka on suunniteltu yksinomaan ammattikäyttöön tai jotka toimivat sähköisen kulkuneuvon (esim. trukin) ajovoima-akkuna.
 - Opas ei ole luonteeltaan turvallisuusstandardi
 - Oppaasta on rajattu tässä vaiheessa pois
 - Akkujen ja akkupakettien valmistaminen (työvaiheiden turvallisuus on eri asia kuin akkujen käsittelyn ja käytön turvallisuus)
 - Sähköautojen ajovoima-akut (alan standardeissa on monia erityiskysymyksiä)
 - Akkujen kuljetukset (eri kuljetusmuotojen VAK-määräykset ovat kattavat)
 - Oppaan sisältöjä voidaan luonnollisesti soveltaa myös näihin käyttötapauksiin
 - Oppaassa ei oteta kantaa sovellusaloihin, ja akkukemioihin viitataan yleisesti
 - Suositukset on kirjoitettu ennen kaikkea tulipalovaarojen näkökulmasta, sillä ko. vaarat ovat Li-akkuihin liittyvä merkittävin vaaratekijä

*"Li-akuilla" viitataan tässä oppaassa nimenomaan litiumioniakkuihin. On olemassa myös litiumparistoja, jotka ovat eri asia ja jotka eivät kuulu tämän oppaan aihepiiriin. Litiumparistot eivät ole ladattavia ja ne sisältävät metallista litiumia.

- Litiumioniakku tarkoittaa mitä tahansa ladattavaa litiumioniteknologiaa hyödyntävää akkua
 - Litiumioniakku ei ole yksittäinen akkuteknologia, vaan litiumioniakkuja on monia erilaisia tyyppisiä, jotka eroavat toisistaan käytetyn akkukemian eli käytettyjen raaka-aineiden osalta. Yhteistä niille kaikille on, että varaus siirtyy akun anodin ja katodin välillä litiumionina.
 - Yleisimpiä Li-akkutyyppejä ovat mm. litiumkobolttioksidi (LiCoO_2 ; LCO), litiummangaanioksidi (LiMn_2O_4 ; LMO) ja litiumtitanaatti ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$; LTO)
 - Käytetty kemia vaikuttaa muiden ominaisuuksien ohella akun turvallisuuteen. Usein turvallisuus kulkee käsi kädessä hinnan kanssa.
- Li-akuilla on huomattavasti suurempi energiatiheys kuin perinteisillä lyijyakuilla, mistä johtuen niitä käytetään käyttökohteissa, joissa akulta edellytetään paljon energiaa tilavuutta tai painoa kohden
 - Li-akut ovat erittäin yleisiä erilaisissa mobiililaitteissa kuten kännyköissä ja kannettavissa tietokoneissa
 - Li-akkujen käyttö ajovoima-akkuina mm. sähköautoissa ja teollisuuden sovelluksissa on uusi nopeasti kasvava käyttökohde Li-akuille
- Li-akut, kuten akut yleisesti, jaetaan kannettaviin akkuihin, teollisuusakkuihin ja autonakkuihin

Esimerkkejä Li-akkujen hyvistä puolista:

- Suuri energiatiheys
- Vähäinen huollon tarve
- Nopea lataus

Esimerkkejä Li-akkujen huonoista puolista:

- Edellyttävät suojamekanismeja vaarojen vähentämiseksi
- Toimivat huonosti pakkasessa
- Turvallisuusnäkökulmat (mm. sääntely edellyttää panostamista kuljetusten turvallisuuteen)

Erot lyijyakuun



- Litiumkemiaan perustuva akku on huomattavan erilainen verrattuna perinteiseen lyijyakuun:
 - Tehotiheys ja energiasisältö ovat isommat
 - Virranantokyky on isompi
 - Virrantuottokemia on erilainen
 - Elektrolyytti on palava neste
 - Akkukemia on myrkyllistä
- Litiumioniakut tulivat markkinoille 1990-luvun alussa, ja niiden käyttö erilaisissa laitteissa on nykyään hyvin yleistä. Litiumioniakuille tulee myös jatkuvasti uusia käyttökohteita.
- Akkuja on käytetty pitkään pienissä kannettavissa laitteissa
- Tällä hetkellä Li-akkuja käytetään mitä erilaisimmissa sovelluksissa jossa akku- tai akkupakettikoko saattaa olla pieni tai huomattavan suuri
- Vastaavasti akkukokonaisuuksien energiasisällöt saattavat olla merkittäviä

Litiumioniakkuihin liittyvät vaarat

Yleiskuvaus vaaroista



- Li-akkuihin liittyviä vaaroja ovat **tulipalovaarat, kemialliset vaarat ja sähköiskuvaarat**
- Tulipalovaara on Li-akkujen merkittävin vaara
 - Ko. vaara perustuu siihen, että pakattaessa paljon energiaa pieneen tilaan on aina riski siitä, että ko. energia pääsee vapautumaan hallitsemattomasti
 - Litiumioniakkujen tulipalovaaran liittyy suhteellisen suuren energiatihedyyden lisäksi se, että niissä käytetty elektrolyytti ("akkuneste") on herkästi syttyvää palavaa nestettä
 - Li-akun aiheuttama kiivas palo tekee akusta merkittävän muun palokuorman syttymälähteen, vaikka Li-akun itsensä palokuorma ei olisikaan suuri
- Yleisesti ottaen Li-akut ovat varsin turvallisia
 - Li-akkuihin liittyvistä vaaratilanteista raportoidaan käyttömääriin nähden vain harvoin, vaikka Li-akut ovat hyvin yleisiä kannettavissa laitteissa
 - Toisaalta markkinoille on viime aikoina tullut yhä enemmän teollisuusakuiksi luokiteltavia litiumioniakkuja, jotka ovat yleensä huomattavasti kannettavien laitteiden akkuja isompia ja sisältävät näin ollen huomattavasti enemmän elektrolyttinestettä ja energiaa, mikä lisää niihin liittyviä riskejä
 - Etenkin kuluttajatuotteissa käytettyjen ajovoima-akkujen on raportoitu aiheuttaneen muutaman viime vuoden aikana tulipaloja sekä Suomessa että maailmalla
- Suuremmista energiamäärästään huolimatta myös isot teollisuusakuiksi luokiteltavat Li-akut voivat olla riskeiltään varsin pieniä, mutta tämä edellyttää niihin liittyvien turvallisuustekijöiden asianmukaista huomioimista
- Teollisuudessa vaaroille altistavat suuret vaihtuvat akkumäärät ja akkujen teollinen käsittely

