



PELASTUSOPISTO



POLIISI
POLISIAMMATTIKORKEAKOULU

Tutkimustoiminnan perusteet 2 op

Litiumioniakkujen latauksen paloturvallisuus

Aki Rasilainen, Niko Lahtinen, Timo Turunen, Joni Evikoski
09/2024

TEKIJÄT:

Aki Rasilainen, Niko Lahtinen, Timo Turunen, Joni Evikoski

OHJAAJAT:

Tutkija Jari Mikkonen, Suunnittelija Kimmo Rytönen

TUTKINTO:

Pelastusalan päällystötutkinto (AMK)

1 Sisällys

1 Sisällys.....	3
2 Johdanto	4
3 Aineisto ja menetelmä	6
3.1 Koe 1 (akkuseinä).....	7
3.2 Koe 2 (Latauskaappi).....	8
4 Tulokset	9
4.1 Tulokset koe 1 (Akkuseinä).....	9
4.2 Tulokset koe 2 (Peltikaappi).....	11
5 Tulosten analysointi	14
5.1 Koe 1	14
5.2 Koe 2	14
6 Pohdinta.....	16
7 Välineistö	17

2 Johdanto

Litiumioniakkujen kehitys on ollut merkittävä tekijä monilla aloilla. Teollisuudessa ja siviilikäytössä niiden käyttö on parantunut huomattavasti akkuteknologian edistyessä. Tulevaisuudessa odotetaan, että litiumioniakkujen kehitys jatkuu edelleen, ja uusien innovaatioiden myötä niiden käyttö laajenee ja tehostuu entisestään. Litiumioniakkujen käyttö on lisääntynyt merkittävästi erinomaisen hyötysuhteen ja latausominaisuuksien vuoksi, muun muassa sähköajoneuvokäytössä. Teollisuudessa litiumioniakkuja käytetään varavoimajärjestelmissä ja teollisuuslaitteiden virtalähteinä. Akkuja pystytään hyödyntämään teollisuudessa myös teollisuusroboteissa ja sähkökäyttöisissä koneissa. Siviilipuolella litiumioniakkuja on kaikkialla ja lähes jokaisessa sähköllä toimivassa pienlaitteessa, tai älylaitteessa.

Tämä tutkimus on kohdennettu kuitenkin pienlaitteiden irtoakkujen käyttäytymiseen syttymisen tapahduttua ja tutkimuksella pyritään selvittämään, kumpi on turvallisempi paikka ladata irtotavaraa litiumioniakkuja; suljettu latauskaappi, vai vapaassa tilassa tapahtuva lataus. Pienlaitteiden akuilla tässä tutkimuksessa tarkoitetaan muun muassa ladattavien käsityökalujen, varavirtalähteiden ja sähköpolkupyörien akkuja. Tutkimus toteutetaan siksi, koska litiumioniakkujen paloturvallisuus on tärkeä kysymys. Nämä akut voivat olla alttiita palotilanteille ja räjähdyksille, jos niitä ei käsitellä ja käytetä oikein. Paloturvallisuuteen liittyvät haasteet ovat olleet huomattavissa, erityisesti kun litiumioniakkujen käyttö on yleistynyt eri sovelluksissa, mikä on havaittu konkreettisesti siten, että akkujen syttyessä, purkautuva savukaasu on erittäin myrkyllistä ja monessa tapauksessa, kun akku, tai akut syttyvät, on palo hetkellisesti erittäin voimakas ja ne palavat räjähdysnomaisesti, aiheuttaen ympäristöön erittäin kuumia heitteitä, jotka levittävät paloa ja lisäävät henkilövahinkoriskiä. Alla lyhyt katsaus, miksi litiumioniakut voivat syttyä.

Litiumioniakkujen suurin paloturvallisuusriski on niiden mahdollisuus ylikuumentua ja käynnistää terminen purkaus. Tämä tarkoittaa, että akun lämpötila nousee nopeasti ja hallitsemattomasti, mikä voi johtaa tulipaloon tai räjähdykseen. Ylikuumentuminen voi johtua akkuvirheistä, kuten lyhyistä oikosulkuista, fyysisistä vaurioista tai vääristä latausolosuhteista.

Akkujen sisäiset oikosulut voivat aiheuttaa paikallista kuumentumista ja johtaa paloon. Oikosulkuja voi tapahtua akun sisällä muun muassa vaurioiden ja valmistusvirheiden vuoksi. Akkujen fyysiset vauriot, kuten murtumat tai lävistykset, voivat heikentää akun rakenteellista eheyttä ja johtaa vuotoihin tai lyhyisiin oikosulkeisiin, jotka voivat käynnistää tulipalon.

Väärät lataus- tai purkamisolosuhteet voivat aiheuttaa akun lämpötilan nousua. Erityisesti ylikuormitus tai vääränlainen laturi voi aiheuttaa ongelmia. Litiumioniakkujen turvallisuus on parantunut merkittävästi teknologian ja valmistusmenetelmien kehityksen myötä, mutta on tärkeää olla

tietoinen riskeistä ja noudattaa asianmukaisia turvallisuusmenettelyitä, joita tällä tutkimuksella pyritään kehittämään.

Teollisuudessa käytetään paljon Litium-ioni akkuja työkalujen voimanlähteenä, ja näiden akkujen lataamista tapahtuu mahdollisesti lataukselle soveltumattomissa tai epäedullisissa tiloissa. Testeissä simuloitiin akun syttymistä latauksen aikana latauksessa olevan akun sijoitettuna seinälle (kuva 1) sekä latauksessa olevan akun sijoitettuna työkalujen säilytykseen tyypillisesti käytettyyn metalliseen työkalukaappiin (kuva 2).

