



Koulutusohjelma Schenker Oy:lle litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi

Henri Bürkel

2023 Laurea



Laurea-ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma Schenker Oy:lle litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi

Henri Bürkel
Turvallisuus ja riskienhallinta
Opinnäytetyö
Toukokuu, 2023

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kehittää logistiikkayritys Schenker Oy:lle valtakunnallinen koulutusohjelma litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi ja näihin reagoimiseksi. Työn tavoitteena on, että Schenker Oy:n terminaaleissa työskentelevät henkilöt tiedostavat litiumioniakkujen vaarat, tavat ennaltaehkäistä onnettomuuksia ja osaavat lisäksi oikeat toimintatavat onnettomuuden sattuessa. Tavoitteena on myös luoda edellytykset yhteistoimintaharjoituksille Schenker Oy:n ja pelastusviranomaisten välillä.

Opinnäytetyön tietoperusta perustuu julkishallinnollisten ja yksityisten organisaatioiden asiantuntijoiden tuottamiin kirjallisiin lähteisiin. Lisäksi työn tiedonkeruumenetelminä on käytetty teemahaastattelua ja havainnointia. Haastateltavat henkilöt ovat kohdeorganisaation erityispiirteet tuntevia, yrityksen asiantuntija- ja johtotason työntekijöitä. Havainnointi on suoritettu autenttisisä terminaaliympäristössä Schenker Oy:n Suomen suurimmassa toimipisteessä.

Tämän työn keskeisenä tuotoksena on valtakunnallinen koulutusohjelma logistiikkayritys Schenker Oy:lle litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi. Kyseinen koulutusohjelma koostuu käytännön harjoitteista sekä teoria-aineistosta. Tämä työ ja sen tulokset ovat hyödynnettävissä myös muissa samankaltaisissa tuotanto- ja varastoympäristöissä, joissa käsitellään litiumioniakkuja.

Henri Bürkel

Establishing a Training Program to Prevent Lithium-Ion Battery Fires

Year

2023

Pages

47

The purpose of this thesis is to develop a nationwide training program for the Finnish logistics company Schenker Oy. The training program aims to prevent and respond to lithium-ion battery fires. The objective of this thesis is to ensure that the personnel working at Schenker Oy's logistics terminals are aware of the dangers of lithium-ion batteries, master ways to prevent accidents, and can ensure knowledge of the proper procedures in the event of an accident. It also aims to create a framework for cooperation exercises between Schenker Oy and local emergency services.

The theoretical foundation of the thesis is based on published sources, produced by both public and private sector organizations and experts. In addition, focused interviews and observations have been used as research methods. The interviewees in this thesis represent experts and management of the target organization. Observations have been conducted in a logistics terminal at Schenker Oy's largest facility in Finland.

The main outcome of the thesis is a nationwide training program for Schenker Oy to prevent and respond to lithium-ion battery fires. The training program consists of practical exercises as well as theoretical materials. This thesis and its outcomes are also transferrable to other similar production and warehouse environments where lithium-ion batteries are being handled.

Keywords: fire safety, lithium-ion battery, safety, terminal, training program

Sisällys

1	Johdanto	6
2	Tavoite, tarkoitus ja kohdeorganisaatio	7
2.1	Tavoite ja tarkoitus	7
2.2	Kohdeorganisaatio Schenker Oy	7
3	Keskeiset käsitteet	8
4	Litiumioniakut	8
4.1	Litiumioniakun toimintaperiaate	9
4.2	Litiumioniakkuteknologian kehitys	10
5	Litiumioniakkujen vaaramekanismit	11
5.1	Yleistä riskeistä	11
5.2	Lämpökarkaaminen	12
5.3	Tulipalo-, terveys- ja ympäristöriskit	13
6	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät ja työn luotettavuus	14
6.1	Tutkimuksellinen kehittämistoiminta	14
6.2	Haastattelu	15
6.3	Havainnointi	16
6.4	Teemoittelu	16
6.5	Luotettavuus	17
7	Kehittämistyön vaiheet	17
8	Haastatteluiden ja havainnoinnin tulokset	20
8.1	Litiumioniakkujen merkitys ja riskit organisaatiossa	20
8.2	Työturvallisuuden ja työntekijöiden koulutuksen nykytila	21
8.3	Organisaation vaatimukset koulutukselle	23
8.4	Havainnoinnin tulokset	23
9	Johtopäätökset ja kehitysehdotukset	24
9.1	Syyt litiumioniakun lämpökarkaamiselle	25
9.2	Terminaalien työntekijöiden koulutusvaatimukset liittyen litiumioniakkuihin	25
9.3	Kehitysehdotuksena koulutusohjelma	26
9.4	Loppusanat	28
	Lähteet	29
	Kuviot	33
	Liitteet	33

1 Johdanto

Litiumioniakkujen käyttö on lisääntynyt merkittävästi 2000-luvulla ja akkuja käytetään nykyään laajasti erilaisissa sähkölaitteissa. Langattoman teknologian kehitys on osaltaan lisännyt akkukäyttöisten laitteiden määrää entisestään. Litiumioniakkuihin liittyy kuitenkin merkittävä onnettomuusvaara, josta moni käyttäjä ei ole tietoinen. Julkisuudessa on ollut useita tapauksia, joissa vioittunut litiumioniakku on syttyessään aiheuttanut mittavia terveyteen ja omaisuuteen kohdistuvia vahinkoja. Näissä onnettomuuksissa on yleisenä tekijänä vaarojen tiedostamisen puute, joka on johtanut varomattoman käsittelyn kautta akun vioittumiseen ja syttymiseen. Palava litiumioniakku tuottaa myrkyllisiä palokaasuja ja sen sammuttaminen on erittäin haastavaa.

Teollisuudessa litiumioniakkuja käytetään voimanlähteenä muun muassa sähkötrukeissa ja muissa työkoneissa. Erityisesti logistiikkayritysten kuljetuskalusto on sähköistynyt vauhdilla. Tämä kehityskulku on nostanut esille uusia turvallisuusriskejä. Vaikka teollisuudessa on perinteisesti varauduttu hyvin normaaleihin tulipaloihin, ei yritysten varautuminen litiumioniakkupaloihin ole kuitenkaan pysynyt mukana tässä kehityskulussa. Teollisuusakkujen energiamäärät ovat yleisesti yksityiskäyttöön tarkoitettuja litiumioniakkuja suurempia ja vapautuessaan esimerkiksi lämpökarkaamisen yhteydessä, kyseinen energiamäärä saattaa aiheuttaa massiivista tuhoa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkimuksellisen kehittämistoiminnan kautta kehittää valtakunnallinen koulutusohjelma logistiikkayritys Schenker Oy:lle litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi ja niihin reagoimiseksi. Tavoitteena on, että Schenker Oy:n terminaaleissa työskentelevät henkilöt tiedostavat litiumioniakkujen vaarat, tavat ennaltaehkäistä onnettomuuksia ja osaavat oikeat toimintatavat onnettomuuden sattuessa. Lisäksi tavoitteena on luoda edellytykset yhteistoimintaharjoituksiin pelastusviranomaisten kanssa. Koulutusohjelma sisältää teorian litiumioniakuista ja niihin liittyvistä riskeistä, sekä käytännön harjoitukset, joita järjestetään toimipaikkakohtaisesti ja mahdollisuuksien mukaan pelastusviranomaisten kanssa. Koulutusohjelman vaatimusten määrittämiseksi on tässä työssä tutkittu laajasti litiumioniakkujen turvallisuuteen liittyvää kirjallisuutta, haastateltu kohdeyrityksen työntekijöitä ja havainnoitu terminaalin toimintaa.

2 Tavoite, tarkoitus ja kohdeorganisaatio

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin opinnäytetyön aihepiiriin. Luvussa esitellään työn tavoite ja tarkoitus, tutustutaan kohdeorganisaatioon sekä avataan keskeiset käsitteet lukijalle. Luvussa pyritään selvittämään, miksi ja minkälaisia harjoitteita on toteutettava organisaatiossa. Vastaukset näihin kysymyksiin antavat kohdeorganisaatiolle perusteet koulutusohjelman toteuttamiseen.

2.1 Tavoite ja tarkoitus

Schenker Oy:n terminaalien kautta liikkuu ja niissä sijaitsee suuria määriä litiumioniakkuja niin rahdin seassa, kuin myös sähköisissä työvälineissä ja ajoneuvoissa. Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää valtakunnallinen litiumioniakkupalojen koulutusohjelma kyseisen logistiikkayrityksen Suomessa sijaitseviin terminaaleihin. Koulutusohjelman tarkoitus on toimia runkona työntekijöiden koulutuksessa litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi sekä litiumioniakkuihin liittyviin onnettomuustilanteisiin reagoinnin harjoittelussa.

Opinnäytetyön tavoitteena on, että Schenker Oy:n terminaaleissa työskentelevät henkilöt tiedostavat litiumioniakkuihin liittyvät vaarat, tavat ennaltaehkäistä mahdollisia onnettomuuksia sekä tuntevat oikeat toimintatavat mahdollisen onnettomuuden sattuessa. Toisena tavoitteena on antaa työnjohdolle perusteet toiminnan johtamiseen akkuihin liittyvissä onnettomuuksissa, pelastuslaitoksen saapumiseen asti. Tavoitteena on myös, että yritys voi käyttää kyseistä koulutusohjelmaa kaikissa Suomen terminaaleissa näiden kokoluokasta riippumatta ja mahdollistaa yhteistoimintaharjoitukset pelastusviranomaisten kanssa.

Tässä opinnäytetyössä pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

Mikä on syy litiumioniakun lämpökarkaamiselle?

Mitä koulutusta terminaalin työntekijät tarvitsevat, jotta litiumioniakkuonnettomuuksia ennaltaehkäistään ja onnettomuuksien sattuessa niihin reagoidaan asianmukaisesti?

2.2 Kohdeorganisaatio Schenker Oy

Saksalaisen Schenker AG:n tytäryhtiö Schenker Oy on suomalainen huolinta- ja logistiikka-alan yritys. Schenkerin päätoimialaa ovat maa-, meri- ja ilmarahdin kuljetukset. Yritys kuljettaa paketti- ja kappaletavaran lisäksi täys- ja osakuormia. Lisäksi Schenker järjestää intermodaalikuljetuksia ja muita erikoiskuljetuksia kuten lämpökuljetuksia. (Schenker Oy 2023a.)

Schenker Oy:n (2023b) mukaan yrityksellä oli Suomessa vuoden 2023 alussa 23 eri terminaalia. Kauppalehden (2023) mukaan yrityksen liikevaihto oli vuonna 2021 516,9 miljoonaa euroa ja

tilikauden tulos 6,4 miljoonaa euroa. Yrityksellä oli kyseisenä vuonna Suomessa yhteensä noin 1300 työntekijää.

3 Keskeiset käsitteet

Litiumioniakku on laajassa käytössä oleva ja tehokas uudelleenladattava sähköinen voimanlähde, jonka elektrolyytti koostuu nestemäisestä karbonaattieristä ja litiumsulosta. Litiumioniakut koostuvat usein useammista pienemmistä akkukennoista ja voivat olla käyttötarkoituksestaan riippuen eri muotoisia ja kokoisia. Litiumioniakkuja käytetään voimanlähteenä muun muassa langattomissa sähkölaitteissa ja sähköisissä ajoneuvoissa. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023; Battery University 2023a.) Kaikki litiumioniakut eivät ole rakenteeltaan ja käytettyjen raaka-aineiden osalta täysin samanlaisia, vaan akkuja on eri tyyppisiä. Litiumioniakkujen varaus siirtyy kuitenkin kaikissa tapauksissa litiumionina akun elektrodien välillä. (Pitkämäki, Kontiokari, Päällysaho, Bröckl & Raivio 2017, 7.) Tässä opinnäytetyössä käytettävällä akku-termillä viitataan nimenomaan litiumioniakkuihin. Opinnäytetyö ei tarkastele muita akkutyyppejä.

Koulutusohjelma on tässä kehitystyössä yrityksen henkilöstön koulutukseen tähtäävä, muun muassa teoriakoulutuksesta ja käytännön harjoitteista koostuvaa ohjelmaa. Tässä kehitystyössä koulutusohjelma keskittyy opettamaan ja harjoittamaan henkilöstöä litiumioniakkujen riskeihin liittyen. Koulutusohjelman edellä mainitut tarkennukset on määritellyt Schenker Oy tähän kehitystyöhön liittyvissä neuvotteluissa.

Terminaali on logistiikkaketjun solmukohta, jossa logistiikkayrityksen runkokuljetukset jaetaan jakelukuljetuksiin. Terminaaliin saapuvalla rahdilla on aina jatko-osoite, johon se kuljetetaan seuraavaksi. (Logistiikan maailma 2023.)

Lämpökarkaaminen on akkukennon sisällä tapahtuva eksoterminen reaktio, jossa akkukennon elektrolyytti esimerkiksi oikosulun seurauksena lämpenee, kaasuuntuu ja laajenee. Purkautuessaan akusta elektrolyytti voi syttyä ja palava kenno voi aiheuttaa lämpövaikutuksellaan ketjureaktion, joka leviää herkästi viereisiin akkukennoihin. Tätä reaktiota kutsutaan myös nimellä terminen karkaaminen tai thermal runaway (engl.). (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023.)