Li-akkujen vaaramekanismit: tulipalo 1/4

Lämpökarkaaminen eli Thermal runaway

- Li-akkujen tulipalovaara perustuu ”**thermal runaway**”-ilmiöön eli lämpökarkaamiseen
 - Akun varaustilan muuttumiseen liittyy kemiasta riippumatta kemiallinen reaktio akussa
 - Reaktio on eksotermisen so. lämpöä vapauttava
 - Lämpökarkaamisessa akku on tilassa, jossa siinä tapahtuvat reaktiot kehittävät enemmän lämpöä kuin mitä akku pystyy siirtämään ulos
 - Akun lämpötilan nouseminen kiihdyttää reaktiota entisestään, mikä tuottaa lisää lämpöä
 - Myös lämmön aiheuttamat muutokset akun rakenteessa (esim. separaattorin sulaminen/palaminen) kiihdyttävät reaktiota
 - Li-akuissa lämpökarkaamisen tekevät vaaralliseksi suuri energiamäärä, suuri tehotiheys (pieni massa ja lämpökapasiteetti so. nopea lämpötilan nousu) sekä elektrolyytin tulenarkuus: lopulta akusta vapautuu herkästi syttyviä kaasuja ja/tai akku syttyy palamaan
- Lämpökarkaamistilanteen synty
 - Lämpökarkaaminen syntyy käytännössä joko akun nopeasta purkautumisesta (sisäinen tai ulkoinen oikosulku) tai akun ulkoisesta lämmittämisestä
 - Kriittinen lämpötila lämpökarkaamisen alkamiselle on lämpötila, jossa akun lämpötilan nousu jatkuu itsestään. Tähän lämpötilaan vaikuttavat erityisesti
 - Akun rakenne
 - Akkukemia
 - Akun varausaste
 - Akun mahdollisuudet siirtää lämpöä ulos

Li-akkujen vaaramekanismit: tulipalo 2/4

Lämpökarkaamisen eteneminen

- Kriittisen lämpötilan yläpuolella akku tuottaa enemmän lämpöenergiaa kuin siitä siirtyy ulos, ja reaktio kiihtyy
- Lämpökarkaamisen edetessä akku täyttyy reaktioista syntyvistä kaasuista, eli akun paine nousee. Kaasut purkautuvat ulos akusta joko varoventtiilistä tai akun rakenteiden pettäessä, mistä voi syntyä heitteitä. Kaasut voivat syttyä joutuessaan ilman kanssa kosketuksiin, mikäli lämpötila on riittävän korkea.
- Elektrolyytineste myös itsessään palaa, mikäli sitä pääsee palotilanteessa hapen kanssa kosketuksiin
- Li-akkujen separaattorit on yleensä suunniteltu siten, että oikosulkutilanteessa lämpötilan noustessa niissä olevat huokoset umpeutuvat oikosulkukohdasta, jolloin separaattori eristää oikosulkukohdan toimien eräänlaisena sulakkeena.
- Mikäli lämpötila nousee riittävän korkeaksi, kuten voi tapahtua esim. lämpökarkaamisessa tai tulipalossa, separaattori sulaa kokonaan, jolloin akun anodi ja katodi pääsevät suoraan kosketuksiin vapauttaen akun sähköenergian hallitsemattomasti, mikä lisää lämpökarkaamisen lämpöenergiaa entisestään.
- Li-akkujen lämpökarkaamistilanteessa yhdessä akun kennossa tapahtuvaa lämpökarkaaminen ja palo voivat levitä seuraavaan kennoon aiheuttaen ketjureaktion, jossa kennot syttyvät yksi kerrallaan.