Kokeiden tarkoituksena on tutkia kokeella, onko vastaavilla akkujen säilytys- ja latausmetodeilla mahdollisuutta sytyttää akkuja joko välittömästi tai myöhemmin latauksen aikana tapahtuvan terminen karkaamisen seurauksena valvomattomassa tilanteessa.



Kuva 1. Latausseinä demonstraatio.



Kuva 2. Työkalukaappi demonstraatio.

3 Aineisto ja menetelmä

Akkujen polttokokeita tehtiin kaksi kappaletta. Akkujen lämpötilaa seurattiin dataloggerilla. Ensimmäinen testi videoitiin kahdella videokameralla ja kahdella tallentavalla lämpökameralla, toinen testi videoitiin kolmella videokameralla ja kahdella tallentavalla lämpökameralla. Videoinnin ero johtui yhden videokameran teknisestä viasta, eikä sitä saatu toimimaan ennen ensimmäisen testin aloittamista. Ensimmäisessä kokeessa toinen lämpökamera siirtyi epähuomiossa "COLD"-asetukselle tallennuksen aloittamisen yhteydessä, muuten käytettiin "FIRE"-asetusta.



Kuva 3. Kokeiden yleisasettelu

Koeasetelmissa oli huomioitu turvallisuus, heitteiden ilmaantuminen, palokaasujen leviäminen. Välittömässä käytössä oli sammuttimia sekä sammutusyksikkö. Kokeen jälkeen akut sijoitettiin vedellä täytettyyn sinkkiämpäriin.

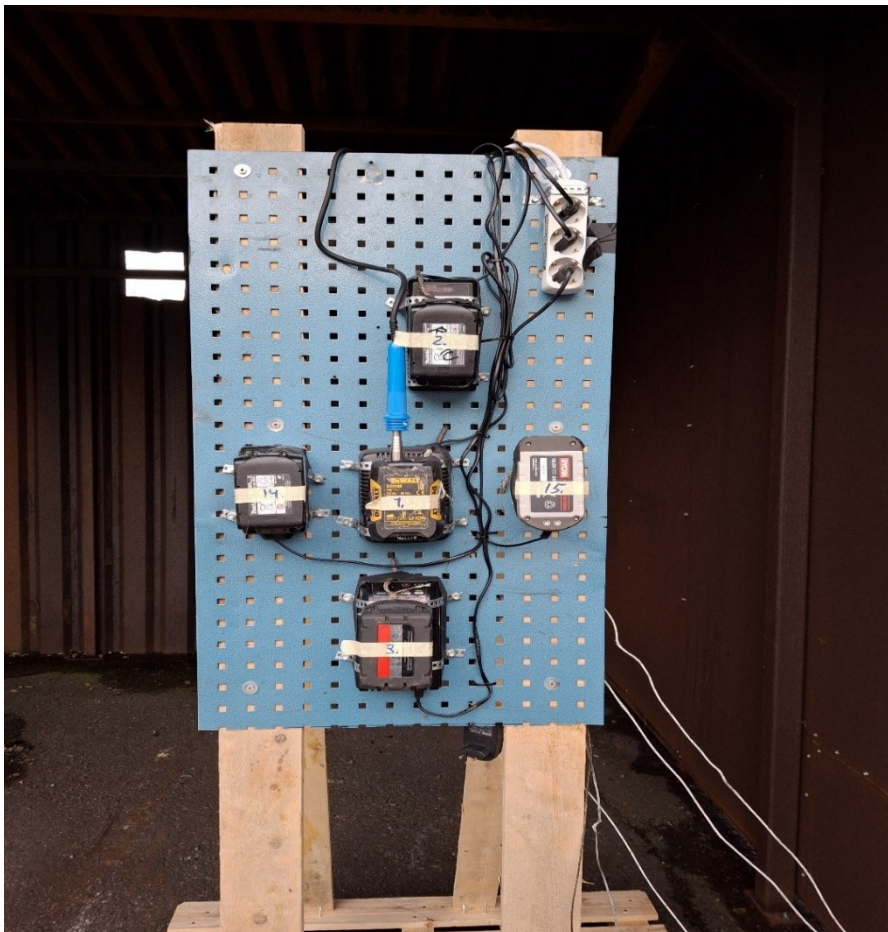
Lämmitetyissä akuissa käytettiin 10 kappaletta 16850 litiumioniakkukennoa, kennojen valistaja Tesiylä 3,7V 2600mAh. Kennot olivat ladattu täyteen eli 4,2V ja akkukemiana oli Li-Mn. Muut akut olivat alkuperäisiä, mutta niistä oli poistettu suojauselektroniikka, jotta niitä pystyttiin lataamaan 90 % -100 % varaukseen. Dataloggerin lämpötila-anturit olivat sijoitettuna akkujen kotelon pinnalle lukuun ottamatta lämmitettävää akkuja, jossa anturi sijaitsi akun sisällä lämmitettävässä

akukennossa kiinni. Lämmitettävään akkuun oli tehty toinen reikä juotoskolvia varten, jolla lämmitettiin akun kennoa termisen karkaamisen aikaansaamiseksi. Akut olivat sijoitettuina latureihin molemmissa testeissä, mutta akkuja ei ladattu kummankaan kokeen aikana.

3.1 Koe 1 (Akkuseinä)

Ensimmäinen testi tehtiin ns. työkaluseinällä, johon oli sijoitettu viisi akkua alla olevan kuvan mukaisesti. Keskimmäistä akkua lämmitettiin kolvilla, joka oli sijoitettu akun muovikuoren sisään, suoraan akun kennoa vasten.

Ylin akku:	Makita BL 1850B Li-ION5,0Ah 90Wh
Lämmitetty akku (keskellä):	Uudelleen kennotettu 10x 3,7V 2600mAh kennoilla, Li-Mn (De WALT DE9180 18V 2,0Ah 36WH Li-ION)
Vasen akku:	Makita BL1850B 18V 5,0Ah 90Wh Li-ION
Oikea akku:	Ryobi BPL –1851,18,0 v 24Wh Li-ION,
Alin akku:	Techtronic Industries GmbH, M1885/5,0Ah / 90Wh 18v Li-ION



Kuva 4. Koe 1 asetelma.