4 Litiumioniakut

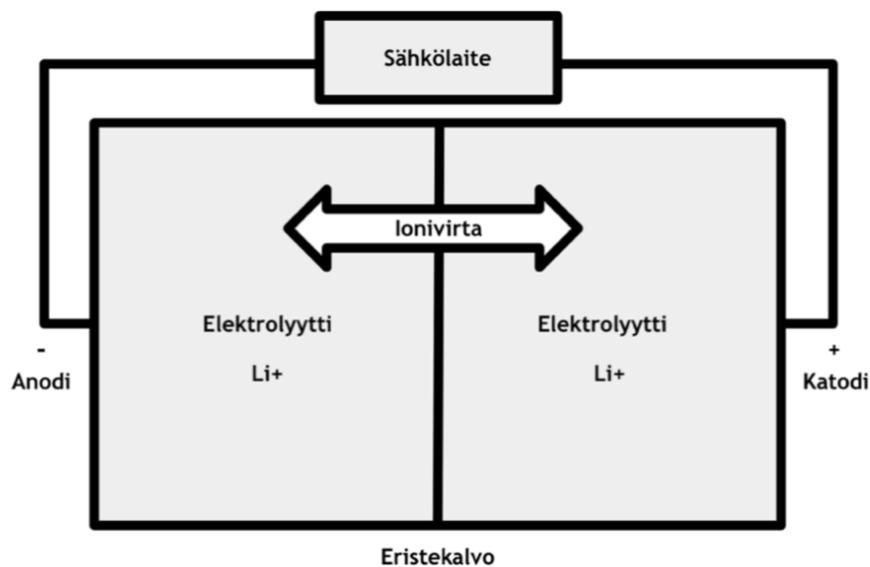
Litiumioniakkuja käytetään kotitalouksien ja teollisuuden laitteissa kasvavissa määrin. Langattomissa sähkölaitteissa käytetään nykyään lähes poikkeuksetta litiumioniakkuja. Myös

monia tavallisesti polttoainekäyttöisiä moottoroituja ajoneuvoja, työkaluja ja laitteita sähköistetään vauhdilla fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä ilmastonmuutoksen seurauksena. Tässä luvussa perehdytään tarkemmin litiumioniakun toimintaperiaatteen sekä litiumioniakkuteknologian kehitykseen.

4.1 Litiumioniakun toimintaperiaate

Litiumioniakku koostuu kahdesta elektrodista eli anodista, katodista. Elektrodien välissä sijaitsee oikosulun estävä eristekalvo. Anodin ja katodin välissä sijaitsee elektrolyytti, joka litiumioniakkujen tapauksessa koostuu nestemäisestä litiumsuolasta ja karbonaattieristä. Nämä osat suljetaan tiiviiseen pakkaukseen, jonka materiaali ja muoto riippuu akun käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi mobiililaitteissa käytetään yleisesti litteää pussimaista pakkausta, kun taas muun muassa sähköisissä ajoneuvoissa käytettävissä 18650-tyypin akkukenoissa käytetään kuorena iskunkestävyydeltään vahvempaa teräksistä sylinteriä. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023.)

Litiumioniakun toimintaperiaate on sama kuin muilla akuilla. Sähkövirta syntyy anodin ja katodin rajapinnoilla tapahtuvista hapettumis- ja pelkistymisreaktioista. Akku purkautuu negatiivisesti varautuneesta anodista eli siitä vapautuu hapettumisreaktion tapahtuessa elektroneja. Nämä vapautuneet elektronit kulkevat ulkoisen piirin, esimerkiksi sähkölaitteen kautta positiivisesti varautuneelle katodille tuottaen sähkövirran. (Motiva 2023.) Kuviossa 1 on esitetty yksinkertaistetusti litiumioniakun toiminnalta keskeisimmät osat.



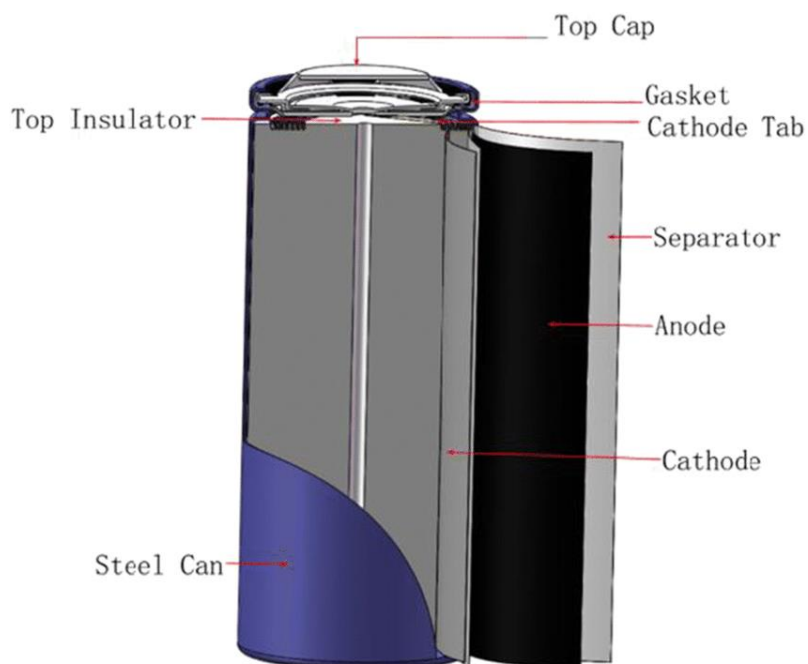
Kuvio 1: Litiumioniakun toimintaperiaate (Zhang ym. 2018, 23849.)

Kuviossa näkyvät akkukennon päissä sijaitsevat elektrodit eli positiivinen anodi ja negatiivinen katodi. Näiden keskellä sijaitsee elektrolyytti sekä oikosulun estävä ja akun turvallisuuden kannalta välttämätön eristekalvo. Akun kuori on kuvattu elektrolyytin ympäröivänä laatikkona.

4.2 Litiumioniakkuteknologian kehitys

Ensimmäiset litiumparistot tulivat markkinoille 1970-luvulla. Näitä seurasivat ensimmäiset uudelleenladattavien litiumakkujen prototyypit 1980-luvulla, jotka kuitenkin epäonnistuivat johtuen litiummetallin epävakaista ominaisuuksista. Litiummetallikokeilujen jälkeen päädyttiin akkujen valmistuksessa käyttämään litiumioni-pohjaista materiaalia. Vaikka kyseinen materiaali on energiatihedeltään litiummetallia pienempi, mahdollisti se akun turvallisen tuotannon ja lataamisen. Japanilainen elektroniikkayritys Sony toi vuonna 1991 markkinoille ensimmäisen kuluttajakäyttöön tarkoitetun litiumioniakun. (Battery University 2023b.)

Vuonna 1994, yhden kuviossa 2 esitetyn 18650-tyyppin litiumioniakkukennon valmistus maksoi noin kymmenen USA:n dollaria. Kyseisen kennon virtakapasiteetti oli tällöin noin 1100 milliampeerituntia (mAh). Vuonna 2001 kyseisen akkukennon valmistuskulut olivat laskeneet kahteen USA:n dollariin ja kapasiteetti oli noussut 1900 mAh:n. Nykyään markkinoilla on yleisesti tarjolla 3000 mAh kapasiteetilla varustettuja 18650-kennoja. Valmistuskulujen lasku ja raaka-aineiden suhteellinen turvallisuus mahdollistivat litiumioniakkujen suosion kasvun nykyiselle tasolle niin kuluttajaelektronikassa, ajoneuvoissa kuin myös teollisuuden laitteissa. (Battery University 2023b.)



Kuvio 2: 18650-tyyppin litiumioniakkukennon rakenne (Yong ym. 2021.)

Kuviossa esitetyn 18650-tyypin akkukennon läpileikkausta tarkasteltaessa on huomioitava, että kyseisessä kennossa elektrodit (Anode & Cathode) sekä eristekalvo (Separator) on asennettu tiiviille kierteelle teräksisen akkusylinterin sisälle. Anodi ja katodi ovat täten akussa hyvin lähekkäin ja niiden välissä sijaitseva ja oikosulun estävä eristekalvo on hyvin ohut.

Verrattuna perinteisiin akkutyypppeihin kuten lyijyakkuihin, litiumioniakun tehosiheys, energiasisältö ja virranantokyky ovat huomattavasti suuremmat. Nykyään litiumioniakkuja käytetään yleisesti niin kodin älylaitteissa kuin suurissa teollisuuskoneissa. Akkujen energiasisällöt saattavat täten vaihdella pienestä hyvinkin suureen. (Pitkämäki, Bröckl & Raivio 2018, 7.)

5 Litiumioniakkujen vaaramekanismit

Litiumioniakkuihin liittyy niiden yleisestä turvallisuudesta ja vakaudesta huolimatta merkittäviä vaaroja. Tässä luvussa käydään läpi litiumioniakkujen tärkeimmät vaaramekanismit. Litiumioniakut voivat olla erittäin herkkiä ylikuumenemiselle, ylikuormitukselle ja fyysisille vaurioille, mikä voi johtaa vakaviin palo- ja räjähdysongelmiin. Lisäksi litiumioniakut voivat vapauttaa myrkyllisiä kemikaaleja, jotka saattavat aiheuttaa haittaa ympäristölle ja terveydelle. Litiumioniakkuihin liittyvät riskit jäävät usein valtaväestöltä ja jopa teollisuuden ammattilaisilta huomioimatta.

5.1 Yleistä riskeistä

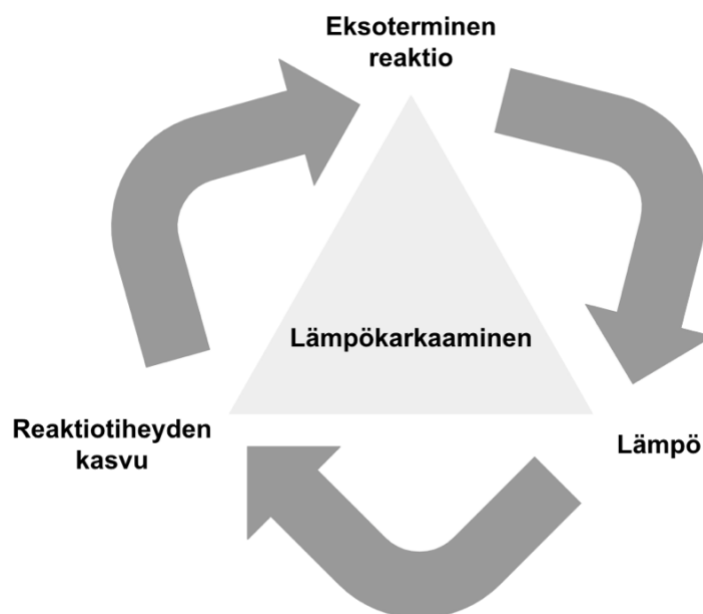
Litiumioniakut ovat yleisestä turvallisuudestaan huolimatta alttiita riskeille, kuten tulipalolle ja kemiallisille vaaratilanteille. Litiumioniakkujen tulipaloriski on erityisen suuri, sillä niissä käytettävä elektrolyytti koostuu helposti syttyvistä kemikaaleista. Vaikka itse akun palokuorma ei olisi suuri, voi palava akku sytyttää muun ympärillä olevan palokuorman. Viime aikoina markkinoille on tullut yhä enemmän teollisuusakuiksi luokiteltavia litiumioniakkuja, jotka ovat palokuormaltaan huomattavasti pienten sähkölaitteiden akkuja suurempia. (Pitkämäki ym. 2018, 9.)

Litiumioniakuista johtuvia vaaratilanteita tapahtuu niiden käyttömäärään nähden harvoin. Teollisuudessa, jossa käytetään kuluttajatuotteisiin verrattuna kooltaan ja teholtaan suurempia akkuja, on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota kyseisten akkujen turvallisuuteen. Riskeistä huolimatta voidaan teollisuudessa käytettäviä akkuja käyttää turvallisesti, edellyttäen niihin liittyvien turvallisuustekijöiden huomioinnin. Akut altistuvat teollisuudessa riskeille suurista vaihtuvista akkumääristä ja teollisesta käsittelystä johtuen. (Pitkämäki ym. 2018, 9.)

Perttulan (2023) mukaan, litiumioniakkuja käsiteltäessä on aina olemassa lämpökarkaamisen ja sen seurauksena vaikeasti sammutettavan tulipalon riski. Tämän vuoksi akkujen parissa työskentelevien on oltava hyvin perillä akkujen käsittelyn turvallisuudesta sekä varautumistoimenpiteistä, jotta heillä on tiedossa, miten toimia mahdollisen akkupalon sattuessa. Turvallisuusviestinnän ja koulutuksen avulla voidaan varmistaa, että työntekijät ovat tietoisia akkuihin liittyvien onnettomuuksien ja työturvallisuusriskien ehkäisystä. Vaikka akkujen kanssa työskennellessä on tärkeää kiinnittää huomiota varautumiseen ja osaamisen varmistamiseen, on Perttulan mukaan lisäksi suositeltavaa tehostaa yhteistyötä palo- ja pelastusviranomaisten kanssa. Lisäksi arvoketjun eri toimijoiden välisen yhteistyön parantaminen voi edistää turvallisuutta entisestään.

5.2 Lämpökarkaaminen

Lämpökarkaaminen on litiumioniakkukennon sisällä tapahtuva eksoterminen eli lämpöä vapauttava reaktio, jossa akku tuottaa enemmän lämpöä kuin se pystyy turvallisesti vapauttamaan. Akun lämpeneminen kiihdyttää reaktiota entisestään tuottaen lisää lämpöä. Tämä sykli on esitetty kuviossa 3. Lämmön aiheuttamat muutokset akun rakenteessa, kuten eristekalvon sulaminen ja oikosulku kiihdyttävät reaktiota. Litiumioniakuissa lämpökarkaamisen vaaraa lisää suuri energiamäärä, suuri tehottiheys sekä elektrolyytin tulenarkuus. (Pitkämäki ym. 2018, 10.)



Kuvio 3 Lämpökarkaamisen sykli (Allen 2022, 3.)

Kuviossa mallinnettu lämpökarkaamisen sykli syntyy, kun litiumioniakusta ei pääse vapautumaan lämpöä tarpeeksi tehokkaasti. Tämän takia eksotermisen reaktion tiheys kasvaa

ja lämpökarkaamisen sykli jatkuu. Lämpökarkaamisen seurauksena on pahimmassa tapauksessa akkupalo.

Lämpökarkaaminen voi saada alkunsa muun muassa akun ylilataamisesta tai oikosulusta. Esimerkiksi kolhu tai akun kuoren lävistävä osuma voi puhkaista elektrodien välisen eristekalvon aiheuttaen oikosulun. Nämä voivat aiheuttaa reaktion, jossa akun elektrolyytti muuttuu kaasumaiseksi ja laajenee voimakkaasti. Purkautuessaan akusta, kaasuuntunut elektrolyytti voi syttyä palamaan jopa räjähdysmäisesti. Syttynyt kenno aiheuttaa lämpövaikutuksellaan vaikeasti hallittavissa olevan ketjureaktion, jossa lämpökarkaamisreaktio laajenee viereisiin akkukennoihin. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023.)