Li-akkujen vaaramekanismit: tulipalo 3/4



Lämpökarkaamiselle altistuminen

- Ainakin seuraavat tekijät voivat joko aiheuttaa lämpökarkaamisen tai lisätä lämpökarkaamisen riskiä vaurioittamalla akkua: (1/2)
 - Akun fyysinen vaurioituminen siten, että siinä tapahtuu sisäinen oikosulku. Tilanne voi aiheutua esim. akun kolhimisesta, läpäisystä vieraalla esineellä, tärinästä, painevaihtelusta tai akun putoamisesta.
 - Ulkoinen oikosulku tai akun liiallinen kuormittaminen, joka kuumentaa akkua aiheuttaen lämpökarkaamisen
 - Li-akun lataaminen liian suureen jännitteeseen altistaa sen lämpökarkaamiselle - Li-akkujen kennoilla on tietty maksimijännite, johon ne voi turvallisesti ladata. Ko. jännite riippuu käytetystä akkukemiasta.
 - Akun varauksen purkaminen kokonaan
 - Sen lisäksi, että Li-akkujen kennoilla on maksimijännite, jota ei pitäisi ylittää, on niillä myös minimijännite, jota ei pitäisi alittaa
 - Minimijännitteen alittuessa kennot vaurioituvat ja lämpökarkaamisen riski kasvaa etenkin, kun akkuja ladataan tyhjentyneen jälkeen taas korkeampaan jännitteeseen.
 - Akun lataaminen pakkasella – tämä voi aiheuttaa litiumin saostumista li-metalliksi, mikä lisää oikosulku- ja lämpökarkaamismahdollisuutta (Huom. ei riitä, että akku lämpenee latauksen yhteydessä)
 - Valmistusvirheet, esim. akun separaattorissa olevat sähköä johtavat epäpuhtaudet, jotka voivat aiheuttaa pahenevan sisäisen oikosulun. Myös yksinkertaiset fyysiset sisäistä oikosulkuriskiä kasvattavat valmistusvirheet ovat mahdollisia.

Li-akkujen vaaramekanismit: tulipalo 4/4

Lämpökarkaamiselle altistuminen

- Ainakin seuraavat tekijät voivat joko aiheuttaa lämpökarkaamisen tai lisätä lämpökarkaamisen riskiä vaurioittamalla akkua: (2/2)
 - Ajan myötä tapahtuva akun vanheneminen
 - Kemialliset reaktiot alkavat heikentää akkuja heti niiden valmistumisen jälkeen
 - Tehon heikentymisen lisäksi akun turvallisuus saattaa heikentyä
 - Väärä säilytyslämpötila, etenkin liian kuumat lämpötilat*, heikentävät (ts. vanhentavat) akkua
 - Mikäli akkua säilytetään kuuman lämpötilan lisäksi siten, että se ei pääse synnyttämäänsä luovuttamaan lämpöä, voi ko. tilanne johtaa lämpökarkaamiseen
 - Liian kylmäkin voi olla haitallista akulle ja sen turvallisuudelle
 - Tulipalo tai muusta syystä johtuva erittäin kuuma lämpötila, joka aiheuttaa lämpökarkaamisen ja/tai sytyttää akun
 - Mitä korkeammassa varausasteessa akku on, sen suurempi on riski lämpökarkaamiselle. Tästä johtuen lämpökarkaamistilanteet tapahtuvat yleensä täyteen ladatuille akuille.
 - Joillakin akkukemioilla kennon fyysinen hajoaminen johtaa metallisesti käyttäytyvän litiumin ja ilmankosteuden kohtaamiseen, minkä seurauksena litium syttyy ja sytyttää elektrolyytin, ja palon lämpö aiheuttaa lämpökarkaamisen

*Kullekin akulle soveltuvat lämpötila-alueet tulee selvittää akun teknisistä tiedoista

Li-akkujen vaaramekanismit: työturvallisuusvaarat



- Li-akkuihin liittyvä merkittävin vaara on em. mainittu lämpökarkaaminen, mutta myös seuraavat työturvallisuusvaarat tulee huomioida:
 - Kemialliset vaarat: vaurioituneista Li-akuista voi valua ulos myrkyllisiä elektrolyyttinesteitä. Lisäksi Li-akkujen palossa syntyvät palokaasut ovat myrkyllisiä
 - Li-akkujen osalta myös sähköiskuvaara on mahdollinen. Sähköiskuvaara katsotaan vähäiseksi alle 120 voltin akuissa¹, mikä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö ko. vaaraa tarvitsisi ollenkaan huomioida jännitteeltään alle 120 voltin akuissa. Sähköisku on mahdollinen seur. tilanteissa:
 - Vaurioituneiden akkujen varomaton käsittely
 - Sähköiskuvaroista piittaamaton akkujen väärinkäyttö
 - Sähköturvallisuudeltaan puutteellisen tuotteen käyttö

Litiumioniakkujen turvallinen käyttö

Lähtökohdat ja yleiset suositukset



- Li-akkujen yleisiäkään turvallisuusvaatimuksia ei lainsäädännössä tällä hetkellä ole
 - Akkujen kannalta keskeisin lainsäädäntö on akkudirektiivi. Akkudirektiivin tarkoitus on mm. estää vaarallisten aineiden käyttöä akuissa ja edistää akkujen kierrätystä
 - Akkudirektiivi on kansallisesti pantu täytäntöön valtioneuvoston asetuksella ([520/2014](#)) paristoista ja akuista
 - *Akkudirektiivi ei ole ns. turvallisuusedirektiivi, eli direktiivissä ei ole huomioitu akkujen käytön aikaista turvallisuutta.* Näin ollen Li-akut, kuten muutkaan akut, eivät itsessään edellytä CE-merkintää*. Li-akuissa voi olla muista syistä CE-merkintä, esim. akun elektroniikkaan liittyen.
- Myöskään akkujen varastoinnista ei ole annettu erityistä normiohjausta; Ilmoitusvelvollisuus pelastustoimelle tai Tukesille ylittyy vain akkukemikaalien perusteella todella suurissa akkumäärissä
- Tärkeä yleisohje on noudattaa kaikkia akun tai laitteen mukana tulevia ohjeita koskien akun lataamista, käyttämistä, säilyttämistä ja varastoimista
 - Akun ja sitä käyttävän laitteen käyttöohjeissa tulisi olla huomioitu samoja turvallisuusnäkökulmia kuin tässä oppaassa, ja ohjeissa tulisi olla myös tieto mm. sopivista käyttölämpötiloista ja muista olosuhteista. Valmistajan tulisi pystyä antamaan vastaavat ohjeet, mikäli ohjeista ei löydy vastausta.
- Turvallisuuden kannalta olennaista on myös henkilökunnan koulutus ja opastus
 - Ihmisen virhe saattaa olla merkittävä riskin osatekijä. Esim. vikaantunut Li-akku voi päätyä virheellisesti suojaamattomana sähkö- ja elektroniikkaromun sekaan, jossa se voi vahingoittua entisestään, ajautua lämpökarkaamiseen ja sytyttää ympäröivän palokuorman. Ko. vaaratilanteiden mahdollisuus voidaan minimoida henkilökunnan koulutuksella.
- Seuraavilla sivuilla esitetään Li-akkujen hankintaa, käyttöä, varastointia ja käytöstä poistamista koskevia turvallisuusnäkökohtia
 - Nämä ohjeet auttavat tunnistamaan turvallisuuteen liittyviä näkökohtia ja suunnittelemaan turvallisia toimintatapoja
 - Ohjeet ovat yleisluontoisia - Li-akkujen turvallisuusnäkökulmien riittävä huomioiminen edellyttää lisäksi tapauskohtaista turvallisuussuunnittelua.