3.2 Koe 2 (Latauskaappi)

Toinen testi tehtiin normaalissa peltikaapissa, jonka saumat oli teipattu tiiveyden lisäämiseksi. Viisi akkua sijoitettiin alla olevan kuvan mukaisesti ja keskimmäistä akkua lämmitettiin kolvilla, kuten ensimmäisessä testissä. Myös tässä testissä akkujen pinnalle oli asennettu lämpöanturit sekä kaapin sisään kaasumittarin putki, jolloin myös kaapin sisään muodostuvien kaasujen koostumusta voitiin mitata. Lisäksi kaapin yläreunaan oli sijoitettu yksi lämpöanturi. Lämmitettyyn akkuun vaikutettiin kolvilla, joka oli asetettu akun kotelon sisään lämmittäen akkukennoa. Lämmitetyn akun sisään oli asetettu myös dataloggerin lämpötila-anturi.

Kaapin mitat:

Kaappi korkeus 202 cm

Kaappi leveys 104,5 cm

Kaappi syvyys 61,6 cm

Kaapin sisätilavuus 1,3 m³



Kuva 5. Koe 2 asetelma.

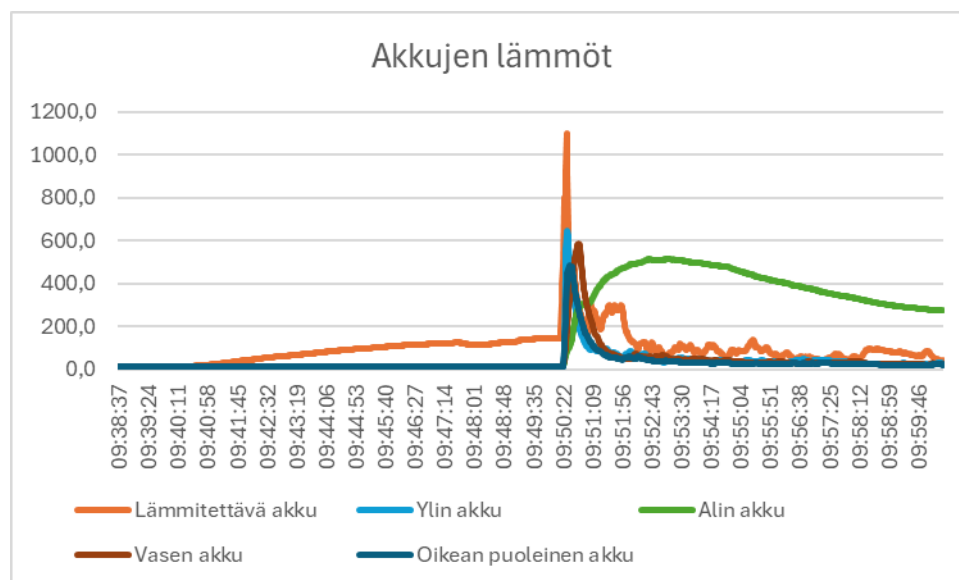
Akku, jossa lämmitys	Uudelleen kennotettu 10x 3,7V 2600mAh kennoilla, Li-Mn (DeWalt DE9180 2,0Ah 18V 43Wh Li-ion)
Vasen akku	Cameron Sino 18VDC 6000mAh, 108 Wh
Oikea akku	Makita BL1850B 18V 90Ah Li-ion
Ylähyllyn akku	AEG pro Lithium ion 1,5Ah
Takana oleva akku	Lithium +36V 4,0Ah

4 Tulokset

Testien suorittamisen aikaan 17.9.2024 klo 09:00-13:00 sää oli pilvinen, lämpötila vaihteli 12,8°C ja 13,6°C välillä, suhteellinen kosteus 89,1 % ja 92,9 % välillä sekä sademäärä oli 0,07 mm (Ilmatieteenlaitos, Kuopion Savilahden mittausasema). Testi tehtiin katoksen alla, joten vesisade ei vaikuttanut merkittävästi testin tekemiseen.

4.1 Tulokset koe 1 (Akkuseinä)

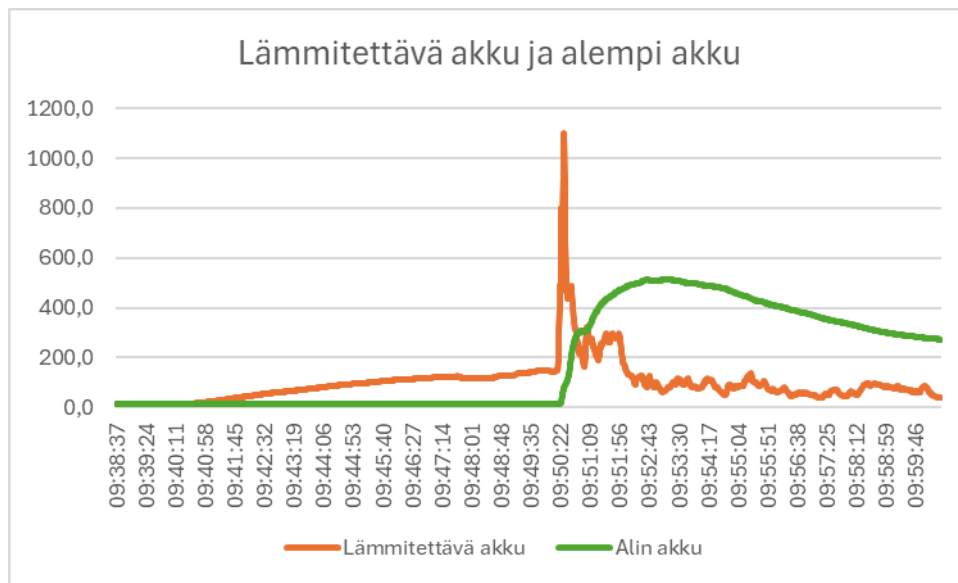
Akkujen lämpöjen nousut seurasivat reaktioiden kulkua johdonmukaisesti ja kuvaajista pystyy kokeen tapahtumat havainnoimaan.