Pitkämäen ym. (2018, 10) mukaan lämpökarkaaminen saa alkunsa käytännössä joko akun nopeasta purkautumisesta sisäisen tai ulkoisen oikosun seurauksena tai akun ulkoisesta lämmittämisestä. Pitkämäki ym. (2018, 10) toteavat lämpökarkaamisen kriittisen lämpötilan olevan lämpötila jossa akun lämpötila nousee itsestään. Tähän kriittiseen lämpötilaan vaikuttavat muun muassa akun rakenteelliset ja kemialliset ominaisuudet.

5.3 Tulipalo-, terveys- ja ympäristöriskit

Kriittisen lämpötilan ylittyessä, litiumioniakku tuottaa enemmän lämpöä kuin siitä pystyy poistumaan. Tämä kiihdyttää reaktiota kuvion 3 mukaisesti. Lämpötilan noustessa akku täyttyy kaasuista, jotka aiheuttavat paineen nousun ja akun turpoamisen. Kaasut voivat purkautua akusta hallitusti varoventtiilin kautta mikäli akku on varustettu sellaisella. Hallitsematon purkautuminen saattaa aiheuttaa palavia heitteitä. Purkautuvat kaasut ja elektrolyytti voivat syttyä ilman kanssa kosketuksiin joutuessaan, mikäli lämpötila on tarpeeksi korkea. (Pitkämäki ym. 2018, 11.)

Litiumioniakkupalo on erittäin vaikeasti hallittavissa johtuen sen itseään ruokkivista ominaisuuksista. Litiumioniakkupalo tuottaa lämpöä, happea ja palavaa materiaalia. Tästä johtuen perinteiset tukahduttavat sammutusmenetelmät eivät tehoa paloon, vaan palavaa akkua on kyettävä viilentämään esimerkiksi vedellä. Haasteen palon sammuttamiseen tuo useimpien akkujen kuori, jonka läpi on vaikea saada tarpeeksi suuri määrä vettä akkukenttien väliin. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023.) Litiumioniakkupalot ovat myös erityisen tuhovoimaisia ahtaissa ja vaikeasti saavutettavissa tiloissa. Muun muassa merenkulussa on ryhdytty toimenpiteisiin litiumioniakkupalojen varalta, johtuen lisääntyvästä sähköautojen määrästä. Sähköautojen suuret akustot lisäävät vaikeasti hallittavan tulipalon riskiä esimerkiksi autolautoilla. (Tanskanen 2021.)

Lämpökarkaamisen yhteydessä muodostuvat palokaasut ja muut palaessa syntyvät kemikaalit ovat erittäin haitallisia terveydelle ja ympäristölle. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023.) Reaktiossa syntyvät kaasut, kuten vetyfluoridi voi aiheuttaa hengitystie, iho- ja kudosaivourioita.

Pahimmassa tapauksessa kaasujen hengittäminen voi aiheuttaa sydänpysähdyksen. (Tanskanen 2021.) Akkujen elektrolyytti on erittäin myrkyllinen ja ympäristölle haitallinen. Vaurioituneesta akusta voi pahimmassa tapauksessa valua myrkyllistä elektrolyyttiä ympäristöön. (Pitkämäki ym. 2018, 14.)

6 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät ja työn luotettavuus

Tässä luvussa keskitytään opinnäytetyössä käytettyihin menetelmiin sekä työn luotettavuuteen arviointiin. Opinnäytetyön prosessi perustuu tutkimuksellisen kehittämistoiminnan periaatteisiin, joita on sovellettu läpi koko opinnäytetyön. Tiedonkeruun menetelminä on käytetty lisäksi haastattelua, havainnointia sekä teemoittelua. Tässä luvussa tutustutaan Opinnäytetyön tiedonkeruun menetelmiin niiden teoreettisessa viitekehyksessä. Luvun viimeisessä kohdassa perehdytään opinnäytetyön luotettavuuden arviointiin.

6.1 Tutkimuksellinen kehittämistoiminta

Tuomi, Kunnela, & Luukkonen (2022) kuvaavat tutkimuksellista kehittämistoimintaa menetelmänä, jonka avulla voidaan kehittää organisaation toimintaa ja palveluita. Tuomi ym. (2022) mukaan tutkimuksellinen kehittämistoiminta on tärkeä osa työelämän kehittämistä jolla mahdollistetaan uusien toimintatapojen ja palveluiden kehittäminen. Menetelmän avulla voidaan tunnistaa organisaation ongelmat ja kehittämiskohteet, joiden pohjalta kehitetään uusia ratkaisuja. Lisäksi menetelmällä voidaan arvioida kehittämistoimien vaikutuksia ja tehdä tarvittavia muutoksia. (Tuomi ym. 2022.)

Tutkimuksellisen kehittämistoiminnan prosessi koostuu useista vaiheista, jotka saattavat vaihdella käytettävän prosessimallin mukaan. Toikko & Rantanen (2009, 56-63) jakavat kirjassaan tutkimuksellisen kehittämistoiminnan viiteen eri vaiheeseen. Nämä vaiheet ovat perustelu, organisointi, toteutus, levittäminen ja arviointi.

Perusteluvaiheessa tunnistetaan organisaation kehittämistarpeet ja määritellään kysymykset, joihin opinnäytetyössä etsitään vastauksia. Tässä vaiheessa on tärkeää määrittää, miksi organisaatio haluaa kehittää toimintaansa ja mitä se haluaa saavuttaa ja on tärkeää ottaa huomioon organisaation strategia ja tavoitteet sekä varmistaa, että kehittämistyö on yhteensopiva näiden kanssa. Perusteluvaiheessa arvioidaan myös kehityksen rajaukset ja resurssit. (Toikko & Rantanen 2009.)

Organisointi- ja toteutusvaiheissa keskitytään käytännön asioihin. Organisointivaiheessa suunnitellaan kehittämistyön rakenne ja resurssit, kuten aikataulu, budjetti, työryhmä, vastualueet ja menetelmät. Tässä vaiheessa varmistetaan lisäksi, että työssä noudatetaan eettisiä periaatteita ja että kaikki asianomaiset osapuolet ovat tietoisia kehittämistyön

tavoitteista ja suunnitelmista. Toteutusvaiheessa kerätään dataa ja toteutetaan käytännön työ. Tässä vaiheessa käytetään menetelmiä, jotka on valittu organisointivaiheessa. Toteutusvaiheessa on tärkeää varmistaa, että kerätty data on laadukasta ja että työn toteutus on eettisesti kestävä. Toteutusvaiheessa tehdään yhteistyötä organisaation sisällä ja mahdollisesti ulkopuolisten asiantuntijoiden kanssa. (Toikko & Rantanen 2009.)

Levittämisen- ja arviointivaiheissa jaetaan kerätty tieto organisaatiolle ja arvioidaan sen vaikutusta. Levittämisenvaiheessa varmistetaan, että työn tulokset ovat helposti saatavilla organisaation sisäisille ja ulkopuolisille sidosryhmille. Levittäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi koulutustilaisuutena. Arviointivaiheessa analysoidaan kuinka hyvin kehittämistoiminta onnistui ja miten se vaikutti organisaation toimintaan. Tässä vaiheessa arvioidaan myös onko kehittämistoiminta tuottanut organisaatiolle lisäarvoa ja onko sille asetetut tavoitteet saavutettu. Arvioinnin avulla voidaan tunnistaa myös mahdolliset kehityskohteet tulevaisuutta varten. (Toikko & Rantanen 2009.)

6.2 Haastattelu

Haastattelu on yleinen tapa kerätä tietoa. Haastattelu on pohjimmiltaan haastattelijan ja haastateltavan välinen keskustelu, jonka kehyksenä toimii jokin aihepiiri. Haastattelussa haastattelija pyrkii keräämään aineistoa, jota hän voi jällempäin analysoida. (Hyvärinen Suoninen & Vuori 2023.)

Haastattelutyypit voidaan jakaa karkeasti kahteen päätyyppiin; strukturoituun sekä avoimeen tai puolistrukturoituun haastatteluun. Näissä pääasiallisena erona on haastattelun jäsentely ja haastattelijan vapaus esittää kysymyksiä sekä haastateltavan vapaus vastata. Strukturoidut haastattelut voivat olla muun muassa lomakehaastatteluita, joissa haastateltavalle on annettu tietyt vastausvaihtoehdot, kun taas avoimissa ja puolistrukturoiduissa haastatteluissa kysymysten ja vastausten esittäminen on vapaamuotoisempaa. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006a.)

Teemahaastattelu on tyyliltään puolistrukturoitu haastattelu, jonka kysymysten muotoilu- ja esittämistapa vapaampi kuin tyypillisessä haastattelussa. Teemahaastattelun raameina toimivat tutkijan päättämät teemat, joiden sisällä voidaan esittää vapaamuotoisesti kysymyksiä. Teemahaastattelua pidetään hyvänä haastattelutapana johtuen haastateltavan vapaudesta vastata haluamallaan tavalla, sekä kysymysten asettelun ja vastausten vapaamuotoisesta tyylistä. Tämä menetelmä mahdollistaa laajemmat analyysimahdollisuudet teemojen sisällä. (Hyvärinen ym. 2023.)

6.3 Havainnointi

Havainnointi on kvalitatiivinen eli laadullinen tiedonkeruumenetelmä. Havainnointia käytetään usein tilanteissa, joissa halutaan tarkkailla ihmisten, eläinten tai esineiden käyttäytymistä ja toimintaa. Havainnoimalla voidaan saada ensikäden tietoa esimerkiksi organisaation tai yksittäisen ihmisen toiminnasta. Oikein toteutettuna, havainnoinnilla voidaan kerätä tietoa havainnoinnin kohteesta ilman että vaikuttaa kohteen luonnolliseen käyttäytymiseen. Havainnointia voidaan käyttää haastattelun tukena, kun halutaan esimerkiksi validoida haastattelussa saatuja vastauksia. Havainnointi mahdollistaa tiedon keräämisen luonnollisessa ympäristössä ja havainnointitilanteessa tutkija voi myös havaita sellaisia asioita, joita ei välttämättä pystyisi havaitsemaan kyselyllä tai haastattelulla. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006b.)

Havainnointi voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: osallistuvaan ja ei-osallistuvaan havainnointiin. Osallistuvassa havainnoinnissa tutkija osallistuu havainnoitavaan tilanteeseen ja tekee havainnoita siitä, mitä ympärillä tapahtuu. Ei-osallistuvassa havainnoinnissa tutkija ei puutu tilanteeseen millään tavalla, vaan hän tarkkailee tapahtumia etäältä. Havainnoijan omat ennakkokäsitykset ja asenteet voivat vaikuttaa havainnointavien asioiden tulkintaan. Havainnointitilanteen luonnollisuus voi myös olla ongelma, sillä ihmiset saattavat käyttäytyä eri tavalla, kun he tietävät olevansa havainnoinnin kohteena. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006b.)

Kokonaisuudessaan havainnointi on hyödyllinen tiedonkeruumenetelmä. Se antaa mahdollisuuden kerätä laadullista tietoa luonnollisessa ympäristössä ja havaita asioita, joita ei välttämättä pystyisi havaitsemaan muilla menetelmillä. Havainnointi kuitenkin vaatii huolellista suunnittelua ja toteutusta, jotta tulokset ovat luotettavia ja tulkittavissa oikein. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006b.)

6.4 Teemoittelu

Teemoittelu on tiedon analysointimenetelmä, joka auttaa tutkijoita organisoimaan ja analysoimaan aineistoa esimerkiksi teemahaastattelun yhteydessä. Teemoittelulla tarkoitetaan aineiston järjestämistä käsitteellisiin ryhmiin tai teemoihin, jotka auttavat tutkijaa ymmärtämään paremmin aineiston sisältöä. Teemoittelu soveltuu tiedonkeruumenetelmäksi erityisesti, kun tutkijan tavoitteena on ymmärtää aineiston monimutkaisia ilmiöitä syvällisesti ja etsiä yhteyksiä eri teemojen välillä. Menetelmän avulla voidaan myös löytää uusia näkökulmia tutkittavaan aiheeseen. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006c.)

Tavoitteena teemoittelussa on tunnistaa aineiston sisältämät keskeiset käsitteet ja teemat. Tämä tehdään aineiston analysoinnin kautta. Induktiivisessa teemoittelussa tutkija tutkii aineistoa avoimin mielin ja pyrkii tunnistamaan siitä itsestään nousevia teemoja.

Deduktiivisessa teemoittelussa tutkija käyttää aikaisempaa teoreettista tietoa ja hypoteeseja aineiston järjestämiseen. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006c.)

Menetelmän vaiheet ovat yleensä seuraavat: ensin tutkija lukee läpi aineiston ja merkitsee ylös tärkeimmät ajatukset ja ideat. Tämän jälkeen tutkija etsii yhtäläisyyksiä ja eroja aineiston sisällön välillä ja tunnistaa mahdollisia teemoja. Seuraavaksi tutkija järjestää teemat hierarkkisesti ja tarkentaa niitä tarvittaessa. Lopuksi tutkija tarkistaa, että teemat vastaavat tutkittavaa aihetta. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006c.)

Teemoittelua voi käyttää eri tavoin ja työn eri vaiheissa. Sitä voidaan käyttää muun muassa aineiston keräämisessä auttaen tutkijaa kehittämään kysymyksiä ja haastatteluiden käsikirjoituksia. Aineiston analysointivaiheessa teemoittelua voidaan käyttää aineiston järjestämiseen ja systematisointiin. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006c.)