Akkujen hankinta 1/3



- Akkujen maahantuontiin tai valmistukseen ei yleisesti ottaen liity ennakkovalvontaa
- Akkukemiat ovat erilaisia ainakin ominaisenergian, ominaistehon, kustannusten, kestävyuden, suorituskyvyn ja turvallisuuden (stabiilisuus, taipumus lämpökarkaamiseen) suhteen
 - Hyvin turvallisia li-akkukemioita ovat tällä hetkellä litiumrautafosfaatti ja litiumtitanaatti
 - Melko turvallisia ovat litiummangaanioksidi ja litiummangaanikobolttioksidi
 - Kohtalaisen turvallisia ovat litiumkobolttioksidi ja litiumnikkelikobolttialumiinioksidi
- Li-akkujen turvallisuus alkaa akkujen hankinnasta, ja vastuu tästä on pitkälti yrityksellä itsellään

- Li-akkuja hankittaessa on hyvä ymmärtää Li-akkujen suunnittelussa ja valmistuksessa käytettyjä erilaisia paloturvallisuutta edistäviä teknisiä ratkaisuja. Esimerkkejä ko. ratkaisuista ovat mm. seuraavat:
 - Käyttötarkoituksen huomioiden riittävä fyysinen kestävyys, joka minimoi kolhujen ja tärinän aiheuttamat riskit. Tämä koskee sekä akun ulkokuorta että akun sisäistä kestävyyttä.
 - Riskejä voidaan vähentää epäpuhtaudet minimoivalla kennojen valmistusprosessilla ja siihen liittyvällä laaduntarkkailulla
 - Akkuun voidaan myös valita varauskyvyltään vähäisempi mutta turvallisempi akkukemia
 - Isoissa akuissa voi olla myös esim. sisäinen jäähdytysnestekierto, jolloin on pienempi riski, että akun sisäinen lämpötila nousee liikaa
 - Li-akut voidaan suunnitella siten, että lämpökarkaamistilanteessa tai palossa syntyvät kaasut pääsevät purkautumaan ennen kuin paine purkautuu räjähdysmäisesti
- Seuraavat akkujen sisältämät järjestelmät edistävät myös Li-akkujen turvallisuutta:
 - ”Battery Management System” (”BMS”) eli akun valvontajärjestelmä on olennainen osa Li-akkujen turvallisuutta. BMS:n tulisi estää akun yllilataaminen tai akun varauksen liiallinen purkaminen sekä ulkoisesta oikosulusta johtuvan liiallinen virrankulku. BMS:n tulisi myös estää lataaminen, mikäli akun lämpötila ei ole sopiva lataamiselle.
 - Laadukkaissa akuissa on erilaisia sulakkeita ja vastaavia liiallista virrankulkua rajoittavia järjestelmiä, joiden on tarkoitus myös estää vaaratilanteita
 - Myös yksittäisissä kennoissa voi olla mekaaninen ns. ”Charge Interruption Device” (”CID”), joka katkaisee kennon antaman virran, mikäli paine kasvaa kennossa liian suureksi