Kuva 6. Kokeen 1 lämpötilat

Akusta alkoi nousemaan silmin havainnoiden savua noin 8 minuuttia lämmittämisen aloittamisesta, joka näkyi vaaleana ohuena kuitenkin jatkuvasti voimistuen. Noin 4 sekuntia ennen syttymistä, oli savun muodostus vielä maltillista, mutta kuitenkin tumman harmaa savu oli selvästi havaittavissa ja ulkotiloissakin ollessa erittäin selvästi hajuaistein tunnistettavissa voimakkaana kitkeränä hajuna.

Voimakkaimmat reaktiot tapahtuivat lämmitetyn akun kanssa, sekä välittömästi tämän alapuolella olevan akun kanssa. Lämmitettyä akkua alempi akku altistui voimakkaasti lämmölle, johtuen sen päälle pudonneista kuumista kennoista sekä palavasta muovista.

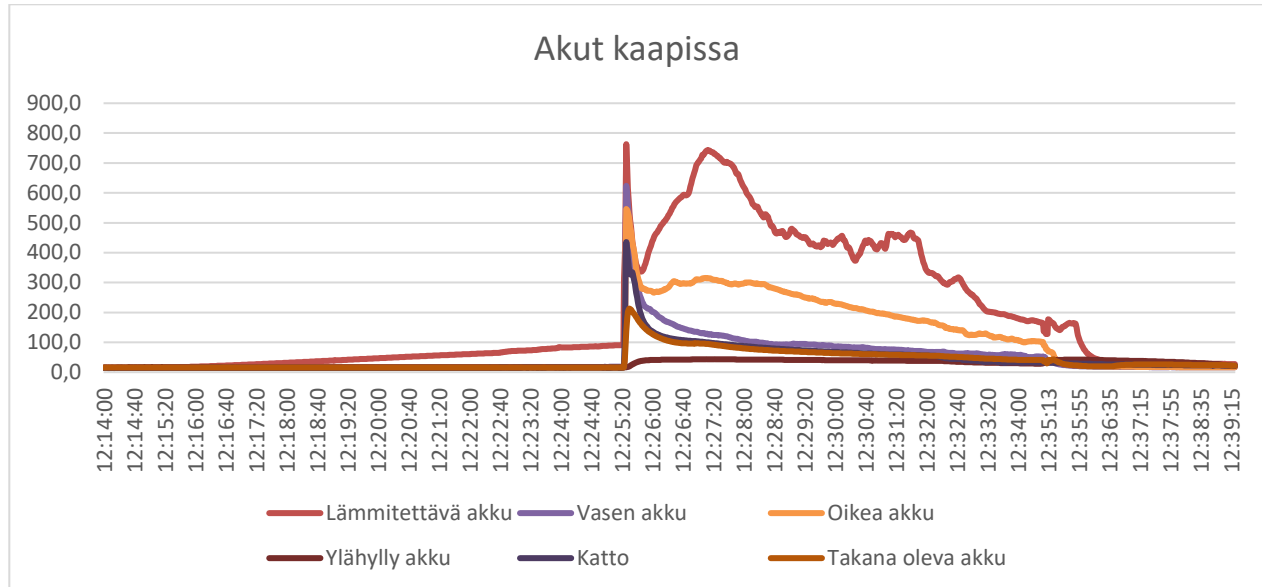


Kuva 7. Koe 1 akkujen reaktiot

Terminen karkaaminen alkoi ajassa 09:50:19 ja reaktio alkoi ensin voimakkaana napsahduksena, jonka jälkeen akku syttyi palamaan. Liekki voimistui altistaen koko akkuseinän ja sen akut liekille. Liekkisuihku ulottui noin metrin korkeudelle ylöspäin ja noin puoli metriä sivuille. Liekkisuihku ei ollut tasainen.

4.2 Tulokset koe 2 (Peltikaappi)

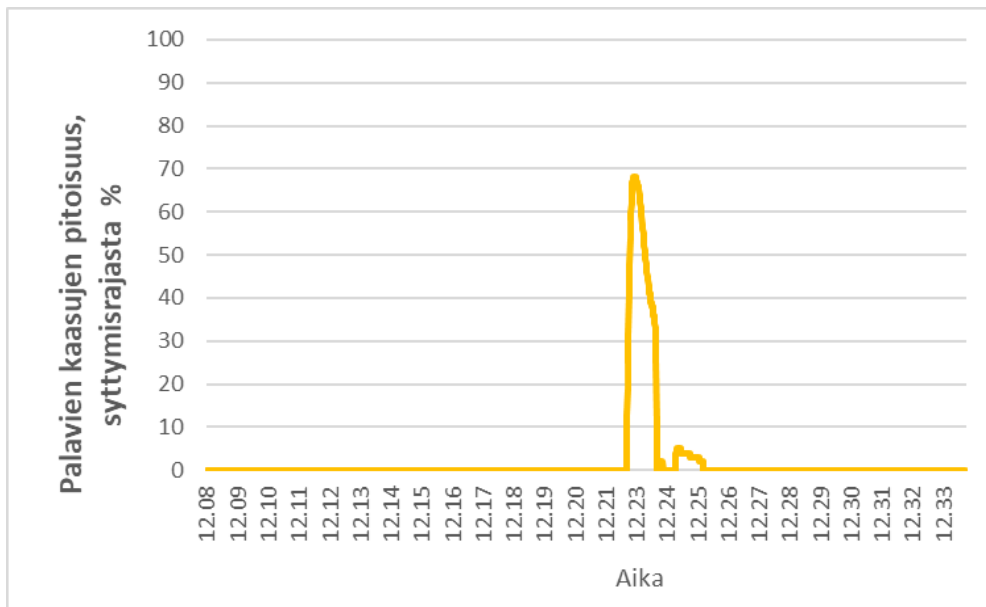
Koska kaappi oli koko metallinen eikä oven lävitse nähty suoraan kaapin sisällä tapahtuvia reaktioita, tulee tutkia kuvaajia sekä videomateriaalia tarkkuudella. Merkittävimmät havainnot pystytään kuitenkin kuvaajista ja materiaaleista tehdä, sekä johtopäätöksiä tapahtumista kaapin sisällä.