6.5 Luotettavuus

Kvalitatiivisiin menetelmiin pohjautuvan työn luotettavuutta arvioidaan työn yleisen johdonmukaisuuden sekä systemaattisuuden osalta. Luotettavuuden osalta arvioidaan myös muun muassa tietoperustan, analyysimenetelmien, tulosten esittämisen sekä johtopäätösten tekemisen loogisuutta. Työn luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lisäksi aineiston totuusarvo, sovellettavuus, pysyvyys sekä neutraalisuus. Tietoperustan tulee täten perustua neutraaleihin, totuudenmukaisiin sekä aihepiiriin sopiviin lähteisiin. Luotettavassa kehittämistyössä on lisäksi kuvattu yksityiskohtaisesti työn prosessin eri vaiheet ja menetelmät. (Hyväri & Vuokila-Oikkonen 2020.)

Arvioitaessa työn analyysin ja johtopäätösten luotettavuutta, keskitytään arvioimaan tutkijan kykyä verrata työn tuloksia työn tietoperustaan. Työn luotettavuus edellyttää myös hyvää kirjallista ulosantia sekä merkityksellisen ja kokonaisvaltaisen käsityksen muodostamista työn aiheesta. (Hyväri & Vuokila-Oikkonen 2020.)

7 Kehittämistyön vaiheet

Opinnäytetyötä lähdettiin kartoittamaan Schenker Oy:n kanssa vuoden 2022 loppupuolella. Aiheesta oli käyty alustavia keskusteluita yrityksen sisällä ja tunnistettu tarve koulutusohjelmalle litiumioniakkuihin liittyen. Yritys oli jo aiemmin järjestänyt harjoituksen pelastuslaitoksen kanssa, josta oltiin saatu hyvää palautetta. Näitä harjoituksia yritys halusi jalkauttaa ja kehittää valtakunnallisesti. Kuviossa 4 on esitetty opinnäytetyön eri työvaiheet alustavasta kartoituksesta julkaisuun ja jokaisen vaiheen kesto kuukausitasolla.

	Joulukuu 2022	Tammikuu 2023	Helmikuu 2023	Maaliskuu 2023	Huhtikuu 2023	Toukokuu 2023
Opinnäytetyön aiheen alustava kartoitus						
Tietoperustan kerääminen						
Haastattelut ja havainnointi						
Haastatteluiden ja havainnoinnin tulosten analysointi						
Opinnäytetyön viimeistely ja julkaisu						

Kuvio 4: Opinnäytetyöprosessin aikataulu

Opinnäytetyön aiheen alustava kartoitus käytiin Schenker Oy:n terminaalitason johdon kanssa joulukuussa 2022. Näissä keskusteluissa annettiin ensisilmäys organisaatioon ja aloitettiin opinnäytetyön pohjustaminen rajaamalla lopputuotteen vaikutusalue koskemaan Schenker Oy:n Suomen terminaalikiinteistöjä. Keskustelujen perusteella päätettiin yrityksen kehitystarpeeseen vastata luomalla Schenker Oy:n terminaalien työntekijöille koulutusohjelma litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi ja niihin asianmukaisen reagoinnin harjoitteluun.

Tietoperustan kerääminen aloitettiin Tammikuussa 2023. Tietoperustaa kerättiin pääasiassa erilaisista sähköisistä lähteistä. Litiumioniakkujen ja lämpökarkaamisen teoriaa tutkittaessa, muodostuivat keskeisiksi lähteiksi Gaia Consulting Oy:n ”Opas teollisuuden litiumioniakkujen turvalliseen käyttöön” ja ”Selvitys Li-akkujen turvallisuustekijöistä” joiden rahoittajina ovat toimineet Turvallisuus- ja kemikaalivirasto sekä Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry. Lisäksi Turvallisuus- ja kemikaaliviraston sekä Työturvallisuuslaitoksen verkkosivut ja tiedotteet muodostivat suuren osan tietoperustan lähteistä. Käytettyjen tiedonkeruumenetelmien teorian osalta lähteenä toimi muun muassa Tampereen yliopiston yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Tietoperustaan pyrittiin valikoimaan mahdollisimman hyvin soveltuvia, neutraaleja sekä luotettavia lähteitä, joilla pyrittiin varmistamaan tietoperustan luotettavuus.

Haastattelut toteutettiin helmikuun 2023 aikana. Schenker Oy:lle tehty kehittämistyö vaati hyvää yrityksen organisaation, toimintojen ja erityisesti terminaalien prosessien sekä työvälineiden tuntemusta. Tästä johtuen haastateltaviksi valikoitui yrityksessä asiantuntija- sekä johtoasemissa työskenteleviä henkilöitä. Haastateltavat edustivat eri toimintoja ja ammattiryhmiä, mutta heitä yhdisti päivittäinen toiminta litiumioniakkujen kanssa. Haastatteluihin pyydettiin lupa haastateltavilta sähköpostitse lähetetyllä saatekirjeellä, joka on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1. Saatekirjeessä ilmaistiin eettisyyden kannalta

tärkeät asiat kuten haastateltavien anonymisointi julkaisussa, henkilötietojen ja tallenteiden säilytysmenetelmät sekä haastattelun vapaaehtoisuus. Lisäksi kirjeessä kerrottiin haastattelun toteutusvaihtoehdoista. Haastateltavien eri taustoista sekä työtehtävistä johtuen, päätettiin haastattelut toteuttaa teemahaastatteluina. Erialaisten taustojen vuoksi haluttiin luoda mahdollisimman vapaa keskusteluilmapiiri, jolloin kysymykset voitiin esittää ja haastateltava pystyi vastaamaan kysymyksiin vapaamuotoisesti. Tästä syystä myös esitetyt haastattelukysymykset vaihtelivat haastateltavan asiantuntemuksen perusteella. Kysymyksissä pysyttiin kuitenkin työn aihepiirissä.

Haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin tämän jälkeen yleiskielelle kieliasun yhtenäistämiseksi sekä haastateltavien tunnistettavuuden minimoimiseksi. Haastatteluista kerättyä tietoa analysoitiin kolmen eri teema-alueen avulla. Litiumioniakkujen merkitys organisaatiossa, työturvallisuuden ja työntekijöiden koulutuksen nykytila, sekä vaatimukset tulevalle koulutukselle ja harjoittelulle. Haastattelu osoittautui tärkeäksi tiedonkeruumenetelmäksi sillä haastatteluja analysoimalla saatiin runsaasti tietoa Schenker Oy:n terminaalien erityispiirteistä sekä tilanteista joissa litiumioniakut voisivat yrityksen terminaaleissa aiheuttaa vaaratilanteita.

Havainnointi suoritettiin vierailulla Schenker Oy:n Viinikkalan terminaaliin, Helsinki-Vantaan lentoaseman kupeeseen. Helmikuussa 2023 toteutetun kolme tuntia kestäneen vierailun aikana saatiin yleiskatsaus Schenker Oy:n terminaalista ja toimistotiloista sekä havainnoitiin terminaalin toimintaa ei-osallistuvan havainnoinnin menetelmää käyttäen. Vierailulla havainnoitiin erityisesti akkujen määrää, laatua, sijainteja, käyttötarkoituksia sekä turvallisuusohjeistuksien ja ympäristövahingon torjuntaan soveltuvien varusteiden olemassaoloa. Havainnointia käytettiin haastattelun tukena tiettyjen haastatteluissa ilmenneiden seikkojen varmistamiseksi, kuten akkujen määrää ja tyyppjä sekä tilojen soveltuvuutta harjoitusten järjestämiseen. Havainnoinnin aikana laadittiin havainnointiluettelo sekä otettiin kuvamateriaalia havainnoitavista asioista jälkikäteisen tarkastelun ja analyysin helpottamiseksi. Havainnoinnin tuloksia analysoitiin haastatteluihin vertailemalla ja tiedon luokittelulla teemoihin.

Viimeisessä vaiheessa koottiin tämän työn tulosten ja johtopäätösten avulla koulutussuunnitelma yhdeksi kokonaisuudeksi, joka koostuu teorianmoduulista sekä kahdesta käytännön harjoituksesta. Koulutusohjelman ensimmäinen vedos kävi tarkastuskierroksen Schenker Oy:n sisällä ja sai hyväksynnän yritysjohtolta. Koulutusohjelma luovutettiin Schenker Oy:n käyttöön ja opinnäytetyö julkaistiin toukokuussa 2023.

8 Haastatteluiden ja havainnoinnin tulokset

Tässä luvussa keskitytään ja haastatteluiden ja havainnoinnin kautta saatuihin tuloksiin. Ensimmäisessä kohdassa keskitytään Schenker Oy:n terminaalissa suoritettuun havainnointiin ja siitä saatuihin tuloksiin. Opinnäytetyötä varten haastateltiin kolmea Schenker Oy:n työntekijää. Haastateltavat edustivat organisaation johtoa ja turvallisuussektoria. Toisena alueena käsitellään työturvallisuuden ja työntekijöiden koulutuksen nykytilaa ja kolmantena vaatimuksia tulevalle koulutukselle ja harjoittelulle. Havainnointia suoritettiin Schenker Oy:n Viinikkalan terminaalissa ja sen tulokset on esitetty luvun viimeisessä kohdassa. Tämä luku sisältää suoria lainauksia haastatteluista ja havainnointiluettelosta jotka kuvaavat käsiteltävää aihetta. Haastattelukysymykset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 2 ja havainnointiluettelo kokonaisuudessaan liitteessä 3.

8.1 Litiumioniakkujen merkitys ja riskit organisaatiossa

Ensimmäisen teema-alueen tarkoitus oli selvittää litiumioniakkujen merkitys ja riskit organisaation toiminnassa. Litiumioniakkujen merkitys yrityksessä korostui kaikkien haastateltavien osalta. Litiumioniakkuja on laajalti käytössä yrityksessä ja niiden kriittisyys toiminnan kannalta nousi esille kaikkien haastateltavien osalta. Erityisesti haastattelussa nousi esille käytössä olevien akkujen moninaisuus. Käytössä on niin teollisuusakkuja (muun muassa trukkiakut), kuin myös pienielektroniikassa käytettäviä pieniä litiumioniakkuja. Lisäksi yritys kuljettaa kierrätykseen meneviä litiumioniakkuja omalla kuljetuskalustollaan. Haastateltavat kuvailevat litiumioniakkujen merkitystä Schenkerille seuraavasti:

On niillä iso merkitys, koska kuljetamme niitä ja käytämme niitä itse monin tavoin myös jokapäiväisessä työssämme. Käytämme niitä itse esimerkiksi kuormankäsittelylaitteissa, kuten trukeissa ja lavansiirtovaunuissa ja lataamme niitä erityisissä latauspisteissä terminaaleissamme. Niitä on myös erilaisissa muissa laitteissa, kuten erilaisissa viivakoodien ym. -koodien lukulaitteissa, kuten skannereissa, ajoneuvopäätteissä, kännyköissä, kannettavissa tietokoneissa, työkaluissa, mittareissa yms. Näillekin on latauspisteitä. (Haastateltava 1)

...kaikissa ajopäätteissä, terminaalipäätteissä, ja ajotoimistoissa jokaisella taskussa, että ne ovat toki pienempiä ja niiden riski on sitten sinällään pienempi, mutta kyllä ne trukkiakut ja patteripalautukset mitä esimerkiksi mitä kaupoissa näkyy semmoisia punaisia laatikoita [...] niin me kuljetamme niitä kierrätykseen. (Haastateltava 2)

Akkujen merkitys yrityksen tulevaisuudelle tuli esille Haastateltavan 3 haastattelussa:

Tulossa ovat kuljetuskalusto akkuineen, jakeluatot, raskas kalusto, latauspisteitä löytyy näillekin jo jonkin verran eri toimipisteissämme. [...] sähkövarastot akkuineen ja niihin liittyvä toiminta; tästä ei meillä vielä ole ollut kartoituksia, vaan alustavia keskusteluja. [...] Keski-Euroopassa on jopa muutaman tonnin painavia laitteita mitä käytetään kiinteistöissä varavoimalaitteina [...] sitten kun sellaisia alkaa Suomeen tulla, niin niitä on varastoinnissa tai terminaaleissa. (Haastateltava 3)

Akkuihin liittyvät riskit tulivat esille kaikissa haastatteluissa ja näiden merkitys toimintaan tiedostettiin pääasiassa kaikkien haastateltavien osalta. Riskeistä korostuivat erityisesti tulipalovaara ja yleinen akkuihin liittyvien riskien tiedostamisen puute tai välinpitämättömyys. Haastateltavat 1 ja 2 kiteyttivät asian seuraavasti:

Suurin juttu mikä tiedetään, on tämä lämpökarkaaminen. Jos sellainen reaktio siellä käynnistyy niin sitten se alkaa tuottaa paitsi kovaa lämpöä niin sehän muuttuu myös semmoiseksi ilotulitukseksi ja sitten sieltä tulee myrkkyykaasuja ulos... (Haastateltava 1)

Ehkä suurin riski on se, että me emme tunnista, että ne ovat riski. Sitä ei mielletä riskiksi koska kaikilla on litiumakuilla olevia laitteita kotona ja taskussa joka paikassa. [...] Meillä ei onneksi sattunut yhtään vahinkoa tai tapaturmaa vielä litiumakkujen takia. Mä väitän, että kunnioitus sitä tavaraa ja sen vaarallisuutta kohtaan ei ole sillä tasolla, kun sen pitäisi. (Haastateltava 2)

Erityisesti trukkeihin liittyvä törmäysvaara ja sen yhteys akkuonnettomuuden vaaraan tulee esille Haastateltava 2:en haastattelussa:

Törmätään johonkin tai sitten lyödään trukin sarvilla läpi jostain laatikosta missä on akkuja. Niin mitä sitten tapahtuu? (Haastateltava 2)

Haastattelussa kävi myös ilmi, että terminaalisissa ei välttämättä ole aina mahdollista tiedostaa kaikkien litiumioniakkujen sijaintia johtuen muun muassa merkintävapaista akullisista tuotteista ja paketeista, jotka eivät ole suurten litiumioniakkujen tavalla Vaarallisten aineiden kuljetuksen (VAK) lainsäädännön ja merkintäpakon alaisia. Haastateltava 1 toteaa asian seuraavasti:

Eli onhan se ihan selvää, että jos on litiumakkulaatikko ja kun tietää mitä siellä on sisällä ja miten ne voi reagoida, niin siihen pitäisi suhtautua hyvinkin huolellisesti ja varovasti. Sitten voi olla sellainenkin tilanne, että ne ovat merkintävapautettuja, eli niissä ei ole niitä lipukkeita. Ja sitten rahdinkuljettaja kulkee täysin sokkona ja ei voi edes varoa mitään sen kummemmin, niin kyllä se aika vaikeata on. Eli lähdetään siitä, että kun on merkitty, niin suhtaudutaan niihin oikealla tavalla ja riittäväällä huolellisuudella. (Haastateltava 1)

8.2 Työturvallisuuden ja työntekijöiden koulutuksen nykytila

Toisen teema-alueen tarkoitus oli selvittää työntekijöiden koulutuksen nykytila erityisesti työturvallisuusasioihin liittyen. Tämän teeman avulla pyritään selvittämään puitteet koulutusohjelman järjestämiselle. Haastattelun perusteella yrityksellä on jo valmiit perehdytys- ja koulutusprosessit. Haastateltava 2 kuvailee terminaalityöntekijän perehdytystä seuraavanlaisesti:

Se on noin 2 päivää. Ensin ollaan pöydän ääressä ennen kuin laitetaan edes huomiovaatteet ja turvakengät jalkaan ja lähdetään tuotantoon, eli käydään läpi ihan yrityksen perusasioita, miten asioita täällä tehdään ja yrityskulttuuria. Kun käydään läpi sitä perehdytys lomaketta, niin siellä on linkki sitten vaikka meidän

konsernimme koulutukseen, joka käydään. Katsotaan joku video esimerkiksi läpi siinä ja keskustellaan siitä. (Haastateltava 2)

Eli pyritään siihen, että ihminen tietää missä se tekee töitä ja millä tavalla ne pitäisi tehdä ja sitten ne turvallisuusasiat ja sitten kaiken kaikkiaan niin lopussa. (Haastateltava 2)

Schenkerin henkilöstöosasto valvoo haastateltavan 2 mukaan perehdytyksen toteutumista jokaisen työntekijän osalta:

Tätä kyllä vahditaan meidän people-organisaatiossa. Siellä on tietty aikaraja siitä, kun uusi työsopimus on tehty, niin sinulla pitää olla tallennettuna perehdytyslomake meidän järjestelmäämme. (Haastateltava 2)

Haastateltava 2 kertoo terminaalityöntekijöiden turvallisuuskoulutuksen koostuvan muun muassa vaarallisten aineiden tiedostamisen koulutuksesta, työturvallisuuskortista ja hätäensiapukoulutuksesta:

...meillä on toki vaarallisten aineiden koulutus. Vähintään se tiedostava. Työturvallisuuskorttia koulutetaan myös. Sitten on teemaviikkoja ja -kuukausia kuten hätäensiapua, kuormansidontaa ja litiumakkujen käsittelyä meidän trukeissamme ja kuljetettavana tavarana. (Haastateltava 2)

Mikkelin terminaali oli järjestänyt kahteen otteeseen palo- ja poistumisharjoituksen, jossa harjoiteltiin litiumioniakkupaloon reagointia. Harjoituksessa yrityksen henkilöstö käytti muun muassa terminaalituloissa sijaitsevia VAK-varusteita kuten viemärinsulkumattoa ympäristövahingon torjunnassa. Haastateltava 2 kuvailee harjoituksia seuraavasti:

Joo siinä oli tavoitteena nimenomaan se, että tuodaan sitä tietoisuutta siitä, miten toimitaan ja kuinka vaarallista se on meidän omalle porukallemme. Myös pelastuslaitoksen näkökulmasta oli hyvä tulla harjoittelemaan oikeaan ympäristöön tämmöiseen terminaaliin, jossa näitä on, eikä niin että ne ovat jossain omalla harjoituskentällä, vaan tässä ne pääsivät oikeaan ympäristöön. (Haastateltava 2)

Meillä oli siinä samassa meidän oma poistumisharjoitus, jossa testasimme sitä, kuinka nopeasti me saadaan talo tyhjäksi. Sitten me kävimme tuolla meidän kokoontumispaikalla läpi mitä tässä just tapahtui poistumisharjoituksen osalta ja sitten siirryttiin katsomaan, että mitä se pelastuslaitos tekee, kun ne on tekemässä omaa työtään sen palavan akun kanssa. Sitten harjoiteltiin myös ympäristövahingon torjuntaa VAK-varusteilla eli suljettiin esimerkiksi viemärit matoilla, että sinne ei pääse myrkyjä sammutusveden mukana. (Haastateltava 2)

Ekalla kerralla se oli kuormatilassa syttynyt akku. Me tehtiin savukoneella savut terminaaliin ja siitä ei ollut kerrottu kenellekään, että nähdään miten meidän henkilökunta reagoi. Toki työnjohto tiesi. Sieltä tuli heti ilmoitus, että tuolla palaa ja yks lähti juoksemaan jo sammuttimen kanssa sinne. (Haastateltava 2)

8.3 Organisaation vaatimukset koulutukselle

Kolmannen teema-alueen tarkoitus oli selvittää kohdeorganisaation vaatimukset tulevalle koulutusohjelmalle. Haastatteluissa tuli esille erityisesti tiedostavan koulutuksen tarve sekä tilannejohtamisen harjoittelu. Tätä kuvaa muun muassa haastateltavan 2 maininta aikaisemmin järjestettyjen harjoitusten aiheista, joita organisaatio toivoisi sisällytettävän tuleviin harjoituksiin. Hän mainitsee muun muassa työnjohdon tilannejohtamisen sekä hätäpuhelun soittamisen ja pelastuslaitoksen opastamisen harjoittelun tärkeyden.

...vaikka kuinka koulutetaan ja puhutaan asioista, niin se ei koskaan korvaa harjoittelua. Ja sitten se, että kuinka se meidän työnjohto toimii, että saatiin ensinnäkin opastus. Mehän pääsimme harjoittelemaan myös hätäpuhelua. Oli ennalta sovittu kännykkänumero, johon soitettiin se hätäpuhelu. (Haastateltava 2)

Sitten tosiaan se opastaminen. Se on aina jännittävä tilanne, kun tulee vilkkuvalo auto tuolta noin mitä minä sille sanon ja mihin minä sen ohjaan. Viimeisenä sitten nähdään, että mitä se pelastuslaitos tekee ja mitä meidän ei itse kannata mennä tekemään. Sitten pidettiin vielä purkutilaisuus, jossa se pelastuslaitoksen porukka ja me keskustelimme vielä nämä läpi. Ne antoivat palautetta meille mitä me teimme oikein, mitä väärin tai mitä olisi voinut tehdä eri tavalla ja kertoivat yleisesti näistä vaaroista. (Haastateltava 2)

Haastateltavan 2 kanssa keskusteltiin myös koulutusohjelman rajauksista. Hän kiteyttää terminaalityöntekijöiden osalta harjoittelun tarpeet ja tositilanteen toiminnan seuraavasti. Sammutustyö litiumioniakkupalossa nähtiin kuuluvan nimenomaan pelastuslaitoksen vastuualueelle.

Työntekijät harjoittelevat siinä pääasiassa juuri tilan evakuointia ja sitten jos on pelastettavaa, niin pelastetaan. Sitten ennen kaikkea se avun paikalle ohjaaminen ja nopea toiminta nimenomaan siinä, että pitää ruveta toimimaan ripeästi ja heti. [...] ja ehkä se vielä, että litiumakkupalon sammuttaminen ei meidän välineillämme onnistu, että siihen ei pidä tuudittautua, että meillä on vesiposti tuossa ja rupean sammuttamaan. (Haastateltava 2)

8.4 Havainnoinnin tulokset

Opinnäytetyötä varten havainnoitiin Schenker Oy:n Vantaalla sijaitsevan Viinikkalan terminaalin toimintaa. Vierailulla keskityttiin erityisesti suurten teollisuusakkujen sijainnin, käytön ja turvallisuusmekanismien, litiumioniakkuihin liittyvien riskien sekä VAK-varusteiden havainnointiin. Havainnoinnin perusteella terminaalitiloissa on suuria määriä teollisuusakkuja muun muassa trukeissa sekä pienempiä litiumioniakkuja ajoneuvopäätteissä, tietokoneissa ja muissa mobiililaitteissa. Lisäksi pakettitavaran mukana kulkee akkuja ja akullisia laitteita.

Käytössä on akkuja useassa kymmenessä sähköisessä trukissa. Trukit ovat joko liikenteessä tai latauspisteissä latautumassa. Trukeissa on merkinnät litiumioniakuista. (Havainnointi terminaalissa)

Ajoneuvopäätteitä ja muita mobiililaitteita on toimisto- ja terminaalitiloissa runsaasti. (Havainnointi terminaalin toimistotiloissa)

Terminaalien lastausalueella sijaitsee useampi lava, joissa on merkintöjä litiumioniakuista. (Havainnointi terminaalien lastausalueella)

Tiloissa havaittiin haastatteluissa mainittuja ympäristövahinkojen torjuntaan soveltuvia varusteita, joita on mahdollista myös käyttää harjoitustoiminnassa. Varusteita havainnointiin sijaitsevan ainakin trukkiakkujen latauspisteiden yhteydessä. Lisäksi tilat soveltuvat pelastusharjoitusten järjestämiseen suuren ulkoalueen ja tilojen rajausmahdollisuuksien puolesta.

VAK-varusteita on kaapissa latauspisteen vieressä. Kaapissa on viemärinsulkumattoja ja henkilösuojaimia. Latauspisteen yhteydessä ovat myös turvallisuusohjeet trukin kuljettajalle sekä ohjeet latauspisteen turvalliselle käytölle. (Havainnointi latauspisteellä)

Terminaaliiin kuuluu suuri ulkoalue ja sisätilat on rajattavissa osastoihin. (Havainnointi terminaalissa)

Terminaalissa havaittiin lisäksi muutamia myös haastatteluissa mainittuja potentiaalisia onnettomuusriskejä. Nämä liittyivät muun muassa trukkien yhteentörmäykseen sekä muuhun akkujen varomattomaan käsittelyyn.

Kahden litiumioniakkua käyttävän trukin yhteentörmäys on mahdollinen terminaalien sisä- ja ulkotiloissa. (Havainnointi terminaalissa)

Akullisen sähkölaitteen ylläpitäminen tai vioittuminen on mahdollista koko kiinteistössä. (Havainnointi terminaalien toimistotiloissa)

VAK-merkittyjä tai merkitsemättömiä akkuja sisältäviä kolleja saatetaan käsitellä varomattomasti. (Havainnointi terminaalien lastausalueella)

9 Johtopäätökset ja kehitysehdotukset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa luotettavaan lähteisiin perustuva sekä valtakunnallisesti hyödynnettävissä oleva koulutusohjelma litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi ja onnettomuuksiin reagoinnin tehostamiseksi Schenker Oy:n terminaalien. Opinnäytetyössä pyrittiin vastaamaan kysymyksiin, jotka käsittelevät mahdollisia syitä litiumioniakkujen lämpökarkaamiselle ja sitä seuraavalle tulipalolle sekä terminaalien työntekijöiden koulutus- ja harjoitusvaatimuksia liittyen litiumioniakkuihin. Tässä kappaleessa esitellään haastattelujen tuloksiin ja tietoperustaan perustuvat johtopäätökset, jotka toimivat Schenker Oy:lle luotavan koulutusohjelman perustana. Lisäksi esitellään kehitysehdotus koulutusohjelman rakenteesta ja sisällöstä sekä sen käyttöönotosta kohdeorganisaatiossa.

9.1 Syyt litiumioniakun lämpökarkaamiselle

Litiumioniakkukennossa tapahtuvan eksotermisen reaktion eli lämpökarkaamisen syynä on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (2023) sekä Pitkämäen ym. (2017 & 2018) mukaan pääsääntöisesti akun eristekalvon vaurioitumisen aiheuttama sisäinen oikosulku. Eristekalvon rikkoontumisen ja oikosulun aiheuttaja voi olla esimerkiksi akkuun kohdistuva lävistävä osuma, kolhu tai muu ulkoinen vaikutte kuten kohonnut lämpötila. Yhden akkukennon lämpökarkaaminen riittää aiheuttamaan ketjureaktion, joka leviää lähietäisyydellä oleviin kennoihin. Tämän seurauksena on vaikeasti hallittavissa oleva ja itseään ruokkiva tulipalo.

Terminaaliympäristössä on haastatteluiden ja havainnoinnin perusteella tunnistettu useita tietoperustassa mainittuja akun lämpökarkaamisen aiheuttavia riskitekijöitä. Muun muassa litiumioniakuilla varustetut sähkötrukit saattavat törmätessään aiheuttaa kolhun tai jopa lävistävän osuman joko toisen trukin akkuun tai kuljetuksessa olevaan laatikkoon, jossa sijaitsee akkuja tai akkukäyttöisiä laitteita. Myös pienempien sähkölaitteiden kuten terminaaliapäätteiden akut saattavat ylilataamisen tai muun vaurioitumisen yhteydessä syttyä palamaan. Haastatteluissa mainittiin myös yhtenä riskitekijänä yleinen litiumioniakkujen riskien tiedostamisen puute sekä välinpitämättömyys kyseisiin riskeihin liittyen.