Akkujen hankinta 3/3



- Turvallisuutta voidaan edistää hankinnan osalta seuraavasti:
 - Suosi tunnettuja ja luotettavia brändejä – näissä turvallisuustekijät on otettu yleensä hyvin huomioon
 - Vältä tuotevääreännöksiä – akut ja niitä käyttävät tuotteet kannattaa hankkia tunnetuilta ja luotettavilta myyjiltä
 - Vältä akkuja, joiden osalta ei ole saatavilla luotettavia tietoja turvallisuustesteistä
 - Turvallisuustesteissä käydään läpi laaja kirjo erilaisia mahdollisia vaaratilanteita. Testien tarkoitus on varmistaa, että akun riski ajautua lämpökarkaamiseen on hyväksyttävällä tasolla.
 - On olemassa useita eri Li-akkujen sovellusalueille tarkoitettuja akkujen turvallisuuden testistandardeja, joista on hyvä olla tietoinen akkuja hankittaessa. Omilla aloillaan standardeja ovat antaneet mm. International Electrotechnical Commission (IEC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ja Underwriters Laboratories Inc (UL).
 - Varmista, että akussa ja/tai sitä käyttävässä järjestelmässä on BMS eli akun valvontajärjestelmä sekä käyttötarkoitukseen nähden riittävä määrä muita suojamekanismeja
 - Hanki akkutyypille sopiva latausjärjestelmä
 - Varmista, että akun mukana tulee käyttöohje tai käyttöturvallisuustiedote*, joissa turvallisuustekijöitä, esim. sallittuja käyttöolosuhteita, on kuvattu. Ohjeissa pitäisi olla käsiteltynä vastaavia aiheita kuin tässä oppaassa.
- Lisäksi turvallisuutta edistävät:
 - Akun käyttötarkoitukseen nähden riittävä mekaaninen kestävyys ja suojaus kolhuja ja tärinää vastaan
 - Varauskyvyltään vähäisempi mutta turvallisempi akkukemia
 - Jäähdytysjärjestelmä hyvin suurissa akuissa tai akkujärjestelmissä
- Sähkövarastot ja muut vastaavat suuria akustoja sisältävät järjestelmät
 - Ko. järjestelmiin voi liittyä esim. erilaisia jäähdytys- ja ilmastointijärjestelmiä ja turvallisuusautomaatiikkaa. Ko. järjestelmien osalta turvallisuutta voi edistää hankkimalla luotettavalta laitetoimittajalta kokonaisuus, jossa turvallisuus on huomioitu, ja noudattamalla kaikkia asennukseen, käyttöön ja huoltoon liittyviä ohjeita.
 - Riittävät etävalvontamahdollisuudet ovat turvallisuuden kannalta olennaisia

Akkujen lataaminen



- Li-akkujen käytön osalta lataaminen on yleensä turvallisuuden kannalta kriittisin vaihe
- Osoita Li-akuille kiinteä latauspaikka ja merkitse paikka selkeästi
 - Standardi SFS EN 50272-2 (tuleva nimi: (IEC) EN 62485-2:2018) sisältää mm. ohjeita lyijy- ja nikkelikadmiumakkujen lataustiloille. Ko. standardia voi soveltavin osin hyödyntää myös Li-akuille.
- Latauspaikalla Li-akkujen välittömässä läheisyydessä, erityisesti yläpuolella, ei saa olla palokuormaa. Akkujen alustan tulisi olla palamaton tai huonosti syttyvä
- Muita akkuja ei saa olla liian lähellä ladattavaa akkua, jotta lämpökarkaamistilanteessa lämpö ei leviä muihin akkuihin ja jotta vioittunutta akkua voidaan jäähdyttää
- Latauspaikalle voidaan harkita ympäristön haavoittuvuus huomioiden hätätapauksia varten kohdepoistoimupuhallinta tai vastaavaa järjestelyä savukaasujen leviämisen estämiseksi
- Järjestä lataukselle soveltuva valvonta (esim. videovalvonta, lämpökamera tai paloilmaisin). Koska akkujen lämpökarkaamisriski on lataamisvaiheen lisäksi suurentunut joitain tunteja akun lataamisen jälkeen, valvonnan tulee jatkua riittävän kauan myös lataamisen jälkeen
- Latauspaikalla tulee olla riittävä soveltuva alkusammutuskalusto
- Käytä akkutyypille soveltuvaa laturia
- Li-akkuja ei saa ladata pakkasessa, ellei akku ole erikseen tarkoitettu kestämään lataamista pakkasolosuhteissa
- Järjestä laturin virransaanti niin, että laturin jännite voidaan katkaista hätätilanteessa latauspaikkaa lähestymättä
- Katkaise latausvirta heti kun laturi on lopettanut lataamisen, ellei laturi osallistu akun valvontaan latauksen jälkeen
- Älä käytä vioittunutta laturia äläkä yritä ladata vioittunutta akkua
- Akkutyypistä, akkujen koosta ja ympäristön haavoittuvuudesta riippuen harkitse soveltuvan suojarustuksen hankkimista latauspaikalle niin että lämpökarkaavaa akkua on turvallista lähestyä

Akkujen käyttö ja asentaminen



- Käytä vain akkua, joka on suunniteltu kestäväan aiotun käyttötarkoituksen aiheuttama sähköinen kuormitus
 - BMS:n pitäisi myös estää akun varauksen purkamisen niin matalalle tasolle, että se vaurioittaa akkua
- Käytä akkuja vain sellaisissa olosuhteissa, joita ko. akut on suunniteltu kestäväan
- Vältä mekaanista rasitusta/kolhuja
- Älä käytä, asenna tai lataa akkua, jonka arvioit vioittuneen: akku on selkeästi fyysisesti vaurioitunut, kolhiintunut tai pullistunut tai se tuottaa tavallisuudesta poikkeavaa hajua. Pullistuminen on merkki kiihtyneestä lämpöä tuottavasta reaktiosta ja ylipaineesta akun sisällä. Kaikissa akuissa pullistumista ei välttämättä tapahdu selkeästi kotelorakenteesta johtuen.
- Estä oikosulut luotettavalla tavalla (esim. napasuojat)
- Akkujen asennustyössä akkujen määrä asennuspaikalla suositellaan rajoitettavaksi minimiin (päivätarve) minkä lisäksi asennuspaikalla tulee olla riittävä alkusammutuskalusto
- Kiinteistön pelastussuunnitelmaan tai muihin turvallisuusohjeisiin tulee kirjata suunniteltu toiminta akun vioittuessa tuotantotiloissa
- Lisäksi tulisi riskinarvioinnin perusteella harkita soveltuvia henkilökohtaisia suojaimia hätätilanteisiin (esim. poistumishengityslaitteet). Toimintaa tulee harjoitella.