Kuva 8. Kokeen 2 akkujen lämmöt

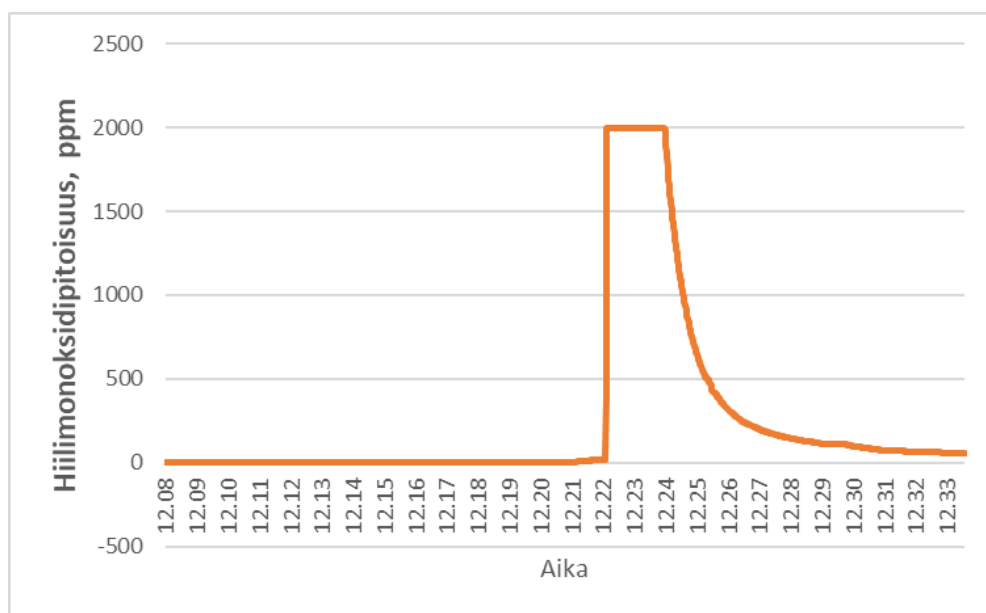


Kuva 9. Kokeen 2 akkujen sekä katon lämmöt



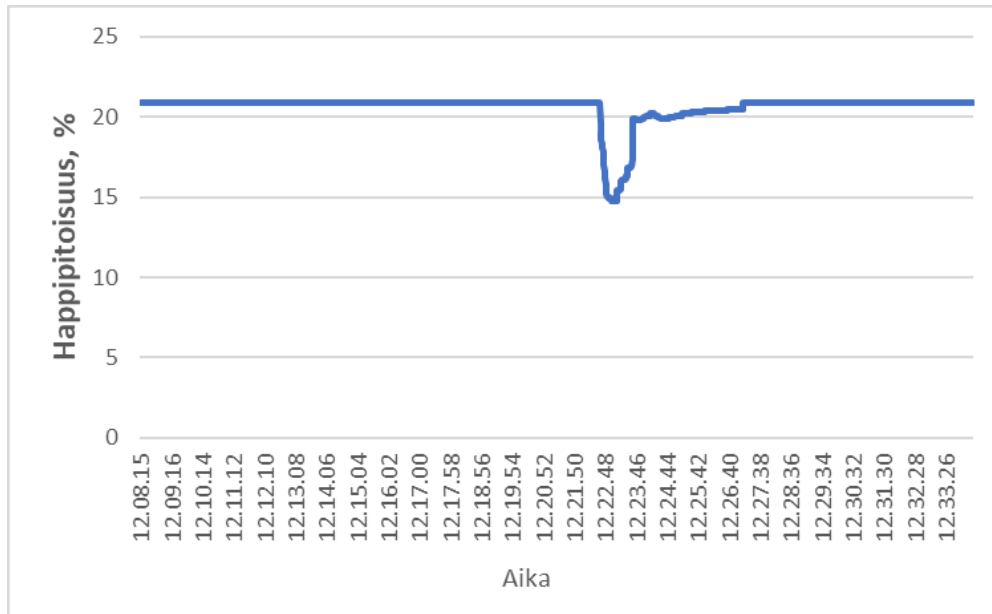
Kuva 10. Palavat kaasut kaapissa

Kaappiin ei ehtinyt muodostua syttymiskelpoista seosta, koska liekki palo on ehtynyt polttaa osan syttyvistä kaasuista ja palavien kaasujen määrä alkoi voimakkaasti laskea, koska terminen karkaaminen oli hetkellinen ja palokaasut pääsivät vuotamaan kaapin raoista ulos.



Kuva 11. Hiilimonoksidin pitoisuus kaapissa

Hiilimonoksidianturi on reagoinut kaavion mukaan jo noin 2 min. aiemmin ennen syttymistä. Suoraa näkymää akkuun ei ollut, mutta kokeeseen 1 viitaten alkoi lämmitetystä akusta nousta savua noin 2 min ennen reaktiota. Hiilimonoksidianturin mittaama maksimipitoisuus on 2000 ppm, joka tässä testissä täyttyi. Hiilimonoksidianturi on antanut ensimmäisiä indikaatioita kaasusta 12:21:16 ajassa, joka nousi voimakkaasti 12:22:36 kun reaktio tapahtui.