9.2 Terminaalin työntekijöiden koulutusvaatimukset liittyen litiumioniakkuihin

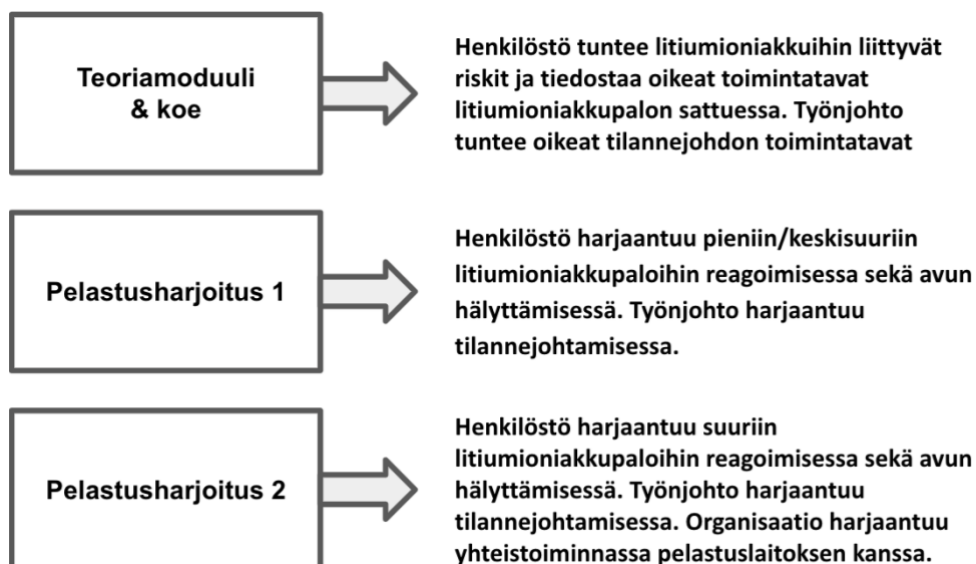
Tanskasen (2021) mainitsemia, lämpökarkaamisreaktiossa syntyviä ja terveydelle erittäin vaarallisia myrkykaasuja, sekä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (2023) mainitsemia litiumioniakun sammuttamisen haasteellisuutta, voidaan pitää perusteltuna syynä keskittää koulutusohjelman reaktiiviset harjoitteet pääasiassa poistumisturvallisuuden ja avun hälyttämisen ympärille. Erityisesti suurissa akkupaloissa tulee sammutustyön kuulua yksinomaan pelastusviranomaisille. Pitkämäen ym. (2018, 14) mainitseman akkujen elektrolyytin aiheuttaman ympäristövaaran vuoksi, voidaan kuitenkin haastatteluissa ja havainnoinnissa mainittuja ympäristövahingon torjuntaan soveltuvia varusteita, kuten viemärinsulkumattoja käyttää ympäristövahinkojen torjunnassa yrityksen työntekijöitä avuksi käyttäen tai asettamalla ne suoraan pelastusviranomaisten käyttöön. Tätä toimintaa tulee kuitenkin harjoitella ja koordinoita tarkkaan pelastusviranomaisten kanssa ja siinä tulee huomioida työntekijöiden osaamistaso ja työturvallisuus.

Perttula (2023) mainitsee tiedotteessaan lämpökarkaamisen ja vaikeasti sammutettavan tulipalon riskin litiumioniakkuja käsiteltäessä. Hänen mukaan akkujen parissa työskentelevien on oltava hyvin perillä akkujen käsittelyn turvallisuudesta ja varautumistoimenpiteistä. Hän mainitsee myös turvallisuusviestinnän ja koulutuksen tärkeyden varmistettaessa työntekijöiden tiedostus akkuihin liittyvien onnettomuuksien ja muiden työturvallisuusriskien ehkäisytaavoista. Lisäksi hän kehottaa tehostamaan yhteistyötä palo- ja pelastusviranomaisten kanssa.

Perttulan edellä mainittu lausunto tukee haastatteluissa esitettyjä ajatuksia yhteistoimintaharjoituksista Schenker Oy:n ja pelastuslaitoksen välillä sekä työntekijöiden määrätietoista kouluttamista litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisyyn ja niihin reagointiin. Haastatteluissa korostui erityisesti tilojen evakuoinnin, opastuksen ja hätäpuhelun soittamisen harjoittelun merkitys. Lisäksi työnjohdon tilannejohtamisen harjoittelun tärkeys korostui haastatteluissa mainituissa aikaisemmissa harjoituksissa.

9.3 Kehitysehdotuksena koulutusohjelma

Tämän työn kehitysehdotuksena on työn tietoperustaan ja tehtyjen haastatteluiden sekä havainnoinnin tuloksiin perustuva koulutusohjelma. Se sisältää teoriaosuuden sekä käytännön harjoittelun osalta evakuoinnin, ensiavun, opastuksen, hätäpuhelun soittamisen, työnjohdon tilannejohtamisen sekä harjoittelun yhteistyössä pelastusviranomaisten kanssa. Koulutusohjelmaa tehdessä on pyydetty palautetta kohdeorganisaation edustajilta ja heidän toiveitaan on otettu huomioon. Koulutusohjelma on jaettu kolmeen moduuliin. Koulutusohjelmaan osallistuvan on suoritettava teoriamoduulin koe hyväksytysti, jonka jälkeen hän voi osallistua pelastusharjoituksiin. Pelastusharjoitus (PH) 1 on organisaation sisäinen harjoitus ja PH 2 pyritään toteuttamaan yhteistoiminnassa pelastusviranomaisten kanssa. Kuviossa 5 on esitelty koulutusohjelman moduulit ja näiden opetustavoitteet. Koulutusohjelma sisältöineen on esitelty kokonaisuudessaan liitteessä 4.



Kuvio 5: Koulutusohjelman moduulit opetustavoitteineen

Ensimmäinen moduuli koostuu tämän työn tietoperustaan perustuvasta teoriamateriaalista ja -kokeesta, joka on läpäistävä hyväksytysti. Moduuli sisältää perustiedot litiumioniakuista ja niihin liittyvistä riskeistä sekä ohjeet onnettomuuksien ennaltaehkäisemiseksi ja niihin reagoimiseksi. Moduulissa on myös erillinen osio työnjohdon ohjeistuksille. Kyseinen moduuli

valikoitui osaksi koulutusohjelmaa johtuen haastatteluissa tunnistetusta tiedostavan koulutuksen tarpeesta. Myös Perttulan (2023) mukaan akkujen parissa työskentelevien on tiedostettava turvalliset akkujen käsittelytavat sekä varautumistoimenpiteet. Tämä koulutuksellisesti saatava hyöty aiheen teoriapuolen osaamisesta ennen käytännön harjoitteluun siirtymistä, oli avainasemassa teorialuokan valinnassa ensimmäiseksi moduuliksi.

Toinen moduuli eli pelastusharjoitus 1 on koko terminaaliorganisaation pelastusharjoitus. Harjoituksissa harjoitellaan pieniin ja keskisuuriin litiumioniakkupaloihin reagoimista. Reagoinnin olennaisina osina ovat fyysisen ja terveydellisen haitan minimointi, henkilöstön turvaaminen, ensiaputoimenpiteet sekä erityisesti työnjohdon tilannejohtaminen. Kyseinen moduuli valikoitui tarpeesta tuottaa nousujohteinen koulutusohjelma, jossa käytännön harjoittelu aloitetaan arkikäytössä olevien akkujen vikatiloista jotka eivät välttämättä vaadi laajamittaista tilojen evakuoitua tai pelastusviranomaisten väliintuloa. Pitkämäen ym. (2018, 9) mainitsevat pienet akkupalot voivat levitä herkästi, joten ennaltaehkäisevä ja reagoiva harjoittelu myös pienten akkupalojen suhteen on tärkeää. Yhdistämällä ensiapuharjoitteet kyseiseen moduuliin saadaan samalla harjoitukseen käytettävästä ajasta mahdollisimman paljon hyötyä.

Pelastusharjoitus 2 muodostaa koulutusohjelman kolmannen ja viimeisen moduulin. Harjoitus on luonteeltaan koko terminaaliorganisaation pelastusharjoitus, jossa harjoitellaan suuriin litiumioniakkupaloihin varautumista sekä harjoitellaan mahdollisuuksien mukaan yhteistoimintaa pelastusviranomaisten kanssa. Harjoitus voidaan toteuttaa myös sisäisesti. Kolmannen moduulin sisältö perustuu tarpeeseen varautua Schenker Oy:n tiloissa esiintyviin suuriin litiumioniakkupaloihin, joita saattaa esiintyä muun muassa Pitkämäki ym. (2018, 9) mainitseman sekä haastatteluissa ja havainnoinnissa todetun teollisen käsittelyn aiheuttaman onnettomuusriskin vuoksi. Pelastusviranomaisten kanssa harjoittelun tarve perustuu Schenker Oy:n edustajien haastatteluissa esittämään tahtoon sekä Perttulan (2023) suositukseen yhteistyöstä pelastusviranomaisten kanssa. Yhteistoimintaharjoituksen hyödyt eivät koske pelkästään Schenkeriä. Pelastusviranomaisten saadessa kehittää toimintakykyään autenttisessa ympäristössä, hyötyy harjoittelusta myös muu yhteiskunta.

Koulutusohjelman koko ja ulottuvuus on tietoisesti rajoitettu kolmeen moduuliin, sillä se on ensimmäinen laatuaan kyseisessä organisaatiossa. Tiiviillä koulutusohjelmalla saadaan testattua ohjelman toimivuutta ja soveltuvuutta organisaatiossa rajatuilla resursseilla. Tiivistä ohjelmaa on lisäksi helpompi muokata organisaation muuttuviin tarpeisiin ja laajempaan käyttöön.

9.4 Loppusanat

Litiumioniakut ovat ajankohtainen aihe, sillä ne tulevat yhä keskeisemmäksi voimanlähteeksi langattoman teknologian kehittyessä ja siirryttäessä pois fossiilisista polttoaineista. Litiumioniakut ovat pääasiassa turvallisia mutta niissä piilee riskejä jotka voivat toteutuessaan olla katastrofaalisia. Tämän kehitystyön tarkoituksena on tuoda esille näitä riskejä ja opastaa niihin varautumisessa sekä niiden ennaltaehkäisyssä. Voidaan todeta, että pelkästään jo riskien tiedostaminen on varautumisen ensiaskel. Yhteisellä harjoittelulla puolestaan kehitytään organisaationa ja varmistetaan siitä, että organisaation henkilöstö osaa toimia poikkeustilanteissa turvallisesti.

Työn luotettavuutta arvioitaessa voidaan todeta että tämä opinnäytetyö on tietoperustan, haastatteluiden ja havainnoinnin suhteen looginen ja johdonmukainen kokonaisuus, jonka vaiheet on kuvattu yksityiskohtaisesti. Tämän opinnäytetyön tietoperusta koostuu useista asiantuntijoiden ja tutkijoiden tuottamista, neutraaleista ja laadukkaista lähteistä. Lisäksi työssä on käytetty journalistisesti luotettavaksi ja neutraaliksi tunnistettuja medialähteitä. Tässä työssä haastatellut henkilöt ovat kohdeorganisaation turvallisuuden ja prosessien erityispiirteet tuntevia asiantuntijoita, joiden haastattelut on suoritettu tavalla joka on mahdollistanut haastateltavien vastausten kriittisen tarkastelun ja analysoinnin. Havainnointi on suoritettu autenttisessa terminaaliympäristössä Schenker Oy:n Suomen suurimmassa toimipisteessä.

Tämä opinnäytetyö ja sen tulokset ovat siirrettävissä myös muihin samankaltaisiin tuotanto- ja varastoympäristöihin. Organisaatiot jotka käsittelevät suuria määriä litiumioniakkuja, voivat soveltaa tätä opinnäytetyötä ja sen tuloksia omissa toimintaympäristöissään. Jatkotutkimusaiheiksi tälle opinnäytetyölle sopisivat esimerkiksi koulutusohjelman käyttöönoton vaikutukset akkuonnettomuuksien määrään sekä työntekijöiden toimintaan pelastusharjoituksissa.

Lähteet

Sähköiset

Allen, J. 2020. Review of polymers in the prevention of thermal runaway in lithium-ion batteries. Viitattu 12.3.2023.

https://www.researchgate.net/publication/340469570_Review_of_polymers_in_the_prevention_of_thermal_runaway_in_lithium-ion_batteries

Battery university 2023a. How do lithium batteries work? Viitattu 1.2.2023

<https://batteryuniversity.com/article/bu-204-how-do-lithium-batteries-work>

Battery university 2023b. Understanding Lithium-Ion. Viitattu 1.2.2023

<https://batteryuniversity.com/article/understanding-lithium-ion>

Hyvärinen, M., Suoninen, E. & Vuori, J. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 10.2.2023

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/>

Hyväri, S. & Vuokila-Oikkonen, P. 2020. Tutkimus- ja kehittämistyön luotettavuus. Viitattu 19.4.2023 <https://libguides.diak.fi/c.php?g=670543&p=4760642#kvali>

Kauppalehti 2023. Yrityshaku - Schenker Oy. Viitattu 2.2.2023

<https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/schenker+oy/0124239-4>

Logistiikan maailma 2023. Logistiikkakeskuksen termit ja käsitteet. Viitattu 22.2.2023.

<https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/logistiikkakeskus/termit/>

Motiva 2023. Akut. Viitattu 13.2.2023

https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajo_neuvotekniikka/akut

Perttula, P. 2023 Litiumioniakkuja on kaikilla työpaikoilla, mutta turvallisuusriskeihin ei olla varauduttu tarpeeksi. Työterveyslaitos 7.3.2023. Viitattu 1.5.2023.

<https://www.ttl.fi/ajankohtaista/tiedote/litiumioniakkuja-on-kaikilla-tyopaikoilla-mutta-turvallisuusriskeihin-ei-olla-varauduttu-tarpeeksi>

Pitkämäki, A., Bröckl, M. & Raivio, T. 2018. Opas teollisuuden litiumioniakkujen turvalliseen käyttöön. Viitattu 21.2.2023.

<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

Pitkämäki, A., Kontiokari, V., Päällysaho M., Bröckl, M. & Raivio, T. 2017. Selvitys Li-akkujen turvallisuustekijöistä. Viitattu 21.2.2023.

<https://tukes.fi/documents/5470659/6372809/Selvitys+litiumioniakkujen+turvallisuustekij%C3%B6ist%C3%A4/4eaac0e7-a824-42f8-b560-072f84d3e7ad/Selvitys+litiumioniakkujen+turvallisuustekij%C3%B6ist%C3%A4.pdf>

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006a. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 10.2.2023.

https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3.html

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006b. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto Viitattu 10.2.2023.