Akkujen käyttö – sähkövarastot ja niiden sijoittaminen



- Toisin kuin esim. kemikaali- ja polttoainesäiliöiden sijoittamista, sähkövarastojen yms. järjestelmien sijoittamista ei tällä hetkellä suoraan rajoita mikään sääntely
 - Tukes tai pelastustoimi voi edellyttää sähkövarastolta vaarallisiin kemikaaleihin liittyvää ilmoitus- tai lupamenettelyä riippuen akuissa olevien syttyvien elektrolyyttikemikaalien määrästä. Käytännössä esim. ilmoitusvelvollisuuden täytyminen edellyttää suuria akkumääriä (luokkaa 50 tonnia akkuja) (VNA 685/2015)
- Em. huomioiden sähkövarastojen ja vastaavien järjestelmien operoijien oma rooli järjestelmän sijoittamisen turvallisuudessa korostuu:
 - Järjestelmän sijoittamisessa tulisi ottaa tulipalovaara huomioon. Järjestelmän asentamista sellaiseen tilaan tai sijaintiin, jossa on korkea palon leviämisen riski tai haavoittuvuus, tulisi välttää. Palon ja savukaasujen leviämisen riski herkkiin kohteisiin (esim. asutus) tulisi erityisesti estää sijoittelussa.
 - Kiinteistöjen sisälle muiden toimintojen yhteyteen sijoitettujen järjestelmien osalta tulisi turvallisuussuunnittelussa huomioida myös riittävä palo-osastointi

Akkujen säilytys ja varastointi , pienet akut & määrät



Sekä erilliset että laitteisiin asennetut akut

- Noudata akkuvalmistajan ohjeita säilytyslämpötilasta ja muista turvallisuusasioista
- Li-akuilla tulisi olla niille osoitettu varastotila, jossa ne voidaan varastoida asianmukaisesti ja varmistaa mm. se, että niiden läheisyyteen tai päälle ei varastoida muita tavaroita
- Jos mahdollista, irrota akut laitteista. Tämä vähentää oikosulun riskiä ja palokuormaa akkujen lähellä.
- Suojaa akkujen navat
- Sijoittele akut niin, että ne eivät luovuta lämpöä toisilleen
- Varastoi akut osittain varattuina. Täysi varausaste lisää lämpökarkaamisen riskiä, mikäli akkuun kohdistuu myös jokin muu lämpökarkaamisriskiä lisäävä tekijä.
 - Latureissa on usein mahdollisuus ladata akku varastointiin tarkoitettuun varausasteeseen eli vain osittain täyteen.
- Myös Li-akun liiallista tyhjentymistä itsepurkautumisen kautta tulee välttää, sillä liian alhainen varausaste vaurioittaa akkua ja lisää akun lämpökarkaamisriskiä sitten, kun akku taas ladataan
 - Akkujen liiallinen tyhjentymisen voidaan estää ajoittaisella lataamisella varastoinnin aikana.
 - Huom: Lataamisen tulisi tapahtua muualla kuin varastossa
 - Akkuvalmistajalla on tieto sopivasta latausvälistä

Akkujen säilytys ja varastointi, suuret määrät (1/2)



- Tässä annetut ohjeet perustuvat **eurooppalaisten vakuutusyhtiöiden suosituksiin**
- Varastoitavien akkujen tulisi olla UN 38.3:n mukaan testattuja (Transportation test for lithium batteries)
- Yleiset turvallisuusohjeet:
 - Valmistajan ohjeiden ja teknisten laitedokumenttien noudattaminen
 - Napojen suojaaminen käyttämällä esim. napasuojuksia
 - Akkujen suojaaminen mekaaniselta vahingoittumiselta ja korkeilta lämpötiloilta
 - Tiloissa, joissa ei ole automaattista sammutuslaitteistoa vähintään 2,5 metrin suojaetäisyys muihin palaviin materiaaleihin
 - Kaikkien vahingoittuneiden ja viallisten akkujen välitön poistaminen varasto- ja tuotantoalueilta sekä välivarastointi turvallisen etäisyyden päässä tai erillisessä palosuojatussa tilassa.
- Koska palon syynä on usein väärä käsittely eikä niinkään tekninen vika, organisatoriset toimet, kuten työntekijöiden kouluttaminen ja riittävien käyttöohjeiden saatavilla olon varmistaminen ovat hyviä keinoja ehkäistä vahinkojen syntyä
- Akkuvarastoille suositellaan 90 minuutin palo-osastointia tai 20 metrin suojaetäisyyttä erillisen rakennuksen tapauksessa
 - Tarvittaessa suojaustasoa voidaan parantaa eristämällä yksittäiset akut tai tuotantoerät esim. palosuojatun kontin tai turvakaapin avulla palo-osastoinnin sisällä
 - Vähimmäisvaatimuksena akkujen varastoinnille (ml. kuljetusta tai purkua odottavat akut) pidetään 2,5 metrin suojaetäisyyksiä muuhun palokuormaan palo-osaston sisällä
 - Lisäksi oltava alkusammutuskalustoa käsillä

Akkujen säilytys ja varastointi, suuret määrät (2/2)

Eräiden eurooppalaisten vakuutusyhtiöiden varastointiohjeet

- 1. Pienet nimelliskapasiteetiltaan alle 100 Wh akut (tietokoneet, multimedia, pienelektroniikka, pientyökalut jne.):** Yleiset turvallisuusohjeet (ks. edellinen kalvo), valmistajan ohjeiden ja turvallisuussertifiointien noudattaminen. Mikäli akkuja varastoidaan yli 7 m³ tai 6 Euro-lavaa, noudatetaan kohdan 2 ohjeita
- 2. Keskisuuret nimelliskapasiteetiltaan yli 100 Wh mutta painoltaan alle 12 kg akut (Sähköpyörät ja -skootterit, suuret puutarhakoneet, erilaiset pienajoneuvot):** Varastoidaan palo-osastoidussa varastossa, palosuojakontissa tai riittävän suojaetäisyyden päässä (min 5 m) muusta palokuormasta. Ei sekavarastointia palavien materiaalien kanssa. Palonilmaisimet, joista hälytys valvomoon tai vastaavaan aina miehitettyyn paikkaan. Mikäli varaston pinta-ala on yli 60 m² tai varaston korkeus on yli 3 m noudatetaan kohdan 3 ohjeita
- 3. Suuret yli >100 Wh ja yli >12 kg akut (sähköautot, sähköverkosta riippumattomat suurlaitteet):** Tapauskohtainen vaaranarviointi, räätälöityjen ratkaisujen valinta tilanteen ja tulosten mukaan. Minimivaatimukset kuten kohdassa 2. Mahdollisia suojauskeinoja useammat palo-osastoinnit, akkujen varastointi riittävän erillään, sprinklaus.

Li-akkujen käytöstä poistaminen



- Li-akut, kuten akut yleisesti ottaen, ovat tuottajavastuun alaista materiaalia
 - Akkujen tuottajat eli maahantuojat ja valmistajat ovat velvollisia järjestämään markkinoille saattamiensa tuotteiden jätehuollon kustannuksellaan
 - Tuottajavastuu perustuu jätelakiin (646/2011) ja valtioneuvoston asetukseen paristoista ja akuista (520/2014).
 - Teollisuusakuiksi luokiteltaville Li-akuille ei ole vielä olemassa tuottajayhteisöä, mistä johtuen ko. akkujen tuottajien tulee itse hoitaa tuottajavastuunsa. Teollisuusparistojen- ja akkujen tuottajat ja käyttäjät voivat myös sopia jätehuollon kustannusten jaosta.
- Turvallisuusnäkökulmia Li-akkujen käytöstä poistamiseen
 - Käytöstä poistetut Li-akut sisältävät edelleen riskejä, mistä johtuen niiden varastoinnin turvallisuus pitää vastaavalla tavalla huomioida kuin uusien tai käytössä olevien akkujen varastointi.
 - Käytöstä poistetuille Li-akuille tulee olla niille tarkoitettu säilytys/varastointipaikka, jonka paloturvallisuus on huomioitu
 - Myös käytöstä poistettavien akkujen osalta tulee niiden käsittelyssä huomioida mahdolliset sähköiskuvaarat.
 - Tarvittaessa tulee kääntyä Li-akkujen jätehuoltoon erikoistuneen yrityksen puoleen. Ko. yrityksiltä saa palveluna akkujen noudon ja asianmukaiseen kierrätykseen toimittamisen lisäksi mm. käytöstä poistettujen akkujen kuljettamiseen ja säilyttämiseen soveltuvia astioita ja ohjeita akkujen asianmukaiseen pakkaamiseen.

Varautuminen ja toiminta eräissä vaaratilanteissa



- Paloturvallisuusasiat täytyy aina ratkaista tapauskohtaisesti turvallisuussuunnittelussa. Suunnittelussa tulee huomioida mm. riittävä sammutuskapasiteetti.
- Tässä kappaleessa esitetään varautumiseen ja sammuttamiseen liittyviä näkökohtia, joita voidaan hyödyntää suunniteltaessa vaaratilanteisiin varautumista ja reagoimista.
- Näissä ohjeissa on annettu suosituksia varautumiseen, vikatilanteisiin ja siihen, mitkä keinot soveltuvat Li-akkupalojen sammuttamiseen. Näiden näkökohtien lisäksi tulee huomioida omatoiminen varautuminen yleisesti (esim. ensisijaisesti sen varmistaminen, että kukaan ei ole välittömässä hengenvaarassa)

- 1. Ongelmien havaitseminen:** Li-akkujen käyttö-, lataus-, säilytys- ja varastointitiloissa tulisi olla paloilmaisimet ja/tai muuta valvontaa (videoyhteys, lämpökamera) sekä mahdollisesti kiertovartiointi
 - Polttavan kuumaksi kuumentunut akku voi viitata vikatilanteeseen tai etenevään lämpökarkaamiseen
 - Savukaasujen tulo akusta on selkeä merkki lämpökarkaamisesta ja edellyttää välittömiä toimia
- 2. Hätäilmoitus:** Suunnittele hätäilmoituksen tekemisen kynnyks huolellisesti ja kouluta se henkilöstölle. Suunnittele toimet erilaisissa akkuvaaratilanteissa ja kouluta ne henkilöstölle.
- 3. Savunpoisto:** Varastoihin suositellaan laukaistavia savunpoistoluukkuja tai savunpoistopuhaltimia.
- 4. Alkusammutus:** Runsaalla vedellä (pikapaloposti) tai neste- tai vaahtosammuttimella. Jos akussa on korkea jännite, sammuttimen tulee olla jännitteisiin paloihin sopiva. Metallipaloihin tarkoitettu sammutin ei sovellu Li-akuille. On huomattava, että sammutin sammuttaa vain liekit, lämpökarkaaminen jatkuu ja palo voi syttyä uudestaan. Vesi jäähdyttää akkua.
- 5. Sammutus:** Runsaalla vedellä (pelastustoimi tai sprinklaus tai korkeapainevesisumutus). Jälkivartiointi on erittäin tärkeää. Suuressa akkuvarastossa tavanomainen kattosprinkleri ei välttämättä anna riittävää suojaa, sillä vesi ei pääse viilentämään kaikkia päällekkäin varastoituja akkuja. Hyllyjen sprinklaamista voidaan harkita.
- 6. Vuodonkeruu:** Mikäli akut voivat vuotaa elektrolyyttiä, tulisi niiden varastointi- ja käsittelytiloissa olla palon- ja kemikaalinkestävä vuodonkeruujärjestely.
- 7. Henkilösuojaimet:** Elektrolyyttivuodot ja palojen savukaasu ovat terveydelle vaarallisia. Häätätilanteita varten tulee olla riskinarvioinnin perusteella henkilökunnalle poistumisen turvaava varustus sekä harkinnan mukaan varustus vuotavan tai palavan akun lähestymiseen (ainakin suojakäsineet joissa lämpöeritys tai tarttumapihdit, hengityssuojain, kokonaamari tai visiiri)

1. Vahingoittuneiden ja viallisten akkujen käsittely

- Poista kaikki vahingoittuneet ja vialliset akut välittömästi varastoista ja tuotantoalueilta tai myymälästä. Välivarastoi ne turvallisen etäisyyden päässä erillisessä palosuojatussa tilassa, joka on merkitty selkein vaaramerkein
- Käytä siirrossa tarvittaessa henkilösuojaimia
- Kun ensitilanne on ohi:
 - Pura rikkinäisiksi todettujen akkujen lataus hallitusti ja säilytä niitä useita päiviä valvotussa tilassa.
 - Hävitä akut asianmukaisesti
- Valmistaja antaa lisäohjeistusta tarvittaessa

2. Lämpökarkaamisepäillyn akun käsittely

- Tarkista akun lämpötila esimerkiksi lämpökameralla: onko siihen turvallista koskea?
- Älä lähesty akkua ilman hengityssuojausta ja suojavälineitä.
- Mikäli mahdollista, lopeta latauksessa olevan vikaantuneen akun lataus välittömästi
- Onko jännite akussa sellainen että on sähköiskun mahdollisuus? Älä siirrä akkua jos on.
- Jos siirto on mahdollinen, siirrä kuumentunut akku paloturvalliseen tilaan (esim. palosuojattu kontti ulkona tai paloturvallinen säilytysastia/vetokaappi sisätiloissa). Tila ei saa olla sama kuin vahingoittuneiden ja viallisten akkujen varasto.
- Jos siirto ei ole mahdollinen, aloitetaan henkilöstön evakuointi pelastussuunnitelman mukaisesti, viilennetään akkua vedellä (huom. sähköiskuvaara) (jos mahdollista) ja varaudutaan alkusammutukseen

3. Palon sammuttaminen

- Palokaasut ovat myrkyllisiä, mikä tulee huomioida paloa lähestyttäessä
- Palavasta Li-akusta voi singota palavia kennojen kappaleita
- Akkupalon sammuttamiseen suositellaan useissa lähteissä runsasta määrää vettä, sillä vesi jäähdyttää akkuja tehokkaasti
 - Sammuttamisessa kyseeseen voi tulla esim. paloposti tai sprinklausjärjestelmä. Akkuvarastoissa nopeasti laukeava ja paljon vettä käyttävä sprinkleri- tai vesisuihkutuslaitteisto tarjoaa tehokkaan suojan. Korkeapainevesisumutuslaitteisto on vielä tehokkaampi ja voi lisäksi ehkäistä uudelleensyttymistä.
 - Vaahto- tai nestesammuttimella voi myös yrittää sammuttaa Li-akkupalon. Sammuttimen tulee olla jännitteisiin paloihin sopiva (etenkin, jos akuissa on vaarallisen suuria jännitteitä). Käsiammuttimen kapasiteetti ei riitä suuremman akun lopulliseen sammuttamiseen. Akusta lähtevien palavien heitteiden vaarat tulee huomioida.
 - Metallipaloihin tarkoitetut sammuttimet eivät ole tarpeen, sillä litiumioniakuissa ei ole suuria määriä metallista litiumia
 - Huom. Tukahduttavat sammutusaineet eivät viilennä akkua eivätkä näin hidasta tai pysäytä varsinaista lämpökarkaamisreaktiota
- Lämpökarkaamisreaktio saattaa edelleen jatkaa palon sammuttamisen jälkeen ja sytyttää akun hetken kuluttua uudelleen palamaan. Uudelleen syttymisen riskiä voi vähentää jatkamalla vedellä jäähdyttämistä, vaikka palo on jo sammunut.
- Sammutettu akku tulee siirtää vikaantuneille akuille osoitettuun paloturvalliseen tilaan tai säiliöön heti kun siirto on mahdollista. Huom. palanutkin akku voi jäädä edelleen jännitteiseksi.
 - Jälkivartioinnilla voidaan varmistua, että lämpökarkaamisreaktio ei sytytä akkuja uudestaan
- Palon sammuttamisessa on syytä huomioida myös Li-akkujen mahdollinen korkea jännite ja sähköiskuvaara
 - Käsiammuttimien tulee olla jännitteenkestoltaan riittäviä akkujen jännitetasoihin nähden

Our Clients Make
the World Cleaner
and Safer.

gaia 

www.gaia.fi



Gaia Group Oy, Bulevardi 6 A, FI-00120 HELSINKI, Finland – Tel +358 9686 6620

ADDIS ABABA | BEIJING | BUENOS AIRES | GOTHENBURG | HELSINKI | SAN FRANCISCO | TURKU | ZÜRICH