Kuva 12. Happipitoisuus kaapissa

Happipitoisuus putosi voimakkaasti akusta lähtevien kaasujen täyttäessä kaapin. Verratessa kuvaa kuvaa 8 ja 9 kuvaajiin, huomataan kaasujen voimakas lämpötila sekä liekkipalo on polttanut ison osan hapesta.

Kuvassa 14 nähdään kaappi ulkoapäin reaktion jälkeen ja oven etupuolessa näkyy savujäämiä. Kuvasta pystyy myös näkemään pillin, jolla kaasunäyte otettiin kaapin sisältä. Pumppu imi näytekaasua teholla 2 l/min.



Kuva 13. Kaapin sisältä mittauksen päätyttyä



Kuva 14. Kaappi ulkoa reaktion jälkeen.

5 Tulosten analysointi

5.1 Koe 1

Koe 1 suoritettiin vapaassa ulkotilassa, suojakatoksen alla, pystysuoraan asennetulla työkaluseinällä, johon oli kiinnitetty viisi kappaletta pienakkuja latureineen, ristin muotoiseen asetelmaan aseteltuna, joista ylin oli kiinnitetty hieman keskilinjaa oikealle puolelle, tauluun päin katsottuna. Tämä siitä syystä, että keskimmäiseen akkuun oli kiinnitetty juotoskolvi, jonka käsikahva tuli akusta suoraan ylöspäin, jonka vuoksi yläpuolista akkua ei saatu suoraan lämmitettävän akun yläpuolelle. Koetilanteessa minkään akun laturi ei ollut kytkettynä verkkovirtaan.

Akkua alettiin lämmittämään 230 V jännitteellä toimivalla juotoskolvilla, jonka juotospää oli asennettu akkukotelon sisäpuolelle, suoraan akkukennoihin kiinni. Kokeen aikana koeryhmämme teki aistinvaraisia havaintoja, niin äänien, kuin näköhavaintojen avulla. Mittauksia teimme asennettujen lämpöantureiden ja lämpökameroiden perusteella ja tavoitteenamme oli tehdä havaintoja reaktion alkamisajasta, reaktionopeudesta, heitteistä, sekä palon leviämisestä. Tässä kokeessa ei testiakkujen latureita ollut kytkettynä verkkovirtaan. Kytkettyämme juotoskolvin verkkovirtaan, alkoi akkukennojen lämpeneminen välittömästi. Lämpeneminen tapahtui lineaarisesti noin 10 minuutin ajan, jona aikana mitattavan akun lämpötila nousi noin 160 °C, jolloin akustossa tapahtui terminen karkaaminen ja lämpötila nousi räjähdysmäisesti noin 1100 °C:een.

Terminen karkaaminen purkaantui akkukotelosta käytännössä neljään suuntaan, sivuille ja ylös, sekä alas, josta suihkusi kuumaa kaasua ja liekkejä joka suuntaan. Jokaisessa viereisessä akussa, joita seurattiin lämpötila-antureilla, on havaittavissa raju lämpötilannousu 500–600 °C paikkeille. Voimakkain reaktio lämmitettävässä akussa kesti muutaman kymmenen sekuntia, ja reaktio päättyi, kun akku ikään kuin räjähti, aiheuttaen yhden kennon heitteen 5,5 metrin päähän työkalutaulusta, maasta mitattuna, muiden kennojen pudoten suoraan työkalutaulun alle.

Alapuolisen akun lämpötilan seurantamittaus poikkeaa muista akuista siitä syystä, kun lämmitettävä akku ”räjähti”, jäi akun muovinen suojakuori kolvin sähköjohdon varaan roikkumaan, joka paloi käytännössä alemman akun päällä. Tilannetta seurattiin vielä noin 10 minuuttia, jonka jälkeen koetilanne keskeytettiin ja palo sammutettiin. Lämpötilakäyrä oli tässä vaiheessa laskeva, mutta lämpöä oli edelleen reilusti ja sopivissa olosuhteissa olisi mahdollista, että lämpö olisi riittänyt sytyttämään myös alemman akun palamaan, jolloin edellisen kokeen kaltainen reaktio olisi toistunut. Koetilanteessa ei ollut mahdollista saada tietoa savukaasujen sisältämistä yhdisteistä ja pitoisuuksista, joka olisi erittäin mielenkiintoista data kokonaisturvallisuusanalyysiä ajatellen, sillä akkujen lataus tapahtuu käytännössä aina rajatussa sisätilassa ja yleisessä tiedossa on, että savukaasut sisältävät erittäin myrkyllisiä yhdisteitä, jotka altistavat savukaasuja hengittävät henkilöt hengenvaaraan.

5.2 Koe 2

Koe 2 suoritettiin aiemmin mainitussa suljetussa ”latauskaapissa”. Koejärjestelyt suoritettiin samalla konseptilla, kuin koe 1, eli juotoskolvilla lämmittämällä nostettiin yhden akkukennoston lämpötilaa ja seurataan missä vaiheessa terminen karkaaminen alkaa, miten palo leviää

suljetussa tilassa viereisiin akkuihin ja ennen kaikkea, haluttiin tietää kaapin syttymisraja-arvo, eli onko mahdollista, että kokeen aikana kaapin sisälle muodostuu syttyvä savukaasuseos, joka leimahtaa, tai tapahtuuko savukaasupatjan humahdus.