<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/viittausohje.html>

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006c. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 22.3.2023.

https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L7_3_4.html

Schenker Oy 2023a. Tietoa meistä. Viitattu 2.2.2023 <https://www.dbschenker.com/fi-fi/tietoja-meista>

Schenker Oy 2023b. Terminaalit. Viitattu 2.2.2023 <https://www.dbschenker.com/fi-fi/terminaalit-478382>

Tanskanen, J. 2021. Varustamot havahtuivat sähköautojen akkupalojen riskeihin laivoilla - koko autokansi voi pettää, jos palo ehtii laajaksi. Yle 5.7.2021. Viitattu 13.4.2023

<https://yle.fi/a/3-11975590>

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta: näkökulmia kehittämisprosessiin, osallistamiseen ja tiedontuotantoon. Viitattu 13.4.2023.

https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/100802/Toikko_Rantanen_Tutkimuksellinen_kehittamistoiminta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tuomi, S., Kunnela, A. & Luukkonen, A. 2022. Opinnäytetyön ohjaajan käsikirja - Thesis Tutor Handbook. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 21.2.2023.

<https://oppimateriaalit.jamk.fi/yamk-kasikirja/tyoelaman-tutkiva-kehittamistoiminta/>

Turvallisuus ja kemikaalivirasto 2023. Litiumakkujen elinkaari. Viitattu 10.2.2023

<https://tukes.fi/litiumioniakkujen-elinkaari#39235362>

Yong, W., Jingpeng, Z., Juanjuan, X., Xiwen, K., Guanchuang, L. 2021. LiFePO₄/C composites with high compaction density as cathode materials for lithium-ion batteries with high volumetric energy density. Viitattu 12.3.2023.

https://www.researchgate.net/publication/354161175_LiFePO4C_composites_with_high_compaction_density_as_cathode_materials_for_lithium-ion_batteries_with_high_volumetric_energy_density

Zhang, J., Zhang, L. & Wang, Z. 2018. An Overview on Thermal Safety Issues of Lithium-ion Batteries for Electric Vehicle Application. IEE access May 2018. 23848-23863. Viitattu 12.3.2023.

https://www.researchgate.net/publication/324929541_An_Overview_on_Thermal_Safety_Issues_of_Lithium-ion_Batteries_for_Electric_Vehicle_Application/download

Julkaisemattomat

Haastateltava 1

Haastateltava 2

Haastateltava 3

Kuviot

Kuvio 1: Litiumioniakun toimintaperiaate	9
Kuvio 2: 18650-tyyppin litiumioniakkukennon rakenne.....	10
Kuvio 3 Lämpökarkaamisen sykli	12
Kuvio 4: Opinnäytetyöprosessin aikataulu	18
Kuvio 5: Koulutusohjelman moduulit opetustavoitteineen	26

Liitteet

Liite 1: Haastattelun saatekirje	34
Liite 2: Haastattelukysymykset	35
Liite 3: Havainnointiluettelo	36
Liite 4: Koulutusohjelma	37

Liite 1: Haastattelun saatekirje

Hei,

Olen Laurea-ammattikorkeakoulun turvallisuuden ja riskienhallinnan tradenomiopiskelija ja teen opinnäytetyönä Schenker Oy:lle koulutusohjelmaa litiumioniakkupaloihin reagointiin ja niiden ennaltaehkäisyyn. Opinnäytetyölle on saatu lupa Schenker Oy:ltä ja Laurea-ammattikorkeakoululta.

Ymmärtääkseni olette perehtyneet tutkittavaan teemaan tai se vaikuttaa työntekoonne merkittävästi. Mikäli annatte suostumuksen, haastattelin teitä mielelläni aiheesta. Osallistuminen haastatteluun on täysin vapaaehtoista ja antamanne vastaukset käsitellään nimettöminä ja luottamuksellisesti. Opinnäytetyössä teihin tullaan viittaamaan haastateltavanimikkeellä. Haastattelut tallennetaan yksityiselle laitteelle sekä video- että äänimuodossa ja tallenteet tuhoetaan niiden analysoinnin jälkeen. Haastatteluiden tulokset julkaistaan em. periaatteita noudattaen osana opinnäytetyötäni osoitteessa Theseus.fi

Haastattelut pyritään toteuttamaan virka-aikana Microsoft Teams-alustalla tai paikan päällä. Mikäli suostutte haastatteluun, pyydän teitä olemaan yhteydessä allekirjoittaneeseen aikataulun sopimiseksi.

Ystävällisin terveisin,

Henri Bürkel

henri.burkel@student.laurea.fi

Liite 2: Haastattelukysymykset

1. Mikä merkitys litiumioniakuilla on Schenker Oy:lle?
2. Mitä riskejä ja vaaratekijöitä liittyy litiumioniakkuihin Schenkerin toimintaympäristössä?
3. Miten akkujen ja akullisten tuotteiden käsittely eroaa teillä muiden VAK-tuotteiden käsittelystä?
4. Onko akkutuotteita mistä ei tarvita VAK-tietoa? Jos on, millä perusteella VAK-määrittely tehdään akkujen ja akullisten tuotteiden tapauksessa?
5. Minkälaisia ohjeistuksia teillä on vioittuneiden ja käytöstä poistettujen akkujen käsittelyyn ja säilytykseen?
6. Minkälaisia koulutusohjelmia Schenkerillä on työntekijöille? Minkälaisiin menetelmiin koulutus perustuu?
7. Mitkä asiat olivat aikaisempien litiumioniakkupaloharjoituksen tavoitteena?
8. Miten kyseinen harjoitus ja skenaario järjestettiin ja päästiinkö harjoituksen tavoitteisiin?
9. Miten toivot, että harjoitustoimintaa voitaisiin kehittää jatkossa?

Liite 3: Havainnointiluettelo

Akkujen sijainnit ja määrä sekä terminaalien yleisilme

- Käytössä on akkuja useassa kymmenessä sähköisessä trukissa. Trukit ovat joko liikenteessä tai latauspisteissä latautumassa. Trukeissa on merkinnät litiumioniakuista.
- Ajoneuvopäätteitä ja muita mobiililaitteita on toimisto- ja terminaalitiloissa runsaasti.
- Terminaalien lastausalueella sijaitsee useampi lava, joissa on merkintöjä litiumioniakuista.
- Terminaaliin kuuluu suuri ulkoalue ja sisätilat on rajattavissa osastoihin.

Havaitut potentiaaliset litiumioniakkuihin liittyvät onnettomuusriskit

- Kahden litiumioniakkua käyttävän trukin yhteentörmäys on mahdollinen terminaalien sisä- ja ulkotiloissa
- Akullisen sähkölaitteen ylilatautuminen tai vioittuminen on mahdollista koko kiinteistössä.
- VAK-merkittyä tai merkitsemätöntä akkuja sisältävää kolia saatetaan käsitellä varomattomasti.

Ympäristövahingon torjuntaan, ensiapuun ja sammutukseen sopivien varusteiden määrä ja sijainti

- VAK-varusteita on kaapissa trukin latauspisteen vieressä. Kaapissa on viemärinsulkumattoja ja henkilösuojaimia. Latauspisteen yhteydessä ovat myös turvallisuusohjeet trukin kuljettajalle sekä ohjeet latauspisteen turvalliselle käytölle.
- Ensiapukaappeja sijaitsee tasaisin välimatkoin terminaalissa ja toimistotiloissa.
- Kiinteistössä on palohälytintjärjestelmä sekä alkusammutusvälineitä tasaisin välimatkoin.

Liite 4: Koulutusohjelma



Koulutusohjelma litiumioniakkupalojen ennaltaehkäisemiseksi

2023

Henri Bürkel

Johdanto

Schenker Oy:n terminaalien kautta liikkuu ja niissä säilytetään suuria määriä litiumioniakkuja niin rahdin seassa, kuin myös sähköisissä työvälineissä ja ajoneuvoissa. Tämän koulutusohjelman tarkoituksena on toimia perustana työntekijöiden koulutukselle litiumioniakkuonnettomuuksien ennaltaehkäisemiseksi. Lisäksi ohjelma asettaa kehykset litiumioniakkuonnettomuuksiin reagoimisen harjoittelulle organisaation sisällä ja yhteistoiminnassa pelastusviranomaisten kanssa. Tavoitteena on, että Schenker Oy:n terminaaleissa työskentelevät henkilöt tiedostavat koulutusohjelman käytyään litiumioniakkuihin liittyvät vaarat, tavat ennaltaehkäistä mahdollisia onnettomuuksia sekä oikeat toimintatavat mahdollisen onnettomuuden sattuessa. Ohjelman tavoitteena on myös antaa perusteet työnjohdolle toiminnan johtamiseen akkuonnettomuuksissa pelastusviranomaisten saapumiseen asti. Tavoitteena on, että kyseistä koulutusohjelmaa voidaan soveltaa kaikissa Schenker Oy:n Suomen terminaaleissa ja yhteistoiminnassa pelastusviranomaisten kanssa.

Koulutusohjelmassa akku-termillä viitataan nimenomaan litiumioniakkuun. Koulutusohjelma käsittelee litiumioniakkua ainoana akkutyypinä, eikä ohjelmaa tule soveltaa sellaisenaan muihin akkutyyppeihin liittyen.

Koulutusohjelman rakenne

Koulutusohjelma koostuu yhdestä teoriamoduulista ja kahdesta käytännön harjoituksesta. Teoriamoduuli voidaan suorittaa joko sähköisesti itseopiskeluna tai sitä varta vasten järjestetyssä tilaisuudessa. Teoriamoduuli sisältää monivalinta-lopputestin, joka on suoritettava hyväksytysti. Käytännön harjoitusten toteutus voidaan mukauttaa terminaalikohtaisesti. Arviointikriteerit pysyvät kuitenkin samana terminaalista riippumatta vertailukelpoisuuden varmistamiseksi.

Teoriamoduuli

Tavoite:

Henkilöstö tuntee litiumioniakkuihin liittyvät riskit ja tiedostaa oikeat toimintatavat akkupalon sattuessa. Työnjohto tuntee oikeat tilannejohdon toimintatavat.

Toteutus: Powerpoint/PDF/yrityksen oma koulutusportaali

Sisällys/aihealueet:

- Litiumioniakun toimintaperiaate
- Litiumioniakkuihin liittyvät riskit
- Litiumioniakkujen turvallinen käsittely
- Litiumioniakkupaloon reagointi (evakuointi, tiedon kulku, sammutus ja VAK-varusteiden käyttö,)
- Työnjohdon ohjeet (Tilannejohtaminen, avun hälyttäminen, tilannetiedon jakaminen & avun paikalle ohjaaminen)
- Opitun testaaminen monivalintatehtävällä.

Pelastusharjoitus 1 (PH1)

Tavoite:

Henkilöstö harjaantuu pieniin/keskisuuriin litiumioniakkupaloihin reagoimisessa sekä avun hälyttämisessä. Työnjohto harjaantuu tilannejohtamisessa.

Toteutus:

PH1 toteutetaan skenaarioharjoituksena terminaalin sisä- tai ulkotiloissa. Harjoituksesta tiedotetaan etukäteen. Harjoitukseen osallistuu min. 2kpl tarkkailijoita (1 tarkkailee tilannetta, 1 tarkkailee työnjohdon toimintaa) Mahdollinen soitto hätänumeroon suoritetaan "roolipelillä" (1hlö esittää hätäkeskuspäivystäjää)

Tilanne:

- Palava litiumioniakkukäyttöinen pieni/keskikokoinen sähkölaitte esim. terminaalipääte, älypuhelin, kannettava tietokone yms. Akku voi olla irtonaisena toimistotilassa tai paketoituna terminaalissa. Savukonetta tai muuta vastaavaa voidaan käyttää tehosteena, mikäli tilat sallivat.
- Potilas tapahtuman läheisyydessä (lievä palovamma tai hengitysvaikeuksia).

Esimerkkitalanne:

“Kannettava tietokone on pudonnut lattialle ja akku on syttynyt palamaan. Palo tuottaa runsaasti myrkyllisiä palokaasuja mutta ei näkyviä liekkejä. Toimistohenkilökunnan jäsen on saanut palokaasuista astmakohtauksen.”

Palaute:

Yleinen palaute annetaan kootusti osallistuvalla henkilöstöllä harjoituksen jälkeen. Työnjohdolle annetaan erillinen palaute.

Arvioitavat kohdat (PH1):

- Tapahtumaan reagointi
- Tiedon kulku työnjohdolle
- Henkilöstön evakuointi
- Vammapotilaan evakuointi ja ensiapu
- Avun hälyttäminen ja opastus
- Työnjohdon toiminta, tilannejohtaminen

Pelastusharjoitus 2 (PH2)

Tavoite:

Henkilöstö harjaantuu suuriin litiumioniakkupaloihin reagoimisessa sekä avun hälyttämisessä. Työnjohto harjaantuu tilannejohtamisessa. Organisaatio harjaantuu yhteistoiminnassa pelastuslaitoksen kanssa (toteutetaan mahdollisuuksien mukaan)

Toteutus:

PH2 toteutetaan skenaarioharjoituksena terminaalin sisä- tai ulkotiloissa. Harjoituksesta tiedotetaan etukäteen. Pyritään järjestämään mahdollisuus pelastuslaitokselle harjoitella sammutusta ulkotiloissa. Yritys harjoittelee VAK-varusteiden käyttöä mm. sammutusveden ympäristöön leviämisen estämistä. Harjoitukseen osallistuu min. 3kpl tarkkailijoita (1 tarkkailee onnettomuustilannetta, 1 tarkkailee

työnjohdon toimintaa ja 1 pelastuslaitoksen tarkkailija tarkkailee yhteistoiminnan sujuvuutta). Soitto hätänumeroon suoritetaan "roolipelillä", ellei muuta sovita pelastuslaitoksen kanssa. (1hlö, esim. pelastuslaitoksen edustaja esittää hätäkeskuspäivystäjää)

Tilanne:

- Palava akkukäyttöinen trukki / kolli / sähköauto tai muu suuri akkukäyttöinen laite. (savukonetta tai muuta vastaavaa voidaan käyttää tehosteena, mikäli tilat sallivat)
- 1 tai useampi vammapotilas palavan kohteen läheisyydessä (eritasoisia palovammoja & hengitysvaikeuksia & tajuttomuutta)

Esimerkkutilanne:

“Kaksi trukkia on törmännyt yhteen terminaalihallissa. Trukki on lävistänyt toisen trugin akun ja aiheuttanut akun syttymisen. Palo tuottaa liekkejä ja runsaasti myrkyllisiä savukaasuja. Molemmat trugin kuljettajat ovat saaneet 2–3. asteen palovammoja ja heillä on palokaasuista johtuvia hengitysvaikeuksia”

Palaute:

Yleinen palaute annetaan kootusti osallistuvalla henkilöstöllä harjoituksen jälkeen. Työnjohdolle annetaan erillinen palaute. Mahdollisuuksien mukaan pelastuslaitoksen edustaja osallistuu palautteen antamiseen

Arvioitavat kohdat (PH2):

- Tapahtumaan reagointi
- Tiedon kulku työnjohdolle
- Henkilöstön evakuointi
- Vammapotilaan evakuointi ja ensiapu
- Avun hälyttäminen ja opastus
- Yhteistoiminta pelastuslaitoksen kanssa
- Työnjohdon toiminta, tilannejohtaminen

Teoriamoduulin aineisto

Litiumioniakut

Litiumioniakkuja on kotitalouksien ja teollisuuden laitteissa kasvavissa määrin. Langattomissa sähkölaitteissa käytetään nykyään lähes poikkeuksetta litiumioniakkuja. Myös monia tavallisesti polttoainekäyttöisiä moottoroituja ajoneuvoja, työkaluja ja laitteita sähköistetään vauhdilla fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä. Litiumioniakkuihin liittyvät riskit jäävät kuitenkin usein valtaväestöltä ja jopa teollisuuden ammattilaisilta huomioimatta. Julkisuudessa olleet tapaukset muun muassa laivoilla tapahtuneista sähköautojen tulipaloista ovat lisänneet osaltaan tietoisuutta.

