



Alexi Henttonen

Sähkötrukkien akut sekä niiden huolto ja vaihto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Autosähkötekniikka

Insinöörityö

13.11.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Aleksi Henttonen
Otsikko:	Sähkötrukkien akut sekä niiden huolto ja vaihto
Sivumäärä:	19 sivua
Aika:	13.11.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Autosähkötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Pasi Kovanen Toimitusjohtaja Ari Henttonen, Ecopulp Finland Oy

Tämän insinööriyön tarkoituksena on vertailla yleisimpiä sähkötrukeissa käytettyjä energianvarastointimenetelmiä. Vertailu suoritettiin, jotta saatiin kartoitettua eri vaihtoehtojen välisiä eroja ja arvioitua niiden soveltuvuus Ecopulp Finland Oy:n käyttöön.

Työssä kerrotaan ensin Ecopulp Finland Oy:n lyijyakullisista trukkitypeistä. Tämän jälkeen tarkastellaan ja vertaillaan märkien lyijyakkujen rinnalla käytössä olevia kemioita. Lisäksi työssä uusittiin Ecopulpin yhden trukin akusto sen vanhenemisen aiheuttaman kapasiteetin menetyksen vuoksi, sillä kapasiteetin väheneminen haittasi trukin käytettävyyttä.

Uudesta akustosta syntynyttä hyötyä selvitettiin trukin kuljettajalle suoritettuna haastattelun avulla. Akuston vaihto vaikutti huomattavan myönteisesti yrityksen toimintaan. Työn lopullinen tulos on se, että sähkötrukkia valittaessa on hyvä ottaa huomioon eri käyttötarkoitusten sekä -määrän muodostamat erot. Lyijyakustojen käyttö todettiin kaikkein kannattavimmaksi Ecopulp Finland Oy:n tarpeet sekä resurssit huomioiden.

Avainsanat: Sähkötrukki, trukki, lyijyakku, litiumioniakku, polttokenno

Abstract

Author: Aleksi Henttonen
Title: Electric Forklift Batteries and their Maintenance and Replacement
Number of Pages: 19 pages
Date: 13 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Electronics Engineering
Supervisors: Pasi Kovanen, Senior Lecturer
Ari Henttonen, CEO, Ecopulp Finland Oy

The purpose of this thesis is to compare the most common energy storage methods used in electric forklifts. The comparison was conducted to identify differences between various options and assess their suitability for use by Ecopulp Finland Oy.

The thesis begins by describing the types of forklifts used by Ecopulp Finland Oy with lead-acid batteries. Following this, it examines and compares chemicals used alongside wet lead-acid batteries. Additionally, the thesis involved replacing the battery of one of Ecopulp's forklifts due to a decrease in capacity caused by aging, which was affecting the forklift's usability.

The benefits resulting from the new battery were assessed through an interview with the forklift operator. The battery replacement had a significantly positive impact on the company's operations. The final conclusion of the thesis is that when selecting an electric forklift, it is advisable to consider the differences arising from different use cases and quantities. Considering Ecopulp Finland Oy's needs and resources, the use of lead-acid batteries was found to be the most profitable option.

Keywords: Electric forklift, forklift, lead battery, lithium-ion battery, fuel cell

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä sähkötrukeista ja niiden akuista	2
2.1	Yleisimmät trukkimallit ja niiden käyttökohteita	2
2.2	Pääasialliset energialähteet sähkökäyttöisissä trukeissa	4
2.2.1	Märkälyijyakku	4
2.2.2	Litiumioniakku	5
2.2.3	Polttokenno	7
2.3	Vertailu	7
2.4	Lyijyakkujen käyttö ja ylläpito	10
3	Akuston vaihto	11
3.1	Lähtötilanne ja regenerointi	11
3.2	Vaihtotyö	12
3.2.1	Akkukennojen purku sekä kotelon irrotus	13
3.2.2	Akkukotelon kunnostus sekä akkukennojen paikalleen nosto	14
3.2.3	Vesitysletkun asennus ja välikaapeleiden kytkentä	15
4	Kysely ja tuloksia akuston uusinnasta	16
4.1	Trukin kuljettajan haastattelu	16
4.2	Vaihdon vaikutus käytännössä	18
5	Pohdinta ja lopputulos	19
	Lähteet	20

Lyhenteet

Li-Ion: *Lithium-ion*. Litiumioni.

CNG: *Compressed natural gas*. Puristettu maakaasu.

LFP: *Lithium iron phosphate*. Litiumrautafosfaatti.

DoD: *Depth of discharge*. Akun purkautumissyvyys.

1 Johdanto

Sähkötrukkit ovat yleistyneet viimeisen kahden vuosikymmenen aikana korvaten monissa yrityksissä kokonaan perinteisten kaasukäyttöisten haarukkatrukkien tarpeen. Uuden teknologian kehitys, vihreät arvot sekä käyttökustannukset ovat saaneet monia teknologia-alan yrityksiä tekemään muutoksen.

Perinteisen vuonna 1859 kehitetyn trukkikäytössäkin hyödynnetyn lyijyakun rinnalle on teknisen kehityksen ansiosta tullut kilpailevia energian varastointimenetelmiä kuten Li-Ion sekä polttokenno. (1)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään yrityksen Ecopulp Finland Oy käytössä olevien sähkökäyttöisten trukkien akkujen soveltuvuutta sekä kapasiteetin muutosta, joka yhteen trukkiin tapahtui akkujen vaihdon myötä.

Tarkoituksena on myös verrata 3 yleisintä sähkötrukeissa käytettyä energian varastointimenetelmää. Työssä pyritään vertailemaan laitteita käyttöhyödyn, ympäristöllisten vaikutusten, käytön turvallisuuden sekä kustannusteknisten vaikutusten osalta.

Ecopulp Finland Oy on Kouvolan Koriolla toimiva ympäristöystävällisiä 3D-kuituvaloksia suunnitteleva, kehittävä ja valmistava yritys. Yritys on perustettu vuonna 2009 ja työllistää tällä hetkellä noin 15 henkilöä. (2)

Yhtiöllä on painavien tuotelavojen sekä raaka-aine materiaalin käsittelyyn kolme sähkötrukkia. Yksi näistä trukeista on ahtaisiin käytäviin soveltuva työntömasto-trukki. Kaksi trukeista on perinteisempiä vastapainotrukkeja. Kaikkien trukkien akut ovat perinteisiä märkälyijyakkuja. Ongelmaksi on kuitenkin muodostunut trukeista suurimman, 1990-luvulla ABB:n valmistaman sähkötrukin akuston kapasiteetin menetys.

2 Yleistä sähkötrukeista ja niiden akuista

Varastoteollisuudessa käytetään sekä poltto- että sähkömoottoreilla varustettuja trukkeja. Sähkötrukit soveltuvat hyvin etenkin sisätiloihin, sillä toisin kuin hiilivedyillä kuten dieselillä, nestekaasulla (nesteytetty propaanikaasu), nestemäisellä bensiinillä tai bensiinillä ja CNG:llä (puristettu maakaasu) toimivat polttomoottorikäyttöiset trukit, ne eivät tuota hiilimonoksidia, hiilivetyjä, pienhiukkasia, nokea taikka hajuja käytössä. (3)

Tässä luvussa kuvataan lyhyesti Ecopulpilla käytössä olevien trukkimallien keskeisimpiä eroja sekä käyttökohteita. Lisäksi kerrotaan eri vaihtoehdoista sekä sähkötrukeissa käytettyjen akkukemioiden eroista.

2.1 Yleisimmät trukkimallit ja niiden käyttökohteita

Työntömastotrukki on ketterä nimensä mukaisesti etu- takasuunnassa liikkuvalla mastolla varustettu sivuttaisohjattava yleisimmin 1000–2500 kilon nostokyvillä varustettu varastotyökalu. Yleisimmin tämän mallisia trukkeja käytetään kapeilla käytävillä varustetuissa varastoissa, sillä se vaatii keskimäärin vain noin 2,4 metrin käytäväleveyden. Valmistajasta sekä mallista riippuen työntömastotrukkeja on mahdollista saada jopa yli 10 metrin korkeuteen ulottuvalla mastolla sekä kallistuvalla ohjaamalla varustettuna. Työntömastotrukkeihin voidaan myös asentaa erilaisia haarukkalaitteita, kuten sivusiirtolaite. Suurin osa työntömastotrukeista ei sovellu ulkokäyttöön pienen maavaran sekä rengaskoon vuoksi. (4)

Kuvassa 1 näkyy Ecopulpin käytössä oleva vuonna 1994 valmistettu työntömastotrukki Linde R14. Tyypillisen työntömastotrukin tapaan tässä trukissa on pienet ja sileät renkaat, jolloin pääasiallisesti käyttökohteeksi soveltuu parhaiten tasainen asfalttipohja sekä sisätilat. Nimensä mukaan Lindessä on eteen työnnettävä masto, joka helpottaa kuormalavojen siirtelyä kapeilla varastokäytävillä. Trukissa on 24 kappaletta 2 V:n lyijyakkukkennoja, jotka muodostavat 48

V:n käyttöjännitteen. Tämän trukin nostokyky 500 mm:n etäisyydellä mastosta on 1400 kg.



Kuva 1. Työntömastotrukki Linde R14.

Vastapainotrukki, monissa tapauksissa myös haarukkatrukiksi kutsuttu trukki, on sähkökäyttöisenä yleisimmin 1000–5000 kilon nostokyvyllä varustettu ras-kaampaan käyttöön suunniteltu kolmella tai neljällä pyörällä varustettu kompakti sisäkäyttöön soveltuva trukki. Näitä trukkeja on saatavilla myös umpihyittisinä, mikä laajentaa käytön mahdollisuuksia myös ulkotiloihin. Vastapainotrukkeja on saatavilla myös järeämmällä nostovaralla; näissä tosin käytetään yleisimmin dieselmoottoreita. Polttomoottoreilla varustetut vastapainotrukit ovat yleisesti ul- komitoiltaan hieman sähköisellä voimalinjalla varustettuja vastineitansa suurem- pia. (4)

Kuvassa 2 on Toyotan vuonna 2006 valmistama haarukkatrukki 7FP25. Myös tässä trukissa on 48 V:n käyttöjännite, joka syntyy 24 kappaleesta sarjaan kytkettyjä mäkiiä lyijyakkukemioja. Toyotaa ei ole varustettu hytillä ja sitä käytetäänkin pääasiassa sisätiloissa. Trukilla pystytään nostamaan 500 mm:n etäisyydellä mastosta 2300 kg ja 1000 mm:n päässä 1490 kg.



Kuva 2. Vastapainotrukki Toyota 7FP25.

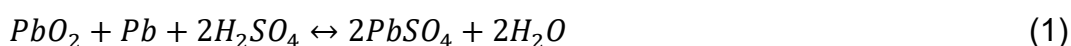
2.2 Pääasialliset energialähteet sähkökäyttöisissä trukeissa

Suurin osa nykypäivänä myytävistä trukeista on sähkökäyttöisiä, ja niissä käytetään joko lyijy- tai litiumpohjaista akkukemioa. Saatavilla on myös polttokennoteknologiaa hyödyntäviä vetykäyttöisiä trukkeja.

2.2.1 Märkälyijy Akku

Tunnetuin yhä käytössä oleva akkutyyppi on märkälyijy akku tai avoin lyijy akku. Lyijy akut saivat alkunsa, kun sähkökemisti Gaston Planté keksi upottaa kaksi pellavakankaaseen käärittyä spiraalin muotoista lyijyrullaa suljettuun rikkihappoliuosta sisältävään lasipurkkiin vuonna 1859. Kun näihin lyijyrulliin johdettiin

virtaa määräjain vaihtelevin napaisuuksin, positiiviseksi määritellyn rullan pintaan alkoi muodostua lyijydioksidia (PbO_2) ja negatiiviseksi määritellyn pintaan huokoista metallista lyijyä. Tämän muutoksen johdosta kenno kykeni ylläpitämään sähköistä virtaa. Märkälyijyakuissa käytetään vielä tänäkin päivänä lyijydioksidia (PbO_2) positiivisena elektrodina, lyijyä (Pb) negatiivisena elektrodina sekä nestemäisessä muodossa olevaa rikkihappoa (H_2SO_4) elektrolyytinä. Elektrolyysi tapahtuu lyijyoksidin sekä lyijyn reagoiessa rikkihapon kanssa muodostaen lyijysulfaattia ($PbSO_4$) ja vettä (H_2O). Tällöin elektrolyytin väkevyys pienenee reaktioyhtälön (kaava 1) mukaisesti ja energiaa vapautuu. Nykyaikaisen täyteen ladatun yksittäisen lyijyakkukennon positiivisen sekä negatiivisen elektrodin välinen potentiaaliero on noin 2,1 V.



Märkälyijyakan hyviä puolia ovat sen suhteellisen korkea kennojännite, matalat materiaalikustannukset ja käytettävyyden monipuolisuus. Lyijyakan sähkökemiallinen pari on myös helposti purettavissa, mikä tekee kierrätettävyydestä huomattavasti helpompaa. Huonoja puolia lyijyakuissa ovat lyijyn suuri paino, huono suorituskyky matalissa lämpötiloissa sekä akun heikko syklinen kestoikä. Näiden lisäksi perinteisten lyijyakkujen lataustapahtuman yhteydessä akun positiiviselta elektrodilta vapautuu happea sekä negatiiviselta elektrodilta vetyä. Tästä syystä kennoja täytyy tuulettaa, minkä yhteydessä menetetyt atomit joudutaan korvaamaan lataustapahtuman jälkeen vesittämällä. (1, s.11–14, 100–101, 104.)

2.2.2 Litiumioniakku

Litiumioniakut saivat alkunsa 1970-luvun loppupuolella Oxfordin yliopistossa Britanniassa. Siellä havaittiin, että kun kolmiarvoista kobolttia tai nikkelioksidia sisältävään hilaan imeytetään litiumioneja, muodostuu litiumkobolttioksidia ($LiCoO_2$) ja litiumnikkelioksidia ($LiNiO_2$). Kun näistä oksidielektrodeista luodaan

litiummetallin kanssa kenno, syntyy luonnollinen elektrolyysi, joka muodostaa 4 V:n jännitteen. Tässä kennossa oksidit toimivat positiivisena elektrodina ja litiummetalli negatiivisena. Tämän jälkeen Japanissa Sony Corporationilla havaittiin, että näin korkean kennojännitteen ansiosta on mahdollista hyödyntää kahta interkalaatioelektrodia, joista toinen toimii positiivisena ja toinen negatiivisena. Litiumionit sinkoilevat näiden välillä. Tällainen kenno ei sisällä metallista litiumia ja on tästä syystä käytöltään turvallisempi; tosin kennon jännite laskee noin voltilla litiumin vapaan liukenemisenergian pienenemisen johdosta. Tämän jälkeen havaittiin, että hiili, kuten grafiitti, soveltuu hyvin käytettäväksi negatiivisena elektrodina, sillä hiili kykenee kerrosmaisena rakenteensa johdosta interkaloi-
maan eli isännöimään kerrostensa väliin litiumioneja. Litiuminterkaloidun grafiitin (LiC_6) potentiaaliero verrattuna grafiittiin, josta kaikki litium on poistettu, on noin 1 V. Kun litiuminterkaloitua grafiittia käytetään siirtymämetallioksidin parina, saadaan luotua kenno, jonka täyteen ladattu jännite on 4 V ja tuottaa pu-
rettuna 3 V:n potentiaalieron. Esimerkkinä litiumioniakku, jossa käytetään li-
tiumkoboltoksidia ($LiCoO_2$) katodina sekä grafiittia anodina. Tällaisen akun pur-
kautumisen aikana katodissa sijaitsevat litiumionit alkavat liikkua ja muodostaen
litiuminterkaloitua grafiittia (LiC_6). Samanaikaisesti katodissa vapautuvat elekt-
ronit pääsevät virtaamaan ulkoisen piirin läpi vapauttaen sähköistä energiaa.
Akun latautuessa taas litiumionit liikkuvat elektrolyytin kautta takaisin anodiin ja
sitoutuvat laturista saatuihin elektroneihin. Litium on herkkä reagoimaan veden
kanssa, jolloin vesipohjaista elektrolyyttiä ei voida käyttää. Elektrolyytin eli
anodin ja katodin välisenä elektronien liikettä rajaavana aineena käytetään
usein tämän takia liuotettua litiumsuolaa.

Litiumkennojen hyviin puoliin lukeutuvat kyky varastoida suuria määriä energiaa
painoonsa sekä tilavuuteensa nähden, korkea keskimääräinen käyttöjännite,
erinomainen syklinen kesto energian varastoimisen sekä purkamisen suhteen,
suhteellisen matala purkautuvuus käyttämättä olon aikana, jäljellä olevan kapa-
siteetin helppo määrittävyys sekä kyky vastaanottaa latausta nopeasti. (1, s.
70–72, 143–153.)

Sähkötrukeissa käytetään yleisimmin litiumakkuja, joiden kemiat pohjautuvat litium-kobolttioksidiin ($LiCoO_2$), litiumioni-mangaanioksidiin ($LiMn_2O_4$) sekä litium-rautafosfaattiin ($LiFePO_4$). Trukkikäytössä yleisin näistä on kuitenkin litium-rauta-fosfaattiakku eli LFP. (5)

2.2.3 Polttokenno

Myös polttokennoja on alettu käyttämään vaadittavan sähkön luomiseksi. Polttokennolla tarkoitetaan järjestelmää, jossa tuotetaan sähköä esimerkiksi vedyn sekä hapen yhdistyessä tapahtuvasta kemiallisesta reaktiosta. Vedyn palamisreaktio jaetaan polttokennon sisällä kahteen osaan, jotka näkyvät yhtälöissä 2 ja 3.



Spetikaalinen erottelu tapahtuu elektrolyytin avulla, joka sallii varautuneiden atomien läpäisyn rajoittaen elektronien liikkeen. Elektrolyytinä voidaan käyttää esimerkiksi rikkihappoa, kuten William Grove käytti vuonna 1839 ensimmäisessä polttokennossa.

Polttokennon suurimpia hyötyjä akkuihin verrattuna ovat nopeampi täytettävyys sekä potentiaalinen suurempi energiatiheys suuremmissa mittakaavassa. Polttokenno ei myöskään ole matalille lämpötiloille niin herkkä. Haittapuolia tuovat taas suuret kustannukset, pienemmän mittakaavan energiatiheys tilavuuden suhteen sekä itse polttoaineen saatavuus ja varastointi. Polttokennon rinnalle tarvitaan myös pieni akusto toimimaan sähkömoottorin sekä polttokennon välisenä puskurina. (6, s. 42–50.)

2.3 Vertailu

Trukin käytön laajuus tulee ottaa huomioon trukkia valittaessa, mutta myös hinnoissa eri toimintakemioiden välillä on huomattavia eroja. Osaa tukeissa

käytettävistä materiaaleista joudutaan louhimaan, kun taas toisia voidaan vaikkapa kierrättää. Myös huollettavuus sekä käytön turvallisuus on hyvä ottaa huomioon valintaa tehtäessä.

Polttokennokäyttöisten trukkien suurin etu on se, että tankkaamisessa menee vain 2–3 minuuttia. Vetykäyttöiset trukit kuitenkin vaativat suuren sijoituksen infrastruktuuriin, ja suurin hyöty saadaan, kun vetykäyttöisiä laitteita on entuudestaan sekä käyttö on runsasta. (7) Näistä syistä vertailua on järkevämpi tehdä pääasiassa akkukäyttöisten sähkötrukkien välillä.

Sekä lyijy- että litiumpohjaisista akuista on monia eri variaatioita, mikä tuo haastetta vertailuun. Taulukkoon 1 on kuitenkin kerätty keskimääräisiä arvoja molemmista kemioista.

Taulukko 1. Yksinkertaistettu vertailu eri akkukemioiden välillä. (8)

	Märkälyijy Akku	Litiumioni Akku
Energiatiheys (Wh/L)	80	250
Energiatiheys (Wh/Kg)	30	150
Hankintakustannukset (\$/kWh)	65	600
Syklinen käyttöikä	1200 @ 50 % DoD	1900 @ 80 % DoD
Tyypillinen latausikkunan tila	50 %	80 %
Lämpötilan vaikutus käyttöön	Hyötysuhde laskee huomattavasti yli 25 °C:ssa	Hyötysuhde laskee huomattavasti yli 45 °C:ssa
Hyötysuhde	100 % @20 tunnin käyttöasteella 80 % @4 tunnin käyttöasteella 60 % @1 tunnin käyttöasteella	100 % @20 tunnin käyttöasteella 99 % @4 tunnin käyttöasteella 92 % @1 tunnin käyttöasteella

Litiumioniakuilla on huomattavasti pidempi syklinen käyttöikä syväpurkautumissovelluksissa kuin lyijyhapolla. Korkeat työlämpötilat kasvattavat tätä eroa entuudestaan. Molempien akkujen käyttöikää voidaan kuitenkin pidentää rajoittamalla purkautumissyvyyttä (DoD), purkunopeutta ja lämpötilaa. Tässä mielessä märkä lyijyakku jää kuitenkin tappiolle.

Lyijyakut vaativat myös litiumioniakkuihin verrattuna huomattavasti enemmän materiaalia saman kapasiteetin luomiseksi. Lyijyn louhimisella on suuri vaikutus ympäristöön ja myös sen prosessointi vaatii paljon energiaa, joka tuottaa päästöjä. Litiumin louhiminen itsessään vaatii myös suuria määriä energiaa sekä resursseja ja vaikka itse akuissa varsinaisen litiumin määrä on varsin vähäinen, akkujen valmistamiseen vaaditaan myös kuparia, alumiinia sekä rautamalmia. Näistä alumiinin sekä kuparin louhimisella on suurin vaikutus ympäristön kannalta. Lisäksi litiumakkujen kierrättäminen tuottaa myös vielä ainakin toistaiseksi haasteita. (8) Merkittäväksi tekijäksi vertailussa muodostuukin kierrätettävyyys, nimittäin Battery Council Internationalin mukaan kaikesta akkulyijystä, muovista ja elektrolyyteistä kierrätetään yli 99 prosenttia. Lyijyakut ovat Yhdysvaltojen kierrätetyin tuote. Akkukäytössä uusien lyijyakkujen materiaaleista keskimäärin 60–80 % on kierrätettyä muovia ja lyijyä. (9)

Turvallisuuden kannalta litiumakut ovat hieman lyijyakkuja vaarallisempia, vaikkakin molemmissa akuissa on lämpöryntäyksen riski. Tällöin akusto kuumenee nopeasti ja voi päästää elektrolyyttiä, liekkejä ja vaarallisia höyryjä ulos. Litiumionissa tapahtuman todennäköisyys sekä seuraukset ovat on suurempia suuremman energiatihedyyden takia.

Lyijyakkujen sekä litiumioniakkujen välisten hankintakustannusten vertaaminen tuottaa haasteita. Litiumioniakut maksavat taulukon 1 mukaan lähes 10-kertaisesti lyijyakkuihin verrattuna. Kuitenkaan vertailu ei ole näin yksinkertaista, sillä litiumioniakkujen odotettu syklinen kestoikä on huomattavasti korkeampi. Lisäksi litiumioniakkuja käytettäessä ei tarvita yhtä suurta nimelliskapasiteettia, sillä lyijyakkujen iän pidentämiseksi todellisuudessa saatavilla olevaa kapasiteettia

voidaan joutua vähentämään. Tämä korostuu etenkin paikoissa, joissa käyttölämpötila ylittää 25 °C. (8)

2.4 Lyijyakkujen käyttö ja ylläpito

Litiumioniakut ovat käytännössä huoltovapaita kuten myös polttokennot. Myös lyijyakuista on olemassa suljettuja huoltovapaita versioita. Trukkikäytössä kuitenkin yleisimpiä ovat kuitenkin avoimet lyijyakut.

Trukkiakkujen käytöstä määrää standardi EN 50272-3. Purettava sekä osittain purettu akku tulee varata välittömästi, ja varaamiseen saa käyttää ainoastaan tasavirtaa. Akuston elektrolyyttitaso tulee tarkastaa jokaisen varauksen päätyttyä. Tarvittaessa akustoon tulee lisätä tislattua vettä. Usein tähän käytetään automaattista vesitysjärjestelmää. Akuissa on vesitysletkut, jotka yhdistetään vesitysastiaan. Tästä vesitysastiasta virtaa muutaman minuutin kuluessa tarvittava määrä vettä kennoihin. Akustolle tulee myös suorittaa tasausvaraus noin viikoittain. Itse lataukseen käytettävä aika vaihtelee akuston koon mukaan. (10)

3 Akuston vaihto

Kuvassa 3 näkyvän ABB:n vuonna 1994 valmistaman märkälyijyakustolla varustetun sähkötrukin AT 450E/35L-2 -akuston kapasiteetti ei tuntunut enää riittävän Ecopulpin päivittäisiin tarpeisiin. Trukin yksi tärkeimmistä käyttökohteista on suurten, keskimäärin 40 tuhatta kiloa painavien kierrätyspaperipaalikuormien purkaminen. Trukin akusto oli kuitenkin ikänsä vuoksi menettänyt niin paljon kapasiteettiaan, että trukin jatkuva lataaminen alkoi haitata yrityksen toimintaa.



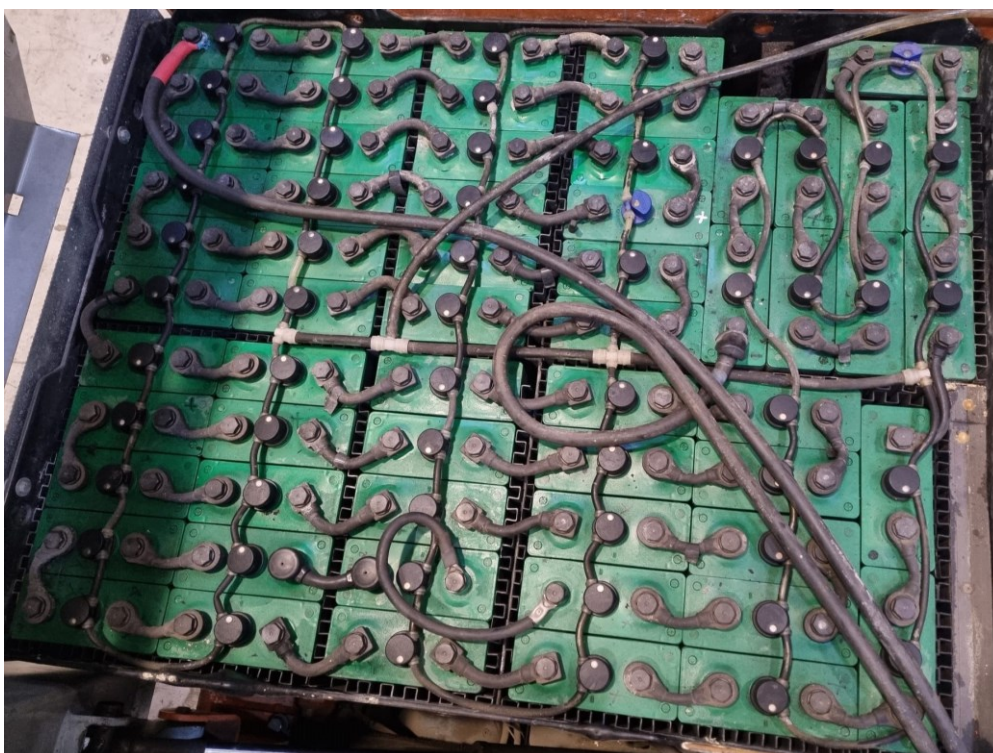
Kuva 3. Vastapainotrukki ABB AT 450E/35L-2.

Aluksi trukki lähetettiin Öhman Trukit Oy:lle akun regenerointiin. Tämän jälkeen tultiin kuitenkin johtopäätökseen, että koko kennosto tullaan vaihtamaan. Tässä luvussa analysoidaan regeneroinnista saatua dataa sekä kuvataan trukin akuston uusimisen vaiheet kokonaisuudessaan.

3.1 Lähtötilanne ja regenerointi

Regeneroinnista saatujen liitteiden mukaan vanhoista kennoista yksi oli niin huonossa kunnossa, ettei se kyennyt ylläpitämään jännitettä enää laisinkaan. Kennoista yhteensä 23 kappaletta oli niin huonossa kunnossa, että akun

nimellisestä 500 Ah:n kapasiteetista oli regeneroinninkin jälkeen jäljellä enää noin 230 Ah. Ecopulpin näkökulmasta tämä kapasiteetti todettiin riittämättömäksi yhtiön tarpeiden kannalta. Akustolle olisi saatu huomattava määrä lisää kapasiteettia jo pelkästään 23 viallisen kennon uusimisella. Kuitenkin muiden kennojen ollessa jo lähellä käyttöikänsä loppua nähtiin viisaammaksi ratkaisuksi uusida koko kennosto. Tätä koko akuston uusimispäätöstä tuki myös akuston ulkoinen olemus. Osa kennoista oli haljennut päältä, sekä itse kotelokin vaati huoltamista. Kuvassa 4 on trukin alkuperäinen akusto, jossa 120 V:n käyttöjännitteen saavuttamiseksi on 60 kpl 2 V:n kennoja sarjaan kytkettynä.



Kuva 4. ABB trukin alkuperäinen lyijyakusto.

3.2 Vaihtotyö

Lähtötilanteen selvityksen jälkeen oli ilmeistä, että akkujen uusiminen olisi tehtävä nopealla aikataululla. Kun päätös akuston uusimisesta oli tehty, trukkiin tilattiin 60 kpl alkuperäisiä kennoja mittojensa puolesta vastaavia 2 V:n kennoja, joiden kapasiteetti vastasi alkuperäisten akkujen 500 Ah:a.

3.2.1 Akkukennojen purku sekä kotelon irrotus

Purkutöissä tuli ottaa huomioon akuston suuri paino, elektrolyytin syövyttävä ominaisuus sekä itse akussa oleva jännite. Ensimmäisenä trukin ohjaamo kääntettiin huoltoasentoon, jolloin itse akkukoteloon päästiin käsiksi. Kääntämisen jälkeen trukki tehtiin jännitteettömäksi irrottamalla yhdys-latausliitin trukin elektroniikasta.

Yksittäisellä 500 Ah:n kennolla oli painoa yli 25 kiloa ja yhteensä trukin akusto painoi tyyppikilven mukaan 1840–2055 kiloa. Akuston suuren painon vuoksi päätettiin kennot purkaa trukista yksittäin. Yksittäisten kennojen välillä olevat lyhyet yhdyskaapelit irrotettiin, minkä jälkeen kennoja alettiin nostamaan pois trukista. Yksittäiset kennot pinottiin kuormalavalle. Lopuksi tyhjä kotelo nostettiin kuvan 5 mukaisesti irti trukista sen kunnostamista varten.



Kuva 5. ABB trukin hytti käännettynä huoltoasentoon. Tyhjä akkukotelo nostettiin toisella trukilla irti kunnostusta varten.

3.2.2 Akkukotelon kunnostus sekä akkukennojen paikalleen nosto

Akkukoteloon oli syntynyt ulkopuolelle paikka paikoin pintaruostetta. Tämän lisäksi huomattiin, että akuston vanhoista kennoista oli vuotanut elektrolyyttiä kotelon pohjalle. Kotelo puhdistettiin ja sen sisälle muodostunut kiteytynyt elektrolyytti poistettiin. Seuraavaksi kotelon pintaruosteet poistettiin ja tarvittaviin paikkoihin suoritettiin paikkamaalaukset. Kun kotelo oli näiltä osin saatu valmiiksi, se nostettiin toisella trukilla takaisin paikoilleen.

Seuraavaksi suunniteltiin uusien akkukennojen järjestys kotelossa. Kennot tuli sijoittaa siten, että kennojen mukana tulleilla yhdenmittaisilla yhdyskaapeleilla pystyttiin luomaan kaikkien 60 kennon sarjakytkentä, jotta päästäisiin tarvittavaan 120 V:n käyttöjännitteeseen. Kuvassa 6 näkyvien uusien koteloon nostettujen akkukennojen välit tiivistettiin vanhojen akkukennojen välissä olleilla muovisilla eristelevyillä, jotta kennot eivät pääse heilumaan trukilla ajettaessa.



Kuva 6. Uudet akkukennot nostettuna kunnostettuun paikallaan olevaan akkukoteloon.

3.2.3 Vesitysletkun asennus ja välikaapeleiden kytkentä

Kun kennot oli nostettu akkukoteloon ja niiden kiinnitys oli varmistettu, oli vuorossa vesitysletkun asentaminen. Trukkiakuissa oli valmiiksi venttiilit, joilla valvotaan vesityksen yhteydessä, että kennot saavuttavat vaadittavan elektrolyyttitasen. Venttiileiden sisällä on kohot, jotka estävät vesityksen aikana akun liiallisen täytön akkuvedellä. Näiden venttiilien välille asennettiin vesitysletku, joka kiertää kaikkien kennojen läpi.

Vesitysletkun asentamisen, toiminnan varmistamisen sekä vuodottomuuden tarkistamisen jälkeen oli vuorossa kennojen välisten yhdyskaapeleiden asennus. Yhdyskaapeleita paikallaan pitävät napapultit kiristettiin valmistajan ohjeen mukaan 20 Nm:n kireyteen momenttiavaimella. Viimeisenä sarjaan kytketyn akuston päät kytkettiin vielä kuvassa 7 näkyvään liittimeen, jota käytetään sekä trukin lataamiseen että käyttämiseen.



Kuva 7. Uudet akkukennot kytkettyinä ja vesitysletkut asennettuna.

4 Kysely ja tuloksia akuston uusinnasta

Trukkien kuljettajaa haastateltiin, jotta saataisiin kuva Ecopulp Finland Oy:n käyttötarpeista. Hänelle esitettiin kysymyksiä, joilla saataisiin kartoitettua realistinen kuva Ecopulpin trukkien käytön raskaudesta sekä yleisyydestä. Luvussa on haastattelun lisäksi tarkasteltu akuston vaihdon vaikutusta yrityksen toimintaan.

4.1 Trukin kuljettajan haastattelu

- Millaista trukin käyttö on päivittäisellä tasolla?

Trukkien käyttömäärä vaihtelee päivittäin. Välttämättä trukkeja ei tarvitse käyttää laisinkaan päivän aikana. Tyypillisesti käyttöaika vaihtelee puolesta tunnista tuntiin. Käytön määrä vaihtelee sen mukaan, tarvitseeko kuormia purkaa tai lastata. Paperimassan muodostamiseksi vaadittava materiaalien nostelu pulppereihin on kuitenkin yleisin käyttökohde.

- Kuinka usein trukkeja tarvitaan suurempien kuormien lastaamiseksi?

Lähetettävien tuotteiden määrä vaihtelee; tyypillisesti 2–3 kertaa viikossa, kuitenkin vähintään kerran viikossa. Tähän käytetty aika vaihtelee lähetettävien tuotemäärien mukaan. Kuorma voi olla 1 lava tai yli 30 lavaa. Ajallisesti tähän voi mennä 5 tai 40 minuuttia.

- Millaista on trukin käyttö, johon akut vaihdettiin?

Normaalisti kuormien lastaamiseen käytetään toisia, rakenteeltaan kevyempiä trukkeja. Osa paperimassan muodostamiseen käytetystä materiaalista tulee lavoille pakattuna, jolloin kevyemmillä trukeilla käsittely on helpompaa. Suunnitteen kuukausittain toimitettavat kierrätyspaperipaalilähetykset ovat sellaisia, että niiden purkamiseen tarvitaan kapasiteetiltaan suurempaa trukkia. Nämä paalit toimitetaan ilman kuormalavoja rekkalavalle lastattuina, jolloin käsittely pelkillä trukkipiikeillä on mahdotonta. ABB on käytössä olevista trukeista ainut, johon saa paalipihdit kiinni. Kierrätyspaperikuormien purkamisen lisäksi paalit

joudutaan usein nostelemaan paalipihdeillä toiseen trukkiin kiinnitettyyn kauhaan, josta paalit voidaan purkaa pulpperiin.

- Miten ABB:n akuston kapasiteetti riitti ennen vaihtoa? Miten vanhan akuston heikko kapasiteetti näkyi käytössä?

Ennen akuston vaihtoa tyypillisesti yli 40 tuhatta kiloa painavien kierrätyspaperikuormien purkaminen ei välttämättä aina onnistunut kokonaan. Täyteen ladatulla akustolla varatulla trukilla kuorma saatiin tyypillisesti purettua kokonaan, ei kuitenkaan aina. Trukki jouduttiin usein kytkemään laturiin heti tyhjennyksen jälkeen. Tyypillisesti trukki alkoi kapasiteetin loppupuolella rajoittamaan joitain toimintoja. Tällöin trukin virtoja jouduttiin käyttämään poissa päältä. Toisinaan kuorman purkaminen on jäänyt myös kesken.

- Miten vaihdon yhteydessä syntynyt kapasiteetin muutos näkyy käytössä?

Ennen trukin akkua jouduttiin lataamaan jokaisena päivänä, kun sillä oli ollut käyttöä. Tällä hetkellä varsin vähäisen käytön vuoksi riittää, että akkua ladataan keskimäärin kahden viikon välein.

- Kuinka paljon kierrätyspaperipaalikuorman purkamiseen keskimäärin käytetään aikaa?

Normaalisti kuorman purkamiseen käytetään aikaa tunnista kahteen. Satunnaisesti paalit eivät kuitenkaan ole niin helposti käsiteltävissä, jolloin aikaa menee enemmän. Tällöin kuorman purkuun menee kolmesta tunnista neljään, satunnaisesti enemmänkin.

- Muuta kommentoitavaa trukkiakuston uusimiseen liittyen?

Yrityksen toiminnan kannalta akkujen vaihto on ollut toimintaa helpottava kokemus. Enää ei tarvitse pelätä, että paalikuorman purku jäisi kesken.

4.2 Vaihdon vaikutus käytännössä

500 Ah:n nimelliskapasiteetti on niin suuri, että käytännön kapasiteetin määrittäminen on osoittautunut haasteelliseksi. Trukkikuljettajan kommenttien perusteella kuitenkin vaihdolla on ollut valtava merkitys trukin käytettävyyden kannalta. Kovimmillaan trukit ovat suurien lähetysten sekä toimitusten käsittelyn aikana. Kuvassa 9 on trukki ABB purkamassa yhteensä 41 tuhatta kiloa kierrätyspaperipaaleja.



Kuva 8. ABB käytössä purkamassa kierrätyspaperikuormaa.

Vanhalla akustolla ABB:n akku oli ehtinyt tyhjentyä täysin jo vastaavan kokoisen kuorman puolen välin paikkeilla. Uusilla kennoilla trukkia on parhaimmillaan käytetty yhtäjaksoisesti yli 6 tuntia, ja tässäkin vaiheessa trukin oma akusta jäljellä olevan kapasiteetin näyttö on ilmaissut, että trukin kapasiteetista oli tässä vaiheessa kulunut noin puolet.

5 Pohdinta ja lopputulos

Suurin osa nykypäivänä myytävistä haarukkatrukeista on sähkökäyttöisiä, ja vaikka lyijypohjaiset akut ovat niissä vielä suurelta osaa käytössä, ovat myös vaihtoehtoiset akkukemiat yleistyneet. Lyijyakkujen suosiota selittää muun muassa lyijyn helppo kierrätettävyys, halpa hinta sekä trukeissa tarvittava luontainen paino. Litiumioniakkujen nopea ladattavuus, suuri kapasiteetti, laajat käyttömahdollisuudet, pitkäikäisyys sekä huoltovapaus ovat varmasti sellaisia tekijöitä, jotka kannustavat litiumpohjaisten akkujen käyttöön. Myös polttokenokäyttöiset trukit ovat viimeisen vuosikymmenen aikana yleistyneet. Vaikka polttokenokäyttöisissä trukeissa on monia etuja, kuten käytettävyys matalissa lämpötiloissa, täytyy niiden tarpeellisuus arvioida aina tilannekohtaisesti. Suurin hyöty polttokenokäyttöisistä trukeista tulee paikoissa, joissa polttokenokäyttöisten trukkien yleisintä polttoainetta eli vetyä on helposti saatavilla.

Ecopulp Finland Oy:n trukkien käyttö on melko vähäistä. Tästä syystä lyijyakuilla varustetut sähkötrukit ovat yritykselle kannattava ratkaisu. Vähäisellä käytöllä eivät muiden akkukemioiden tuomat edut korvaa niiden suurempia hankintakustannuksia. Työntekijät osaavat myös käyttää sekä huoltaa nykyistä lyijyakuilla varustettua kalustoa tarpeen vaatiessa. Kuormien lastaamiset tai purkamiset eivät ole niin raskaita tai yleisiä toimenpiteitä, että trukkien akkuja olisi tarvetta käydä lataamassa työvuorojen välillä. Trukkien käyttö on harvoin niin intensiivistä, ettei edellisenä päivänä käytetyn trukin akku olisi ehtinyt latautua täyteen yön latauksen aikana.

Sähkötrukin akuston vaihtotyötä voidaan pitää kannattavana Ecopulpin tarpeet huomioiden. Uuden trukin hankinnan kustannukset ovat huomattavasti korkeammat pelkän akuston uusimiseen verrattuna. Aiemmat akut olivat kuitenkin menettäneet kapasiteetistaan niin suuren osan, ettei suurten kuormien purkaminen ollut enää mahdollista. Uusilla akuilla saatiin pidennettyä hyvin muuten toimivan trukin käyttöikä suhteellisen ympäristöystävällisesti pitäen myös kustannukset suhteellisen matalina. ABB:n valmistaman trukin käyttöhyödyn kasvun perusteella myös Toyotan valmistaman trukin akusto päätettiin uusida.

Lähteet

- 1 Dell, Ronald & Rand, David. 2001. Understanding batteries. Cambridge: RSC.
- 2 Ecopulp Finland Oy. Verkkoaineisto. Ecopulp Finland Oy. <<https://www.ecopulp.fi/yritys>>. Luettu 13.4.2023.
- 3 Electric vs IC Forklifts: The Ongoing Race. Verkkoaineisto. Toyota Lift Northwest. <<https://toyotaliftnorthwest.com/blog/tips-and-solutions/electric-vs-ic-forklifts-the-ongoing-race/>>. Luettu 9.10.2023
- 4 Trukkiopas. Verkkoaineisto. Uudenmaan Konepalvelu Oy. <<https://uudenmaan konepalvelu.fi/trukkiopas/>>. Luettu 9.10.2023.
- 5 Lithium Forklift Batteries: The Complete Guide. Verkkoaineisto. Conger Industries Inc. <<https://www.conger.com/lithium-forklift-battery/>>. Luettu 9.10.2023.
- 6 O'Hayre, Ryan; Cha, Suk-Won; Colella, Whitney & Prinz, Friz. 2016. Fuel Cell Fundamentals. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.
- 7 Hydrogen fuel cell technology. Verkkoaineisto. Toyota Material Handling Europe. <<https://toyota-forklifts.eu/solutions/energy-solutions/what-fuel-cell-technology-means-for-your-forklift/>>. Luettu 19.10.2023.
- 8 Albright, Greg; Edie, Jake & Al-Hallaj, Said. 2012. A Comparison of Lead Acid to Lithium-Ion in Stationary Storage Applications. Verkkoaineisto. All-Cell Technologies LLC. <https://www.altenergymag.com/content.php?post_type=1884>. Luettu 23.10.2023.
- 9 Vanasse, Harold. 2018. Lead acid batteries look poised to keep the electric lift trucks coming. Verkkoaineisto. EnerSys. <https://blogs.dcvelocity.com/one_off_sound_off/2018/09/lead-acid-batteries-look-poised-to-keep-the-electric-lift-trucks-coming.html>. Luettu 23.10.2023.
- 10 TAB-trukkiakkujen käyttöohjeet. 2020. TAB Batteries.