Koe 2 teimme samalla tavoin kuin koe 1 aistinvaraisia havaintoja, niin äänien, kuin näköhavaintojen perusteella. Mitattavia asioita koe 2 meillä oli edellä aiemmassa kappaleessa mainittu kaasuanalysaattori ja lämpötila-anturit. Reaktiot kuvaajineen on kerrottu aiemmissa kappaleissa.

Elektroniikkajuotoskolvilla simuloitiin, että akun, tai laturin suojapiiri on vioittunut ja laturi pääsisi ylilataamaan akkua, jonka seurauksena akkukennot ylikuumenevat. Simulaation avulla akku alkoi tuottamaan enemmän lämpöä, kuin mitä se pystyi luovuttamaan ympäristöön ja tietyssä pisteessä prosessi muuttui hallitsemattomaksi lämpötilannousuksi, jonka seurauksena akkukenno siirsi lämpöä suojakotelon sisällä viereisiin akkukennoihin, jotka pullistuvat, sekä lämpenivät ja edelleen kiihdyttivät lämpötilannousua suojakotelon sisällä. Tietyssä pisteessä reaktion lämpötila aiheutti akun suojakotelolle savun purkausaukon, josta alkoi purkaantumaan vaaleaa savua ympäristöön. Lopulta kun lämmitettävän kennon viereiset kennot osallistuivat ketjureaktioon, tapahtui äkillinen lämpötilannousu, jonka seurauksena koko akku syttyi äkillisesti palamaan liekkipalona, jonka lämpötilahuippu oli 1100 °C. Kun varsinainen palo syttyi räjähdysmäisesti, vapautui reaktiossa valtava määrä lämpöä, mutta testikaappimme, tiivistyksistä huolimatta päästi paineen vaikutuksesta suuren osan lämmöstä ulkoilmaan, sekä kaapin rakenteet sitoivat kuumuutta itseensä, mikä on selkeästi havaittavissa lämpökameratallenteessa.

Tämänkään kokeen seurauksena vieressä olleet akut latureineen, eivät syttyneet, eivätkä osallistuneet paloon, kun taas syttynyt akku tuhoutui palossa käytännössä olemattomiin. Kaasuanalysaattorin tuloksista voimme huomata, että seos jäi 70 % alemmasta syttymisrajasta, täten savukaasupatja kaapin sisällä oli liian laiha syttyäkseen ja leimahdusta ei tapahtunut.

Yhteenvetona molemmista testeistä voimme päätellä, että litiumioniakkujen paloreaktiot ovat erittäin rajuja ja palon syttyessä akkua ympäröivä tila altistuu äärimmäiselle kuumuudelle ja herkimmat materiaalit voivat syttyä palamaan. Lisävaaraa tuovat palosta aiheutuvat heitteet, jotka sisätiloissa voivat kimpoilla syttymisalueesta samassa huonetilassa suhteellisen kauas, aiheuttaen mahdollisia syttymiä. Samaan johtopäätelmään tulimme palofysiikan jatkokurssilla, jossa teimme samankaltaista kokeellista tutkimusta litiumioniakkujen palokäyttäytymisestä, kun akkua vaurioitetaan mekaanisesti. Suurimpana vaikuttavana tekijänä tuntui olevat akkukennoston kapasiteetti ja varaustaso. Mitä ikään kuin täydempi akku, sitä voimakkaampi reaktio. Tästä voimme pohtia tutkimuksen jatkojalostamista suurempiin akkukapasiteetteihin, esimerkiksi jos sähköpolkupyörän akkua ladattaisiin vastaavanlaisessa ”latauskaapissa”, saavuttaisiko kaapin savukaasuseos alemman syttymisrajan, sillä polkupyörän akku on kapasiteetiltaan noin nelinkertainen tämän kokeen akkukapasiteettiin verrattuna.

6 Pohdinta

Tutkimuksessa määriteltiin koeasetelmat kahdelle eri koetilanteelle: Lataus vapaassa tilassa ja suljetussa peltikaapissa.

Molemmissa asetelmissa keskimmäistä akkua lämmitettiin tarkoituksellisesti termisen purkauksen aikaansaamiseksi. Koe asetelma on tarkasti kuvattu ja toistettavuus on mahdollinen, kun koeasetelma dokumentoidaan ja toistetaan tarkasti.

Tutkimuksessa käytettiin valmiiksi kalibroituja mittareita: Dräger X-AM 5000 kaasumittaria ja Titan S8-dataloggeria. Mittareiden kalibrointi on oleellista tulosten luotettavuuden takaamiseksi. Jatkotutkimuksia ajatellen tulee huomioida laitteiden samankaltaisuus.

Tulokset osoittavat odotetusti merkittävän lämpötilan nousun ja termisen purkauksen tapahtumisen. Tulosten tarkkuus on kuitenkin riippuvainen mittareiden sijainnista, mahdollisista mittausvirheistä ja anturien reagoitinopeudesta. Muuttujana tulee huomioida kaasuanalysaattorin pillin asettelukorkeus, putken koko sekä matka imupisteestä analysaattorille. Koetilanteissa mittaukset tehtiin tarkasti ja niiden toistettavuus osoitettiin, koska samantyyppinen reaktio havaittiin molemmissa kokeissa.

Mittareiden tulosten toistettavuus on tärkeä mittareiden luotettavuuden varmistamiseksi. Tutkimuksessa käytettiin useita antureita ja kameroita eli tutkimusmittausten johdonmukaisuus dokumentoitiin selkeästi.

Koetilanteissa pyrittiin simuloimaan todellisia latausolosuhteita sekä avoimessa tilassa että suljetussa peltikaapissa. Vaikka koeasetelma oli kontrolloitu, se ei täysin vastaa kaikkia todellisia käyttöolosuhteita, kuten jatkuvaa lataamista tai pitkän aikavälin akkujen käyttöä.

Esimerkiksi todellisuudessa akkuja saattaa olla usein paljon enemmän latauksessa yhtä aikaa, nyt tehty tutkimus tehtiin vain viidellä akulla kummassakin testissä. Kuvaan 1 ja 2 viitaten lataus- tai säilytys tiloissa voi olla myös muuta materiaalia, joka voi vaikuttaa reaktioihin.

Tutkimus keskittyi tiettyihin litiumioniakkutyyppeihin ja niiden käyttäytymiseen tietyissä olosuhteissa. Tulosten yleistettävyys laajempaan käyttöön voi olla rajoitettua, koska eri akkuteknologiat ja tyypit voivat käyttäytyä eri tavoin.

Johtopäätöksenä todetaan, että suljettu peltikaappi on turvallisempi vaihtoehto akkujen lataamiseen termisen purkauksen varalta. Suositellaan suljettujen latauskaappien käyttöä erityisesti teollisuusympäristöissä ja erityiskohteissa, joissa lataus voi tapahtua valvomattomissa olosuhteissa tai kohteissa, joissa valvonta on puutteellista.

Suositellaan jatkotutkimuksia eri akkutyypin ja erilaisten latausolosuhteiden vaikutuksista.

7 Välineistö

Dräger X-AM 5000 kaasumittarin ominaisuudet, Kalibroitu 15.7.2024.

Gas type	O ₂	CO	H ₂ S	CH ₄
Unit name	Vol%	ppm	ppm	%LEL
Gas A1	19,00	20,00	5,00	10,00
Gas A2	23,00	75,00	10,00	20,00
Range	25,00	2000,00	200,00	100,00



Kuva 15. Dräger X-AM 5000 kaasumittari



Kuva 16. Dräger X-AM 5000 kaasumittari

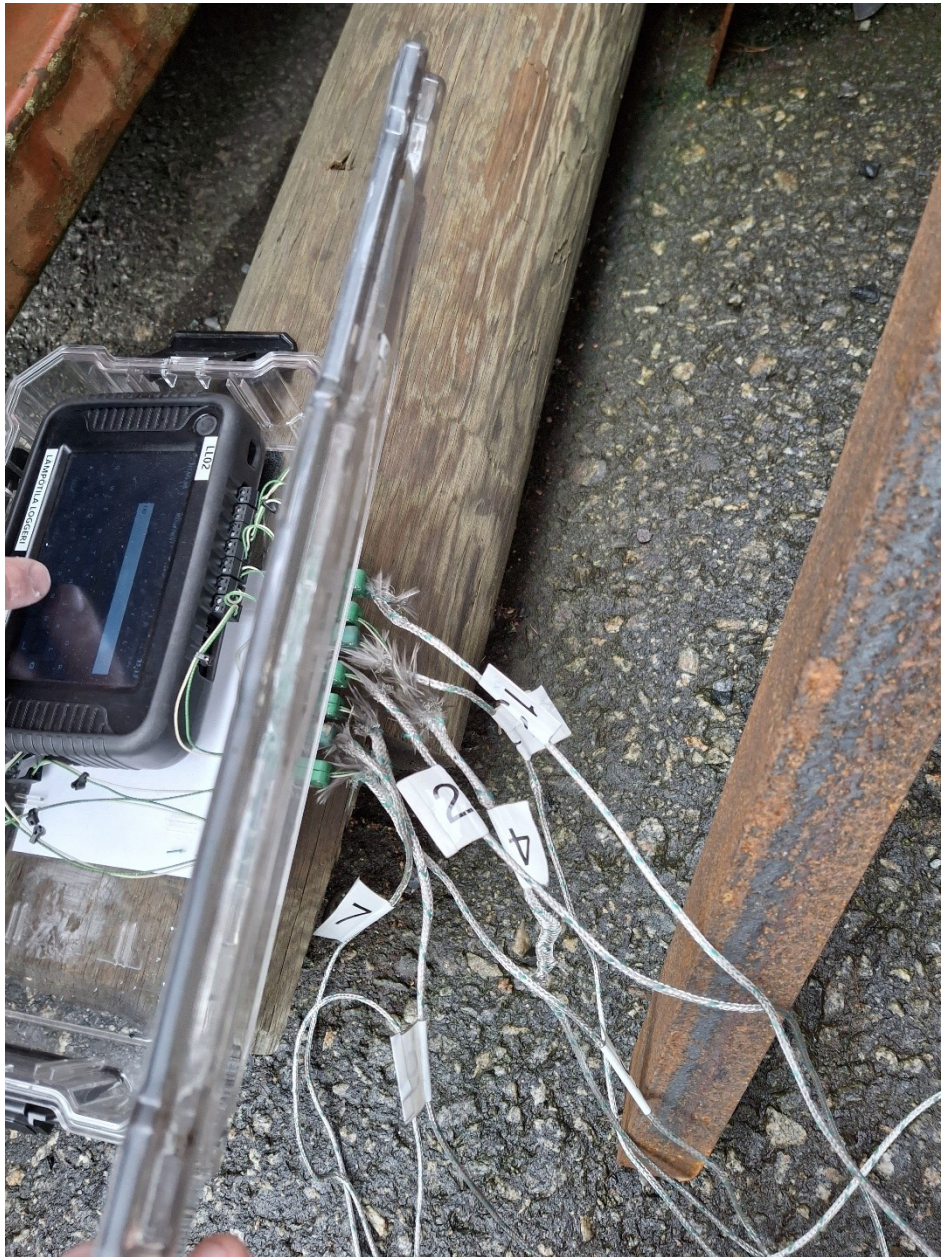
Kaasuanalysointorin näyteimuteho 2 l/min.

Titan S8-dataloggeri

-Tehdaskalibroitu 15.06.2023

-Sample rate – Second

-Mittausväli 2-johtoisella Thermobar-anturilla -200°C - +850°C, tarkkuus 0,01°C



Kuva 17. Titan S8-dataloggeri