Litiumioniakku koostuu kahdesta elektrodista eli anodista, katodista. Elektrodien välissä sijaitsee elektrodien kontaktin ja sisäisen oikosulun estävä eristekalvo. Anodin ja katodin välissä sijaitsee elektrolyytti, joka litiumioniakkujen tapauksessa koostuu nestemäisestä litiumsuolasta ja karbonaattieristä. Nämä osat suljetaan tiiviiseen pakkaukseen, jonka materiaali ja muoto riippuu akun käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi mobiililaitteissa käytetään yleisesti litteää pussimaista pakkausta, kun taas muun muassa sähköisissä ajoneuvoissa käytettävissä 18650-tyyppin akkukennoissa käytetään iskunkestävyydeltään vahvempaa teräksistä sylinteriä.

Litiumioniakkujen vaarat

Lämpökarkaaminen on litiumioniakkukennon sisällä tapahtuva kemiallinen reaktio, jossa akun elektrolyytti kaasuuntuu ja laajenee. Elektrolyytti voi kaasuuntua muun muassa mekaanisen iskun ja akun lämpenemisen seurauksena. Lämpeneminen voi johtua esimerkiksi akun ylilataamisesta tai oikosulusta. Akkuun kohdistuva kolhaisu tai lävistävä osuma saattaa puhkaista akun sisäisen eristekalvon, aiheuttaen oikosulun. Purkautuessaan akusta, kaasuuntunut elektrolyytti voi syttyä palamaan, olosuhteitten mukaan jopa räjähdysmäisesti. Syttynyt kenno aiheuttaa lämpövaikutuksellaan vaikeasti hallittavissa olevan ketjureaktion, jossa lämpökarkaamisreaktio laajenee viereisiin akkukennoihin.

Litiumioniakkupalo on erittäin vaikeasti hallittavissa johtuen sen itseään ruokkivista ominaisuuksista. Litiumioniakku tuottaa palaessaan itse kaikkia tulipalon edellytyksiä, lämpöä, happea ja palavaa materiaalia. Tämän takia perinteiset tukahduttavat sammutusmenetelmät eivät tehoa paloon, vaan palavaa akkua on kyettävä viilentämään esimerkiksi vedellä. Haasteen palon sammuttamiseen tuo akun kuori, jonka läpi on vaikea saada tarpeeksi suuri määrä vettä akkukennojen väliin. Lämpökarkaamisessa kaasuuntunut elektrolyytti ja muut palaessa syntyvät kemikaalit ovat erittäin haitallisia terveydelle. Reaktiossa syntyvät palokaasut, kuten vetyfluoridi voi aiheuttaa hengitystie-, iho- ja kudonvaurioita. Pahimmassa tapauksessa kaasujen hengittäminen voi aiheuttaa sydänpysähdyksen. Akkupalot ovat erityisen tuhoivoimaisia ahtaissa ja vaikeasti saavutettavissa tiloissa.

Akkujen turvallinen käsittely

Litiumioniakut ovat oikein käytettynä turvallinen voimanlähde. Akut ovat turvallisia, kun ne on valmistettu laadukkaasti, niitä ei vaurioiteta ja niitä säilytetään oikein. Litiumioniakut muodostavat tulipalovaaran vaurioituessaan tai joutuessaan oikosulkuun. Myös ulkoinen lämmönlähde saattaa aiheuttaa akun lämpökarkaamisen. Akun väärinkäyttö, ylilataaminen ja epäsuotuisat säilytysmenetelmät saattavat niin ikään aiheuttaa tulipalovaaran.

Akkuja tulee säilyttää ja käsitellä koostaan riippumatta niiden vaatimalla varovaisuudella. Pienikin akku voi syttyessään aiheuttaa merkittäviä terveyteen ja materiaaliin kohdistuvaa vaaraa. Akut tulee pitää suojattuna ulkoisilta vaikutteilta (mm. trukkiakun metallikuori tai irtonaisten akkujen huolellinen pakkaaminen.) Erityisesti irtonaisten akkujen kanssa tulee varmistua huolellisesta pakkaamisesta, jotta akut eivät altistu iskuille tai oikosululle. Akkujen navat tulee olla peitettynä sähköteipillä, kun niitä säilytetään irtonaisena esimerkiksi kierrätysastiassa. Akut voivat vaurioitua käyttö- tai säilytyslämpötilan ylittäessä n. 50 celsiusastetta. Ulkopuoliset lämmönlähteet kuten liekit, hitsauslaitteet, lämpöpatterit tai kuumailmapuhaltimet voivat vaurioittaa akkua eikä akkuja saa täten altistaa em. laitteiden lämpövaikutukselle. Akkujen säilytys tyhjänä saattaa niin ikään altistaa akun vioittumiselle.

Akkujen käsittelystä rahtiliikenteessä säädetään erikseen laissa vaarallisten aineiden kuljetuksesta 719/1994.

Toimenpiteet akkupalotilanteessa

Pienet akkupalot tai paloriskiä lisäävät toimintahäiriöt. (terminaalipäätteet, älylaitteet, kannettavat tietokoneet yms.)

- Sulje kuumeneva, turvonnut tai savuttava akku/laite vaurioituneen akun kuljetuslaatikkoon* mikäli mahdollista (ks. Materiaalihankintaehdotukset).
- Vältä hengittämästä palokaasuja.
- Tyhjennä alue ihmisistä, jossa on palaneen käryä ja savua.
- Ilmoita tapahtuneesta työnjohdolle.
- Kun akku/laite on saatu laatikkoon, tulee suljettu laatikko kuljettaa ulos. Älä missään tapauksessa käytä hissiä! Anna akun viilentyä täysin ennen laatikon avaamista.
- Tuuleta alue. Alueelle saa palata vasta kun palokaasut ovat hälvenneet.
- Mikäli akku syttyy palamaan eikä sitä voida käsin siirtää laatikkoon, voidaan siihen käyttää AVD-sammutinta.**
- Soita hätänumeroon (112) mikäli akku ei sammu toimenpiteistä huolimatta eikä sitä saada kuljetettua ulos.
- Mikäli palohälytinjärjestelmä hälyttää, toimi pelastussuunnitelman mukaisesti.

Suuret akkupalot (trukkiakut, sähköautot, kollit yms.)

- Evakuoi alue välittömästi, akkupalossa syntyvät palokaasut ovat erittäin myrkyllisiä.
- Pelasta tarvittaessa alueella olevat henkilöt.
- Ilmoita työnjohdolle ja soita 112 (mikä palaa ja missä?)
- Ohjaa pelastuslaitos paikalle.
- Noudata pelastuslaitoksen käskyjä ja ohjeita.
- Valmistaudu vaarallisten aineiden torjuntakaluston käyttöön mm. sammutusveden viemäristöön pääsyn estämisessä. Ilmoita pelastuslaitokselle tästä valmiudesta.

Työnjohdon ohjeet

Pienet akkupalot tai paloriskiä lisäävät toimintahäiriöt. (terminaalipäätteet, älylaitteet, kannettavat tietokoneet yms.)

- Kun saat ilmoituksen pienestä akkupalosta, pyri ensisijaisesti varmistamaan palokaasujen vaikutusalueen evakuointi. Älä altista itseäsi palokaasuille.
- Mikäli akku on saatu ulos toimitiloista, huolehdi että akkua ei jätetä valvomatta. (akku saattaa syttyä uudelleen)
- Huolehdi että palokaasujen vaikutusalueelle ei pääse ihmisiä ennen, kun palokaasut ovat haihtuneet.
- Mikäli palohälytinjärjestelmä hälyttää, toimi pelastussuunnitelman mukaisesti.

Suuret akkupalot (trukkiakut, sähköautot, kollit yms.)

- Selvitä mitä on tapahtunut ja aloita pelastussuunnitelman mukainen toiminta.
- Anna evakuointikäsky tavalla, jolla tavoitat suurimman osan henkilöstöstä. (palohälytinpainike, radiopuhelin, megafoni yms.)
- Varmista mahdollisuuksien mukaan, että tilat ja lähialue evakuoidaan täysin. Erityisesti palokaasujen vaikutusalue tulee tyhjentää. Älä altista itseäsi palokaasuille.
- Varmista että sinä tai joku muu työnjohdosta soittaa hätänumeroon.
- Järjestä opastus pelastusviranomaisia varten.
- Varmista että mahdolliset loukkaantuneet saavat ensiapua.
- Pelastusviranomaisten saavuttua, ota yhteys pelastusryhmän johtajaan (valkoinen kypärä). Ilmoita omasta vaarallisten aineiden torjuntakyvystä ja muusta tarjolla olevasta avusta.

***AVD-sammutin**

AVD on nesteytettyä kuumuutta kestävää mineraalia (vermikuliittia), jolla voidaan suihkutettuna peittää palava sähkölaite. Palavan laitteen tai akun peittäminen AVD:lla voi antaa lisää aikaa mm. evakuointitoimenpiteille. AVD-sammutin tulee sijoittaa paikkaan, jossa on paljon pienelektroniikkaa ja täten pienikokoisia akkuja (esim. toimistot ja akkujen kierrätyspisteet)

****Vaurioituneen akun kuljetuslaatikko**

Ilmatiiviisti suljettava palonkestävä laatikko, johon mahtuu kannettavat tietokoneet ja sitä pienemmät sähkölaitteet. Turvonnut, savuttava, äkillisesti kuumeneva tai muuten vaurioitunut akullinen sähkölaite voidaan sulkea em. laatikkoon ja viedä turvallisesti ulos toimitiloista.

Teoriakokeen kysymykset & vastaukset

Suorittaja valitsee paikkansa pitävät väitteet. Koe hyväksytään, mikäli kaikki vastaukset ovat oikein. Oikein = O, Väärin = V.

1. Litiumioniakut ovat

- a. oikein käsiteltynä turvallisia voimanlähteitä. O
- b. harvinainen akkutyyppi. V
- c. tietyissä tapauksissa VAK-lainsäädännön alaisia. O
- d. aina varustettu kovalla kuorella. V

2. Akun lämpökarkaamisen voi aiheuttaa

- a. ylilataaminen. O
- b. mekaaninen isku. O
- c. liika lämpeneminen. O
- d. oikosulku. O

3. Akkupalo on erityisen vaarallinen koska

- a. akkupaloa ei voi haistaa. V
- b. akkupaloa ei voi sammuttaa tukahduttamalla. O
- c. akkupalossa syntyvät kaasut ovat erittäin vaarallisia jo pienissä pitoisuuksissa. O
- d. akkupalo leviää herkästi viereisiin akkuihin. O

4. Kun havaitsen savuttavan/palavan akun

- a. suljen akun ilmatiiviiseen laatikkoon ja jatkan töitä. V
- b. ilmoitan asiasta työnjohdolle ja varmistan omani ja tilassa olevien turvallisuuden. O
- c. vien akun hissillä ulos, mikäli tämä on nopein reitti. V
- d. soitan hätänumeroon, mikäli en pysty sammuttamaan akkua tai viemään sitä ulos. O

5. Kun hätänumeroon on soitettu

- a. varmistan että pelastusviranomaisille on järjestetty opastus onnettomuuspaikalle. O
- b. voin palata töihin ilman eri lupaa sillä akkupalon vaikutus on vain paikallinen. V
- c. varmistan osaltani, ettei palon vaikutusalueelle pääse sivullisia. O
- d. valmistaudun VAK-varusteiden käyttöön ja tukemaan pelastuslaitosta. O

Arviointilomake PH1 & PH2

Harjoituksen tarkkailija täyttää tämän lomakkeen sähköisesti omien vastualueidensa osalta.

Arvioitavat kohdat arvioidaan asteikolla 1 (huono) - 4 (erinomainen). Taulukkoon merkitään arvosanat ja selostuskohtaan kirjoitetaan tapahtumien kulku ja perustelut arvosanoille. Kuvien ottaminen harjoituksessa ja näiden lomakkeeseen liittäminen kuvateksteineen on toivottua.

Esitiedot:

Harjoituksen paikka ja aika	
Harjoituksen tyyppi	
Tarkkailija	
Osallistuvat organisaatiot	

Arviointi:

	1 (Huono)	2 (Välttävä)	3 (Hyvä)	4 (Erinomainen)
Tapahtumaan reagointi tapaturmapaikalla				
Tiedon kulku työjohdolle				
Henkilöstön evakuointi				
Vammapotilaan evakuointi ja ensiapu				
Avun hälyttäminen ja opastus				
Yhteistoiminta pelastuslaitoksen kanssa (Täytetään vain, mikäli PH2)				
Työjohdon toiminta, tilannejohtaminen				

Selostus tapahtumista ja arvioinnin perustelut: