

Akkuteknologioiden kartoitus pienen kokoluokan siirrettävän konttilämpölaitoksen varavoiman lähteenä

Survey of battery technologies as a reserve power source for a small-scale mobile container heat plant

Eetu Huttunen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Eetu Huttunen

AKKUTEKNOLOGIOIDEN KARTOITUS PIENEN KOKOLUOKAN SIIRRETTÄVÄN KONTTILÄMPÖLAITOKSEN VARAVOIMAN LÄHTEENÄ

2019

Kandidaatintyö.

32 s.

Tarkastaja: Antti Kosonen

Ohjaajat: Joonas Anttila, Antti Kosonen, Joonas Koponen

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tutkia akkuteknologioita vaihtoehtoisena diesel-generaattorin korvaajana Ferroplan Oy:n pienessä siirrettävässä konttilämpölaitoksessa. Tutkimukseen valittiin muutamia tällä hetkellä kaupallisilla markkinoilla olevia akkuteknologioita, joiden historiaan ja ominaisuuksiin syvennyttiin tarkemmin ja vertailtiin tutkimuksen kannalta merkittäviä eroja eri teknologioiden välillä. Lisäksi selvitettiin millaisia osia akkujen avulla toteutettu toimiva varavoimajärjestelmä pitää sisällään ja millaisia vaihtoehtoja akkujen latausjärjestelmän suhteen on valittavana. Työssä perehdyttiin myös tarkemmin millaisia turvallisuushetkiä akkujen käytöstä aiheutuu, sekä mitä asioita tulee selvittää vertailtaessa markkinoilla saatavilla olevia valmiita akkujärjestelmiä tai niiden osia. Tutkimus toteutettiin kirjallisuusselvityksenä sekä verkkodokumenttien ja sivustojen avulla.

Tutkimuksessa selvisi, että kaupallisilla markkinoilla on saatavissa monenlaisia valmiita akkuenergiajärjestelmiä. Markkinoilla saatavilla olevat järjestelmät eroavat toisistaan käytettävien akkuteknologioiden, sekä järjestelmiin kuuluvien osien ja ominaisuuksien suhteen. Akkujen turvallisuuskulmaa tutkittaessa selvisi, että akkujen lämpötilan valvominen latauksen ja purkauksen aikana on monen akkuteknologian kohdalla oleellisessa roolissa. Akun valvontajärjestelmän (BMS) ja lataussäätimen avulla voidaan toteuttaa turvallinen akkujärjestelmä käytettävän akkuteknologian ollessa mikä tahansa.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Eetu Huttunen

SURVEY OF BATTERY TECHNOLOGIES AS A RESERVE POWER SOURCE FOR A SMALL-SCALE MOBILE CONTAINER HEAT PLANT

2019

Bachelor's Thesis.

32 p.

Examiner: Associate professor Antti Kosonen

Supervisor: Joonas Anttila, Antti Kosonen and Joonas Koponen

The aim of this bachelor's thesis was to investigate battery technologies as an alternative to a diesel generator at Ferroplan Oy's small mobile container heat plant. The research has selected some of the currently commercially available battery technologies, the history and characteristics of which have been deepened in and the differences in technology between the different technologies have been compared. In addition, it was investigated what kind of components are included in the battery backup system and what options are available for the battery charging system. The thesis also explored what security threats to the use of batteries are, and what issues should be solved when comparing the available battery systems or parts thereof. The research was carried out as a literature review, as well as through online documents and websites.

The study revealed that a variety of ready-made battery energy systems are available on the commercial market. The systems available on the market differ in terms of battery technologies used and in terms of the components and characteristics of the systems. When examining the safety aspect of batteries, it became clear that monitoring the temperature of the batteries during charging and discharging plays an important role in many battery technologies. The Battery Control System (BMS) and Charging Controller can be used to implement a secure battery system with any battery technology used.

Sisällys

1.	Johdanto.....	6
2.	Akkujen ominaisuudet.....	7
2.1	Kapasiteetti (Ah), C- ja E-luvut.....	7
2.2	Hyötysuhde.....	7
2.3	Käyttöikä.....	8
2.4	Tehotiheys (W/kg).....	8
2.5	Energiatiheys (Wh/kg)/(Wh/l).....	8
2.6	Thermal runaway.....	8
3.	Markkinoilla saatavilla olevat akkuteknologiat.....	9
3.1	Litiumioniakut.....	9
3.1.1	Litiumpolymeeriakku (LiPO).....	11
3.1.2	Litium-mangaanioksidiakku.....	12
3.1.3	Litiumrautafosfaattiakku (LiFePO).....	13
3.2	Nikkelikadmiumakku.....	14
3.3	Nikkelimetallihydridiakku (Ni-MH).....	15
3.4	Lyijyakut.....	16
3.4.1	AGM-akku.....	16
3.4.2	Geeliakut.....	17
3.5	Markkinoilla olevia kiinnostavia akkujärjestelmiä.....	18
4.	Akkujärjestelmän osat ja turvallisuus.....	21
4.1	Lataus valtakunnallisesta sähköverkosta.....	21
4.2	Offgrid-järjestelmä.....	22
4.3	Ongrid-järjestelmä.....	23
4.4	Invertteri ja lataussäädin (BMS).....	23
4.5	Akun paloturvallisuus konttilämpölaitoksessa.....	23
5.	Akkujärjestelmä dieselgeneraattorin korvaajana.....	24
6.	johtopäätökset ja tulokset.....	26
	Lähteet.....	28

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AC	Alternative current (vaihtovirta)
AGM	Absorbent Glass Mat Battery
Ah	Ampeeritunti
BMS	Battery management system (akuston valvontajärjestelmä)
DC	Direct current (tasavirta)
DoD	Depth of discharge (purkaustaso)
kWh	Kilowatt hour (kilowattitunti)
Li-Ion	Lithium-ion Battery (litiumioniakku)
LiPo	Lithium polymer battery (litiumpolymeeriakku)
LiFePO	Lithium iron phosphate battery (litiumrautafosfaattiakku)
NiCd	Nickel-cadium battery (nikkelikadiumakku)
NiMH	Nickel-metal hybride battery (nikkelimetallihydridiakku)
UPS	Uninterruptible Power Supply (keskeytymätön virransyöttö)
VRLA	Valve regulated lead acid (suljettu lyijyakku)

1. JOHDANTO

Kanditaatintyön tavoitteena oli selvittää, olisiko nykyaikaisella akkuteknologialla kannattavaa korvata Ferroplan Oy:n pienen siirrettävän konttilämpölaitoksen nykyinen diesel-generaattorivaravoimajärjestelmä. Työn tarkoituksena oli tuottaa yritykselle hyödyllistä tietoa jatkosuunnittelua varten, jonka avulla he voisivat valita omaan tarkoitukseensa sopivimman ratkaisun.

Tutkimusmenetelmänä työssä käytettiin kirjallisuusselvitystä. Tutkimuskysymyksiin etsittiin vastauksia kirjallisuudesta sekä internet-lähteistä. Työssä selvitettiin erilaisten akkuteknologioiden ominaisuuksia ja vertailtiin niiden soveltuvuutta yrityksen käyttötarkoitukseen.

Tutkimuksella löydettiin tällä hetkellä markkinoilla olevista akkuteknologioista yrityksen tarpeisiin soveltuvaksi ainakin litiumioniakku, AGM-akku (Absorbent Glass Mat Battery), nikkelikadmiumakku, LiPO-akku (Lithium polymer battery), geeliakku ja LiFePO-akku (Lithium iron phosphate battery). Tutkimuksessa selvisi myös millaisia akkujen latausvaihtoehtoja olisi saatavilla sekä millaisia turvallisuustekijöitä liittyy akkuihin sekä akkujen latausjärjestelmiin. Tutkimus rajattiin koskemaan vain Ferroplan Oy:n lämpölaitoksen kokoluokkaa.

Työssä käydään ensin läpi mitä akkuteknologioita on olemassa ottamalla huomioon kohdeyrityksen tarpeet. Luvuissa erotellaan akut ja akkujärjestelmät. Luvussa 2 kerrotaan akkujen ominaisuuksista ja luvussa 3 akuista sekä niiden kehityksestä. Luvussa 4 kuvataan miten akut liittyvät sähköjärjestelmiin ja käsitellään myös turvallisuutta. Luvuissa 5 ja 6 tarkastellaan onko akkujärjestelmän kannattavuus parempi kuin vanha järjestelmä ja millaiset tekijät vaikuttavat akkujen kannattavuuteen. Sekä kerrotaan miten ratkaisua voitaisiin mahdollisesti soveltaa kohdeyrityksessä ja minkälaista jatkoselvitystä vielä tarvitaan.

2. AKKUJEN OMINAISUUDET

Akuilla on monia ominaisuuksia, joita eri akkuteknologioiden välillä voi olla haastavaa vertailla. Tämän kandityön kannalta merkittäviä vertailtavia ominaisuuksia ovat ainakin akkujen käyttöikä, hinta, turvallisuus, energiatiheys, tehoteho, hyötysuhde, käyttösyklien määrä, jännitetaso, C ja E luvut, nimellisenergia, purkaustaso sekä akun kapasiteetti (MIT 2008). Erityisesti akkujen turvallisuuskysymykset on otettava huomioon, kun niitä käytetään lämpölaitoksessa sekä samoissa tiloissa on myös mahdollisesti varastoituna paineistettua tyyppiä ja happea. On myös hyvä syventyä erilaisten akkuteknologioiden kemialliseen toimintaan, sillä kemiallisen toimintaperiaatteen ymmärtämällä voi ymmärtää mistä asioista esimerkiksi joidenkin akkuteknologioiden räjähdys- tai palamisherkeytykset johtuu.

Akkujen turvallisuusriskit on otettava vakavasti. Monesti ihmisillä on vääränlainen käsitys siitä, miten akut ovat turvallisia ja niiden käyttöön ei liittyisi minkäänlaisia riskejä. Tämä on kuitenkin virheellinen näkemys. Pienetkin akut, esimerkiksi matkapuhelimissa käytettävät akut, voivat aiheuttaa suuria vahinkoja vikaantuessaan. Erityisesti litiumteknologiaan perustuvat akut ovat hyvin vaarallisia, jos laitteen akkujen lataukseen ja purkuun liittyvät valvontajärjestelmät vikaantuvat. Akut voivat vikaantuessaan aiheuttaa oikosulkuja järjestelmiin sekä räjähtää tai syttyä palamaan ja näin aiheuttaa tulipalon riskin. Mahdolliset akkujen aiheuttamat vahingot riippuvat täysin akun sisältämästä kemiasta esimerkiksi litiumakut pitävät sisällään suuren sähköpotentiaalisen energian ja näin ollen niiden vikaantuessa voi aiheutua suurta vahinkoa. Akkujen turvallisuutta tarkasteltaessa onkin hyvä kiinnittää huomio akun käyttäytymiseen purkamisen ja latauksen aikana. Akun stabiilius purkaus- ja lataustapahtumien aikana on turvallisuuden kannalta erittäin tärkeää. Muita ominaisuuksia, joita akkujen turvallisuusnäkökulmasta on hyvä tarkastella ovat muun muassa käyttölämpötila-alue sekä kuinka hyvin akku sietää kosteutta. (Buchmann 2017a)

2.1 Kapasiteetti (Ah), C- ja E-luvut

Akkujen kapasiteetilla tarkoitetaan, paljonko akussa on käytettävissä ampeeritunteja (Ah) tietyllä purkausvirran määrällä. Purkausvirtaa taas merkitään joko C- tai E-luvulla. C-luvulla tarkoitetaan, miten nopeasti kapasiteetti voidaan ladata tai purkaa. Esimerkiksi jos akun C-luku on 1 C niin se tarkoittaa, että 1 Ah:n purkaminen kestää yhden tunnin (Buchmann 2017b). E arvolla ilmaistaan purkausteho, jolla koko akku purkautuu tyhjäksi asti yhdessä tunnissa. Purkaus tasolla (DoD %) ilmaistaan, kuinka paljon akun kapasiteetista on purettu prosentteina suhteessa täyteen kapasiteettiin. Yli 80 % purkaustasoa kutsutaan syväpurkaukseksi (MIT 2008). Käyttösyklillä tarkoitetaan yhtä akun purkua haluttuun purkaustasoon ja latausta takaisin täyteen varaukseen. Yleensä mitä suurempi on purkaustaso, niin sitä vähemmäksi akun käyttösyklit jäävät (MIT 2008).

2.2 Hyötysuhde

Akun energiahyötysuhteella tarkoitetaan hyötysuhdetta, jossa otetaan huomioon akun purku- ja latausvirran C-luku. Akun hyötysuhteeseen vaikuttaa moni asia, kuten akun sisäinen resistanssi, itsepurkautuminen, kemia, ympäristön lämpötila, ja purkaus- sekä latausvirta. Hyötysuhde ilmaisee, miten paljon lataukseen käytettyä energiaa saadaan hyödynnettyä akkua purkaessa. (Buchmann 2017c)

2.3 Käyttöikä

Akun käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, kuinka kauan akku kestää käyttöä ennen kuin sen kapasiteetti on laskenut alle 80 % tasoon alkuperäisestä kapasiteetista. Käyttöiällä voidaan myös tarkoittaa akun käyttösykliä määrällistä arvoa. Esimerkiksi tietty akku voi kestää 3000 käyttösykliä, mutta sen ajallinen käyttöikä on vain käyttäjän tarpeista riippuva. Myöskin akun pitkä käyttämättömyys voi vaikuttaa sen toimintaan ja jopa joidenkin akkujen tapauksessa se voi tulla käyttöikänsä loppuun vain pelkän käytön vähyyden takia. (MIT 2008) Akun käyttöiällä on tämän tutkimuksen kannalta hyvin suuri merkitys akkuja vertailtaessa. Ferroplan Oy:n käyttötarpeisiin akkuja vertailtaessa tulee ottaa akkujen käyttöikä huomioon sekä selvittää halutaanko akkuja käyttää pelkästään varavoiman lähteenä tarvittaessa vai myös purkaa ja ladata useammin mahdollisen muun käytön vuoksi. Tämä vaikuttaa olennaisesti otettaessa huomioon vaaditaanko akulta mahdollisimman hyvää syklistä käyttöikää vai mahdollisimman pitkää käyttöikää akun lataus- ja purkaussykleistä riippumatta.

2.4 Tehotiheys (W/kg)

Tehotiheydellä tarkoitetaan akun suurinta käytössä olevaa tehon määrää suhteessa akun painoon. Akun tehotiheyteen vaikuttaa itse akkuteknologia ja -kemiat. Myös itse akun rakenne ja sen paketointi/kotelointi vaikuttaa sen tehotiheyteen. (MIT 2008)

2.5 Energiatiheys (Wh/kg)/(Wh/l)

Energiatiheydellä kuvataan akun varastoimaa energiakapasiteettia suhteessa akun painoon. Toinen vaihtoehto on tarkastella energiatiheyttä akun tilavuuden suhteen. Energiatiheyteen vaikuttaa akkuteknologiassa käytettävä kemia sekä akun rakenne ja kotelointi (MIT 2008). Tässä tutkimuksessa on järkevää tarkastella energiatiheyttä sekä painon että tilavuuden suhteen. Nämä eivät kuitenkaan ole rajoittavia tekijöitä Ferroplan Oy:n käyttökohteessa.

2.6 Thermal runaway

Termillä thermal runaway tarkoitetaan maksimaalista lämpötilaa, johon akun lämpö voi nousta hallitusti. Jos akun lämpö saavuttaa thermal runaway pisteen, akku voi syttyä hallitsemattomasti tuleen tai räjähtää ja aiheuttaa vaaratilanteita. Thermal runaway litiumakun kohdalla tarkoittaa usein sitä, että yksi akun monista kennoista vian tai kuumenemisen takia lämpenee liikaa ja aiheuttaa näin ollen myös lämpöä muille akkukennoille ympärillään. Jos akun lataus tai purku saadaan kuitenkin katkaistua älykkään kaikkia akun kennoja ohjaavan valvonta-/lataussäätimen ansiosta voidaan välttyä koko akun hallitsemattomalta palolta tai räjähdykseltä. Tämän vuoksi akkua valvova lataussäädin (BMS) on ehdottoman tärkeä ainakin litiumteknologiaan pohjautuvia akkuteknologioita käytettäessä. (allcelltech 2014)

3. MARKKINOILLA SAATAVILLA OLEVAT AKKUTEKNOLOGIAT

3.1 Litiumioniakut

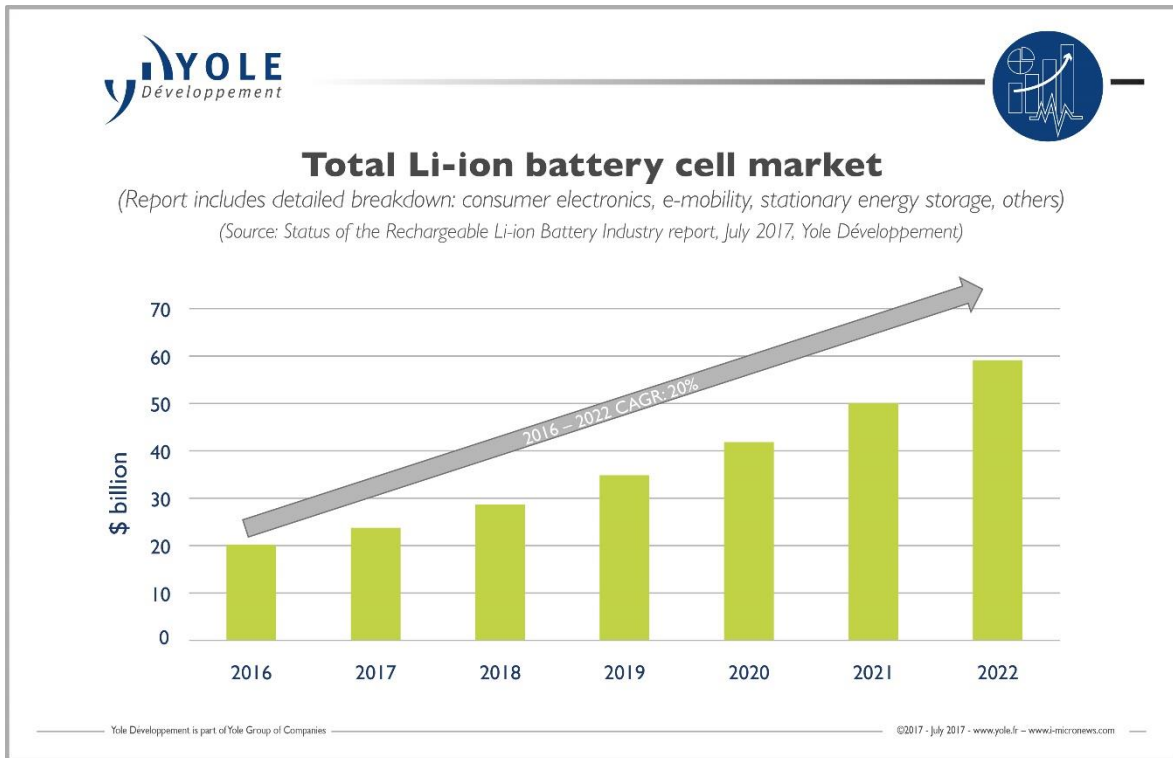
Litium on hyvin akkuihin sopiva materiaali sen keveyden ja voimakkaan sähköpotentiaalisen varauksen ansiosta. Ensimmäiset ladattavat litiumakut tulivat markkinoille 1990-luvun alkupuolella. Litiummetalliakut olivat alkuun herkkiä syttymään tuleen ja sen takia niitä vedettiin paljon pois markkinoilta, kunnes huomattiin käyttää litiumionitekniikkaa, joka on huomattavasti turvallisempaa. Ensimmäinen kaupallinen litiumioniakku oli Sonyn valmistama ja se tuli markkinoille vuona 1991. Litiumioniakut kehittyivät nopeasti 90-luvulla ja nykyään ne ovat hallitseva teknologia akkumarkkinoilla. Uudempia litiumteknologiaan perustuvia akkuteknologioita ovat litiumpolymeeri- ja litiumrautaafosfaattiakut. (Buchmann 2018)

Erilaisia litiumpohjaisia akkuteknologioita on kehitetty paljon ja erityisesti litiumioniakun turvallisuusongelmat ovat saaneet yritykset ajattelemaan turvallisuusnäkökulmaa akkujen kehitystyössä. Nykyään litiumioniakut ovat markkinoilla johtava akkuteknologia, sekä niiden kehitystyöhön panostetaan eniten eri akkuvalmistajien toimesta. Kuvasta 3.1 voidaan huomata, miten litiumakkujen markkinaosuuden arvioidaan kasvavan vuoteen 2022 mennessä. (Knowmade 2017)

Litiumakut hyödyntävät katodin positiivisia elektroneja ja anodin negatiivisia elektroneja sekä elektrolyyttiä johtimena. Litiumakkujen katodi on litiummetallioksidi ja anodi koostuu nykyisissä litiumakuissa huokoisesta hiilestä. Akun purkautuessa ionit virtaavat elektrolyytin ja erottimen läpi anodista katodille. Vastaavasti akun latautuessa ionit kulkevat positiiviselta katodilta kohti negatiivista anodia. Nykyisin monet akkuvalmistajat ovat ottaneet grafiitin käyttöön anodimateriaalina. Grafiitilla on etuna anodimateriaalina se, että sen avulla akun purkauskäyrästä saadaan loivempi. (Buchmann 2018a)

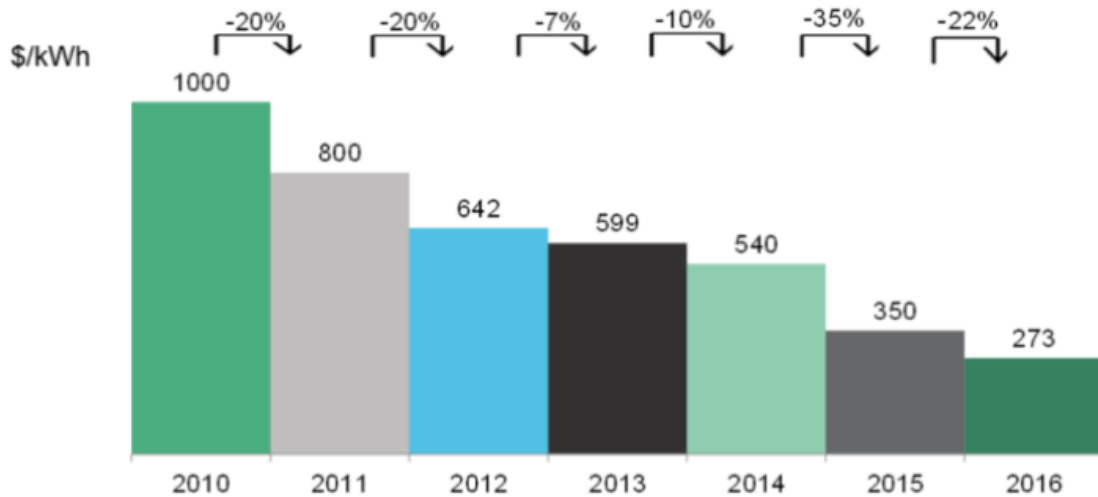
Konttilämpölaitoksen turvalliseen alasajoon tarvittaisiin noin 30 kWh. Litiumioniakut ovat hinnaltaan noin 370–740 €/kWh eli pelkkien litiumioniakkukennojen hinnaksi tulisi noin 11000–22000 euroa. Lisäksi litiumioniakusto vaatii oikealla ja stabiililla tavalla toimiakseen laadukkaan akun lataus- ja purkaussäätimen, joka valvoo akuston toimintaa. Litiumakkujen etuina yrityksen käyttökohteissa on niiden hyvä energiatiheys, sekä niiden hyvä käyttösyklien määrä. Litiumioniakut ovat myös huomattavasti kevyempiä rakenteellisesti kuin esimerkiksi lyijyakkuihin kuuluvat AGM-akut.

Erilaisia litiumioniakkuja on olemassa monenlaisia. Akut eroavat toisistaan niissä käytettyjen aktiivisten materiaalien osalta. Yleisimpiä litiumioniakkuja ovat litiumkoolttioksiidiakku, litium-mangaanioksiidiakku, litium-nikkeli-mangaani-koolttioksiidiakku, litiumrautaafosfaattiakku, litium-nikkeli-kooltti-alumiinioksiidiakku, litium-titanaattiakku ja litiumpolymeeriakku. Tässä tutkimuksessa tarkistellaan näistä akuista tarkemmin litiumrautaafosfaattiakkua, litiumpolymeeriakkua ja litium-mangaanioksiidiakkua. Litiumakkuja hyödyntävistä valmiista akkujärjestelmistä tutustutaan tarkemmin Teslan tarjoamaan Powerwall-akkujärjestelmään ja Tesvoltin tarjoamiin vaihtoehtoihin, sekä Fronius solar battery järjestelmään. Lisäksi tutkimuksessa tutustutaan litium-mangaanioksiidiakkuun, joka on ensimmäisen kerran julkaistu vuonna 1983. Tulevaisuuden vaihtoehtoista litiumilma-akun on ennustettu olevan merkittävässä roolissa sähköenergian varastoinnissa. (Buchmann 2018b)



Kuva 3.1 Litiumioniakkujen markkinaosuuden kehitysennuste vuodesta 2016 vuoteen 2022 (knowmade 2017)

BNEF lithium-ion battery price survey, 2010-16 (\$/kWh)



Kuva 3.2 Litiumioniakkujen hinnan kehitys 2010–2016 (Zart, N. 2017)

3.1.1 Litiumpolymeeriakku (LiPO)

Muista akkutyypeistä LiPo-akku eroaa käytetyn elektrolyytin tyypiltään. Ensimmäisissä litiumpolymeeriakuissa käytettiin kuivaa polymeerielektrolyyttiä, joka eristimenä mahdollisti ionien vaihdon. Polymeerielektrolyytti muistutti alkuun muovista valmistettua kalvoa, jota käytettiin LiPo-akuissa kuitenkin vain 1970–2000. Kuivan polymeerielektrolyytin käyttö lopetettiin, koska sen johtavuus oli huono huoneenlämmössä, jonka vuoksi akuille tarvittiin lämmitystä 60°C asteeseen paremman virran kulun mahdollistamiseksi. Nykyään polymeeriakuissa elektrolyytti on hyytelöidyssä muodossa, joka mahdollistaa akun toiminnan myös normaalissa huoneenlämmössä. Litiumioniakun tavoin LiPo-akun aktiivisena aineena voidaan käyttää vaikkapa kobolttia, fosfaattia ja mangaania. Yleisimmin käytetty on kuitenkin koboltti. (Buchmann, I. 2017a)

Litiumioniakkua ja litiumpolymeeriakkua verrattaessa akuilla ei ole käyttäjän kannalta suurempia eroavaisuuksia. Molemmat akut hyödyntävät samoja anodi ja katodimateriaaleja sekä elektrolyytin määrä on molemmissa sama. LiPo eroaa kuitenkin mikrohuokoisen elektrolyytin avulla litiumionin huokoisesta erottimesta. Suurin rakenteellinen ero akkujen välillä on kuitenkin se, että litiumpolymeeriakku voidaan valmistaa ohuempana ja lähes millaiseen muotoon tahansa pakattuna. Litiumpolymeeriakku ei myöskään tarvitse samanlaista jäykkää kotelointia kuten litiumioniakku, vaan se voidaan pakata esimerkiksi folion tapaiseen kääreeseen, joka vähentää akun painoa merkittävästi. Litiumpolymeeriakulla on myös hiukan korkeampi ominaisenergia verrattuna litiumioniin. Litiumpolymeeriakun turvallisuusominaisuudet ovat samanlaiset kuin litiumioniakulla, sillä se tarvitsee myös akun valvontajärjestelmän. Myös lataus- ja purkausominaisuudet ovat hyvin samanlaiset kuin litiumioniakulla. (Buchmann, I. 2017a)

Taulukko 3.1 Litiumpolymeeriakun ominaisuuksista

Jännite	3,0–4,2 V
Energiatiheys	130–180 Wh/kg 320–370 Wh/l
Latauksen C-luku	Yleensä 1 C
Purkauksen C-luku	20 C, 25 C, 40 C tai jopa 50 C
Käyttösyklit	300–500
Thermal runaway	n.400–600 C
Kennojen hinta	n. 800 €/kWh
Käyttökohteita	Puhelimet sekä muut kannettavat laitteet

(Buchmann, I. 2017a)

3.1.2 Litium-mangaanioksidiaakku

litium-mangaanioksidiaakku on mangaani spinelleistä muodostuva litiumioniakku, joka julkaistiin vuonna 1983. Teknologiassa hyödynnetään mangaanioksidia katodimateriaalina. Litium-mangaanioksidiaakussa ionien virtausta elektrodissa on parannettu kolmiulotteisen spinellirakenteen avulla. Lisäksi rakenteen ansiosta saavutetaan akun pienempi sisäinen resistanssi, sekä parempi virransietokyky. Muita spinellirakenteen etuja on parempi lämpötilastabiilius ja parantunut turvallisuus. Spinellirakenteen vuoksi akun käyttösyklien määrä kuitenkin pienenee, sekä myös ajallinen akun käyttöikä on heikompi. Kennojen alhaisen sisäisen resistanssin vuoksi akkuja on kuitenkin mahdollista ladata nopeasti sekä purkaa suuria virtoja ulos yksittäisestä kennosta (jopa 50 A hetkellisesti). (Buchmann, I. 2018b)

Litium-mangaanioksidiaakkujen käyttökohteita ovat sähkötyökalut, sähkö- ja hybridiajoneuvot sekä erilaiset lääketieteelliset sovellukset. Litium-mangaanioksidiaakun kapasiteetti on kolmasosan verran pienempi kuin yleisimmin käytetyn litiumkoolttiakun kapasiteetti. Litium-mangaanioksidiaakku voidaan kuitenkin halutessaan suunnitella maksimoiden sen käyttöikä, energia- ja/tai tehoitiheys, jolloin sillä voidaan saavuttaa erityistä hyötyä tietyissä käyttökohteissa. (Buchmann, I. 2018b)

Taulukko 3.2 Litium-mangaanioksidiaakun ominaisuuksista

Jännite	3,7–3,8 V
Energiatiheys	100–135 Wh/kg
Latauksen C-luku	0,7–1 C tyypillisesti, enintään 3 C
Purkauksen C-luku	1 C, 10 C ja jopa 30 C
Käyttösyklit	300–700
Thermal runaway	250 °C
Kennojen hinta	300–500 €/kWh
Käyttökohteita	Lääketieteelliset sovellukset, sähkötyökä- lut sekä hybridi- ja sähköautot

(Buchmann, I. 2018b)

3.1.3 Litiumrautafosfaattiakku (LiFePO)

Litiumrautafosfaattiakussa käytetään fosfaattia katodimateriaalina. LiFePO-akku on saanut alkunsa vuonna 1996 Teksasin yliopistossa. LiFePO-akun hyviin ominaisuuksiin kuuluu korkea sähkökemiallinen suorituskyky pienellä resistanssilla. Litiumrautafosfaattiakku omaa myös hyvän käyttösykliden määrän sekä se on lämpötiloille hyvin stabiili ja muutenkin todella turvallinen verrattuna vaikkapa muihin litiumioniakkuteknologioihin. (Buchmann 2018b)

Litiumrautafosfaattiakun nimellisjännitetaso on vain 3,2 V, joka on huomattavan alhainen. Litiumrautafosfaattiakun heikkoihin puoliin kuuluu alhaisten lämpötilojen aiheuttama tehon heikkeneminen, niin kuin monella muullakin akkutyypillä on yleistä. LiFePO-akku omaa myös korkeimman itsepurun litiumakuista. Itsepurkuun voi vaikuttaa hankkimalla korkealaatuiset akkukennot sekä laadukkaan akun ohjauselektronikan akkujärjestelmälle. Nämä saattavat kuitenkin nostaa akkujärjestelmän hintaa melko korkeaksi. LiFePO-akkuja on alettu käyttää perinteisen lyijyakun sijasta ajoneuvojen käynnistysakkuina. Ajoneuvokäytössä tarvitaan neljä litiumrautafosfaattiakkukennoa sarjaan kytkettynä, jotta jännitetaso saadaan nousemaan ajoneuvokäyttöön soveltuvaksi noin 12,8 Volttiin. (Buchmann 2018b)

Taulukko 3.3 Litiumrautafosfaattiakun ominaisuuksista

jännite (V)	3,2 V, tyypillisesti 2,5–3,65 V kenno
Energiatiheys	90–120 Wh/kg
Latauksen C-luku	Yleensä 1 C, 3 tunnin lataus aika, latautuu 3,65 V
Purkauksen C-luku	1 C, joissakin kennoissa 25 C
Käyttösyklit	1000–2000
Thermal runaway	270 °C
Kennojen hinta	n.500–600 €/kWh
Käyttökohteita	Kannettavat sekä kiinteät kohteet, suuri virral- liset ja pitkäaikaiset käyttökohteet

(Buchmann 2018b)

3.2 Nikkelikadmiumakku

Nikkelikadmiumakku on vanha akkuteknologia ja se on keksitty jo vuonna 1899. NiCd-akun kehitystyö oli hidasta 1900-luvun alkupuolella ja se oli materiaalikustannuksiltaan kallis teknologia verrattuna perinteiseen lyijyakkuteknologiaan. Ensimmäinen kehitysaskel nikkelikadmiumakkujen kehitystyössä oli aktiivisten aineiden sijoitus huokoisen nikkelipinnoitetun elektrodin sisään. Myöhemmin huomattiin myös akun sisällä latauksen aikana tapahtuvien reaktioiden aiheuttavan kaasuja, minkä takia nykyiset NiCd-akut ovat umpinaisia. (Buchmann 2018c)

Nikkelikadmiumakut soveltuvat hyvin käytettäväksi ääriolosuhteissa sekä paikkoihin, joissa on alhaisia tai korkeita lämpötiloja. NiCd-akut ovat erittäin luotettavia akkuja ja käyttökohteina onkin hätäpoistumisvalaisimet ja erilaiset varavirta-akkujärjestelmät. NiCd-akut olivat käytössä erityisesti erilaisissa kannettavissa laitteissa, kuten kameroissa ja sähkötyökaluissa aina 1980-luvun loppuun asti. Tämän jälkeen kuitenkin niiden käyttö alkoi vähentyä ja ne korvattiin lähes täysin uudemmilla akkuteknologioilla. (Buchmann 2018c)

Nikkelikadmiumakkujen hyviä ominaisuuksia ääriämpötilan siedon lisäksi on esimerkiksi niiden nopea lataus, pitkä varastointiaika purettuna sekä niiden kestävyys ja suuri käyttösykli määrä vain vähäisellä huollon tarpeella. NiCd-akut edustavat kuitenkin nykyisin jälkeenjäänyttä teknologiaa. Niiden itsepurku on suurta sekä kadmium on materiaalina myrkyllistä ja sen kierrätys asettaa näin ollen omat haasteensa. Myös akkujen energiatiheys on heikko verrattuna nykyisiin kilpaileviin akkuteknologioihin. (Buchmann 2018c)

Taulukko 3.4 Nikkelikadmiumakun ominaisuuksista

Jännite	1,2 V
Energiatiheys	45–80 Wh/kg
Latauksen C-luku	Voi olla yli 1 C
Purkauksen C-luku	Voi olla yli 1 C
Käyttösyklit	1000
Thermal runaway	kun lataus virta kasvaa liian suureksi akku voi räjähtää tai syttyä tuleen
Kennojen hinta	n.400–700 €/kWh
Itsepurku	20 %

(Buchmann 2016a)

3.3 Nikkelimetallihydridiakku (Ni-MH)

Ni-MH-akkujen kehitystyö alkoi vuonna 1967, akkuteknologia oli kuitenkin alkuun kovin epävakaata. Ongelmiin löydettiin kuitenkin ratkaisu 1980-luvulla kehitettyjen hydridiseoksien avulla, jotka paransivat akkujen vakautta. Nykyään nikkelimetallihydridiakut ovat melkein puolet parempia energiatihedeltään kuin nikkelikadmiumakut. Lisäksi Ni-MH-akut eivät sisällä ympäristölle niin myrkyllisiä aineita ja niiden kierrättäminen on kannattavaa niiden sisältämän nikkelin takia. (Fetchenko, et.al 2006)

Nikkelimetallihydridiakkujen tunnetuin käyttösovellus on ladattavat akkuparistot, joita on valmistanut useat eri paristoja valmistavat yhtiöt. Nykyään myös hybridiautoissa sekä sähköautoissa käytetään paljon Ni-MH akkuteknologiaa sen hyvän suorituskyvyn, sekä sähköautoja valmistavien yritysten laajojen vaatimustasojen vuoksi. Nikkelimetallihydridiakut ovat turvallisia ja vakaita, sekä latauksen että latauksen purkauksen aikana. Niiden pakkaus erilaisiin muotoihin on myös helppoa useamman erilaisen kennorakenne vaihtoehdon vuoksi, mikä on eduksi monissa eri käyttösovelluksissa. (Fetchenko, et.al 2006)

Taulukko 3.5 Nikkelimetallihydridiakun ominaisuuksista

Jännite	1,2 V
Energiatiheys	60–120 Wh/kg
Latauksen C-luku	0,5–1 C
Purkauksen C-luku	1 C
Käyttösyklit	300–500
Thermal runaway	latauksen tai purun aikana virran kasvaminen liian suureksi aiheuttaa
Kennojen hinta	n. 500 €/kWh
Itsepurku	30 %

(Buchmann 2016a)

3.4 Lyijyakut

Tutkimuksessa tarkastellaan kahta eri lyijyakkuteknologian akkua. Molemmat ovat suljettuja akkuteknologioita ja niistä käytetään yhteistä nimitystä VRLA-akku (Valve regulated lead acid). Tutkimukseen valikoitui lyijyakkuteknologioista AGM-akku ja geeliakku. VRLA-tyyppiset suljetut lyijyakut ovat suosittuja aurinkopaneelijärjestelmien sähköenergia-varastoina, sillä ne ovat kohtuullisen hintaisia sekä niiden käyttöikä on kohtalaisen pitkä suhteessa järjestelmän hintaan. Lyijyakut ovat kuitenkin energiatiheydeltään huonoja sekä painon, että tilavuuden suhteen.

3.4.1 AGM-akku

AGM-akkuteknologia on tullut yleisesti käyttöön 1980-luvun alussa. Erityisesti sitä käytettiin armeijan lentokoneissa sekä kulkuvälineissä perinteisiin lyijyakkuihin verrattuna kevyemmän rakenteen ja paremman luotettavuuden vuoksi. AGM-akussa rikkihappo on imeytetty todella ohueen hiilikuitumattoon ja näin ollen akun sisällä ei ole varsinaisesti nestettä, jonka vuoksi akku on täysin vuotamaton. Tämä mahdollistaa myöskin akun muotoilun kannalta lisää erilaisia vaihtoehtoja sekä akkua voidaan kuljettaa huolettomammin ja se sietää hyvin kaikenlaista liikuttelua ja tärinää. (Buchmann, I. 2017b)

AGM-akut ovat huoltovapaita ja selkeästi kevyempiä kuin lyijyhappoakut. AGM-akut eivät ole myöskään säilytyksen aikana niin herkkiä sulfatoitumiselle. Sulfatoitumisella tarkoitetaan akun levyjen pinoilla tapahtuvaa lyijysulfaatin kiteytymistä. Lyijysulfaattikiteet eivät ole sähköä johtavia, joten useimmat akut vaurioituvat käyttökelvottomiksi sulfatoitumisen seurauksena. AGM-akkuja voidaankin tämän takia säilyttää pitkiä aikoja varastoituna

täyteen ladattuina. Lisäksi AGM-akut sietävät hyvin matalia lämpötiloja ja niiden itsepurku on pientä. (Buchmann, I. 2017b)

Isoin ero AGM-akun ja perinteisen lyijyakun välillä on kuitenkin se, että AGM-akun lataus on jopa viisi kertaa nopeampi kuin perinteisen lyijyakun lataus. Myöskin AGM-akun 80 % syväpurkaustaso (80 % DoD) on huomattava etu verrattuna perinteiseen lyijyakkuihin. AGM-akun heikompiin puoliin kuuluu alhainen energiatiheys sekä perinteisiin lyijyakkuihin verrattuna korkeammat valmistuskustannukset. Ne ovat kuitenkin edullisempia valmistaa kuin esimerkiksi geeliakut. (Buchmann, I. 2017b)

AGM-akut ovat yleensä kapasiteetiltaan noin 30–100 Ah. Yleisiä Käyttökohteita AGM-akuille ovat ajoneuvot, UPS-käytöt, aurinko-/tuulienergiajärjestelmien akkujärjestelmät, teollisuuskäytöt sekä veneet. AGM-akkuja on erityisesti käytetty moottoripyörissä, koska AGM-akun vuotamattomuus mahdollistaa asennuksen erilaisiin asentoihin, sekä hyvä värinän sietokyky mahdollistaa turvallisen käytön moottorikulkuneuvoissa. (Buchmann, I. 2017b)

Taulukko 3.6 AGM-akun ominaisuuksista

Jännite	2,4 V
Energiatiheys	30–50 Wh/kg
Latauksen C-luku	0,1–0,05 C
Purkauksen C-luku	Suuri virta
Käyttösyklit	1000
Thermal runaway	lyijyakkujen lämmitessä ongelmaksi asettuu niiden muovinen kotelointi, joka alkaa sulaa n. 100 °C lämmössä
Kennojen hinta	n.200 €/ kWh
Itsepurku	50 %

(Buchmann 2017d)

3.4.2 Geeliakut

Geeliakuteknologiaa on alettu kehitellä 1950-luvulla Saksassa ja julkiseen tietoisuuteen geeliakut tulivat 1970-luvulla. Geeliakussa rikkihappo on sekoitettu piioksidia sitovan aineen kanssa ja näin ollen muodostuu geelimäinen kiinteä tahna nestemäisen elektrolyytin korvaajaksi. Geelimäisen rakenteen vuoksi akku on AGM-akun tapaan huoltovapaa perinteiseen nestemäiseen lyijyakkuihin verrattuna. Geeliakut kestävät myös hyvin värinää sekä syväpurkausta, lisäksi niillä on pieni itsepurkaus ja kestävä sekä vuotamaton rakenne. (Buchmann, I. 2017c)

Geeliakun etuja AGM-akkuun verrattuna on sen pidempi käyttöikä sekä geeliakun kyky siirtää lämpöä akun ulkopuolelle tehokkaasti. Geeliakun suorituskyky pysyy sen huippuarvoon saan lähes koko käyttöikänsä ja vasta juuri ennen käyttöikänsä loppua se putoaa nopeasti. Geeliakku sietää myöskin AGM-akkuun paremmin korkeita lämpötiloja sekä akun väärinkäyttöä. Myöskin käyttösyklien määrä on AGM-akkuun verrattuna korkeampi. (Buchmann, I. 2017c)

Geeliakku on valmistuskustannuksiltaan huomattavasti kalliimpi kuin vaikkapa AGM-akku. Geeliakusta saattaa käytön aikana vapautua kaasuja, joten ilmanvaihdon tarve tulee ottaa huomioon geeliakun sijoituksessa/asennuksessa. Geeliakku täytyy myöskin varastoida täyteen ladattuna, jotta sen elinkaari ei lyhene. (Buchmann, I. 2017c)

Taulukko 3.7 Geeliakun ominaisuuksista

Jännite	2,4 V
Energiatiheys	30–50 Wh/kg
Latauksen C-luku	0,1–0,05 C
Purkauksen C-luku	Suuri virta
Käyttösyklit	5–10 vuotta (UPS)
Thermal runaway	lyijyakkujen lämmitessä ongelmaksi asetuu niiden muovinen kotelointi, joka alkaa sulaa n. 100 °C lämmössä
Kennojen hinta	n.300 €/ kWh
Itsepurku	50 %

(Buchmann 2017d)

3.5 Markkinoilla olevia kiinnostavia akkujärjestelmiä

Markkinoilla saatavilla olevia akkuenergiajärjestelmiä on todella paljon. Monet valmistajat tarjoavat modulaarisia vaihtoehtoja, joka tarkoittaa, että järjestelmää on helppo kasvattaa lisäämällä siihen toinen moduuli eli osa ja näin ollen järjestelmää voidaan laajentaa tulevaisuuden tarpeiden niin vaatiessa. Zerohomebills.com verkkosivustolla on tarjolla monien laitevalmistajien valmiita akkujärjestelmiä, joissa osassa järjestelmä pitää sisällään kaiken tarvittavan, mutta joissakin jotain ominaisuuksia järjestelmä yksinään ei kykene suorittamaan. Seuraavaksi lueteltuna muutama mielenkiintoinen vaihtoehto valmiista sähköenergianvarastointijärjestelmästä ja tietoja niiden ominaisuuksista.

TESVOLT TS

Täysin valmis järjestelmä, joka perustuu litiumioniteknologiaan ja jännitetasoltaan se on 48 V järjestelmä. Järjestelmä on mahdollista koota yksittäisistä 4,8 kWh moduuleista, joita on mahdollista yhdistää 16 kpl yhden ohjainyksikön ohjattavaksi. Tesvolt järjestelmä kykenee luomaan oman sähköverkon ja näin ollen sen avulla voidaan toteuttaa täydellinen offgrid-järjestelmä. Akkujen lataus on mahdollista toteuttaa tuuli- ja aurinkovoimaloiden lisäksi myös dieselgeneraattorin avulla sekä suoraan valtakunnallisesta sähköverkosta. Järjestelmää voidaan käyttää myös varavoiman lähteenä. (zerohomebills 2019a)

TESVOLT TSP 200–800 kWh

Tesvolt tarjoaa myöskin konttiratkaisuna valmiiksi konttiin pakattua akkuenergiajärjestelmää, jonka kapasiteettia on mahdollista säädellä asiakkaan tarpeiden mukaisesti 200 kWh aina 800 kWh asti. Järjestelmä on Tesvolt TS:n tavoin toteutettu litiumioniakuteknologialla ja se kykenee toimimaan TS-järjestelmän tavoin täysin offgrid-toteutuksena. Ferroplan Oy:n konttilämpölaitoksen osaksi olisikin mielestäni helppo lisätä konttimuotoon pakattu akkujärjestelmä. Toisaalta järjestelmä 200 kWh:n kapasiteetilla voi olla jopa liian iso yrityksen tarpeisiin kuitenkin riippuen yrityksen käyttötarpeiden mahdollisesta monipuolisuudesta. (zerohomebills 2019b)

FRONIUS SOLAR BATTERY SYSTEM 12.0

Järjestelmä on kapasiteetiltaan 12 kWh ja se on toteutettu litiumrautafosfaattiakuilla. Järjestelmä lupaa 8000 käyttösykliä ennen kuin akkujen kapasiteetti on laskenut 80%. Järjestelmän jännitetaso on korkea 320–460 V. Kyseisen järjestelmän kokonaishinta oli zerohomebills.com verkkosivustolla noin 9500 €. (zerohomebills 2019c)

BYD B-BOX PRO 41.4 KW BATTERY STORAGE WITH VICTRON MULTIPLUS-II

Zerohomebills verkkosivustolla on tarjolla BYD B-BOX 41.4 KW niminen järjestelmä, jonka kapasiteetti on 41,4 kWh. Järjestelmän jännitetaso on 48 V ja järjestelmän akut perustuvat litiumrautafosfaattiteknologiaan. Järjestelmän pakettiin kuuluu mukaan victron multipius 2 invertteri/lataussäädin ja tarvittavat kaapeloinnit järjestelmän osien yhdistämiseen. BYD B-BOX järjestelmälle luvataan 10 vuoden takuu sekä yli 6000 käyttösykliä. Järjestelmällä on painoa noin 261 kg ja käyttölämpötila alueeksi on ilmoitettu –10–+50 °C. BYD B-BOX järjestelmälle jää hinnaksi tämänhetkisen valuuttakurssin mukaan noin 21 966 €. Kyseisen valmistajan vastaavaa järjestelmää on saatavana myös 27,6 kWh kapasiteetilla, jonka hinnaksi muodostuu tällöin tämänhetkisen valuuttakurssin mukaan noin 16 235 €. (zerohomebills 2019d)

HOPPECKE SUN POWERPACK CLASSIC 22 kW 48 V SOLAR BATTERY

Järjestelmä pitää sisällään AGM-akuteknologiaan perustuvat akkukennot, tarvittavan kaapeloinnin invertterin liittämiseen järjestelmään, lataussäätimen sekä sulakkeet. Järjestelmän kapasiteetti on 22 kWh ja sen jännitetaso on 48 V. Järjestelmä tarvitsee siis lisäksi invertterin. Kyseisen järjestelmän hinnaksi tämänhetkisen valuuttakurssin mukaan muodostuu noin 6700 €. Järjestelmän lisäksi tarvittavaksi invertteriksi soveltuu esimerkiksi zerohomebills verkkosivustolla saatavissa olevista inverttereistä VICTRON QUATTRO 48 V 15 kW,

joka kykenee 15 000 W ulostulotehoon sekä hetkellisesti jopa 25 000 W tehopiikkiin. Kyseisen invertterin ja Hoppecke sun powerpack akkujärjestelmän yhteishinnaksi tulee noin 10460 €, josta invertterin osuus siis noin 3760 €. (Zerohomebills 2019e), (Zerohomebills 2019f)

TESLA POWERWALL

Tesla tarjoaa markkinoilla akkujärjestelmää, joka sisältää kaiken tarvittavan. Järjestelmän nimi on powerwall ja se perustuu litiumioniakkuteknologiaan. Järjestelmä on kompaktin kokoinen ja helppo sijoittaa. Lisäksi se on myös hinnaltaan kilpailukykyinen markkinoilla oleviin saman kokoluokan vaihtoehtoihin verrattuna. Yhden 14 kWh Teslan Powerwall akkujärjestelmän hinta on 7910€ (Tesla 2018).

Powerwall voidaan ladata vaikkapa aurinkopaneelien avulla, mutta sen lataus onnistuu myöskin normaalista verkkovirrasta. Powerwall-akkua voidaankin hyödyntää vaikkapa kodin energian lähteenä yön aikana, kun aurinkopaneelien tuottamaa sähköä ei ole saatavissa. Powerwall-järjestelmän avulla voidaan myös alentaa sähkön ajallisesta hinnanvaihtelusta aiheutuvia kustannuksia. Tämä onnistuu hyödyntämällä varastoitua sähköenergiaa akkujärjestelmästä, kun valtakunnallisesta sähköverkosta ostettava sähköenergian hinta on suurimmillaan. (Tesla 2019)

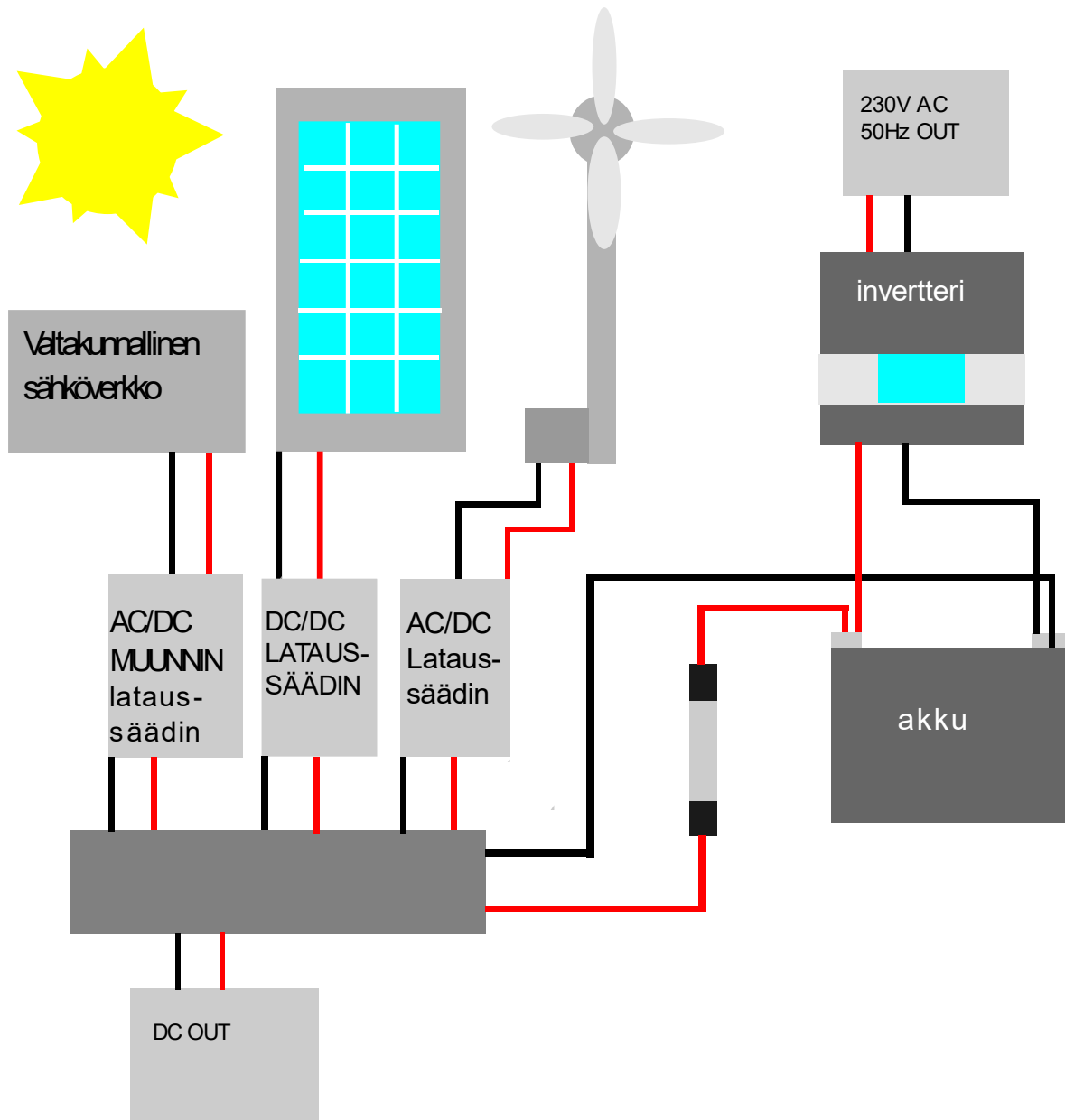
Powerwall-akkujärjestelmää voidaan hallita Teslan mobiiliapplikaation avulla. Powerwall vaatii kuitenkin internetyhteyden toimiakseen mobiiliapplikaation kanssa yhdessä. Internetyhteyden katketessa powerwall ei kuitenkaan lakkaa toimimasta, vaan se toimii viimeksi laitteistolle ohjattujen käskyjen mukaan. Tällä hetkellä powerwall-järjestelmä ei voi toimia täysin offgrid-järjestelmänä, mutta kehitteillä on jo versio, joka kykenee toimimaan täysin offgrid-toteutuksena. Kyseinen järjestelmä ei ole kuitenkaan vielä kaupallisilla markkinoilla. (Tesla 2019)

4. AKKIJÄRJESTELMÄN OSAT JA TURVALLISUUS

Akkujärjestelmä vaatii toimiakseen halutulla tavalla monia osia, kuten akkukennot, lataus-/purkaussäätimen, sulakkeet, kaapeloinnin, sekä mahdollisesti invertterin. Lisäksi akun lataustapa voi asettaa lisävaatimuksia akkujärjestelmän osien suhteen. Seuraavaksi tutustutaan yksinkertaisen mallikuvan (kuva 4.1) avulla akkujärjestelmän osiin sen lataustavan ollessa verkkosähkö, aurinkopaneeli, tuulivoimala tai vaikka kaikkien näiden yhteistyöllä toteutettu latausjärjestelmä. Lisäksi selvitetään millaisia paloturvallisuushkia akkujen käytöstä voi aiheutua ja mitä niiden takia tulisi ottaa huomioon akkujärjestelmää suunniteltaessa.

4.1 Lataus valtakunnallisesta sähköverkosta

Tarkastellaan ensin akkujärjestelmän osia latauksen ollessa toteutettu pelkän verkkosähkön avulla. Tällaisessa toteutuksessa akun rooli järjestelmässä on todennäköisesti pelkkä varavirran käyttö, mutta ehkäpä myös akulla voitaisiin tasoittaa sähkön hinnan vaihtelusta aiheutuvaa ajallista kustannusten huojuntaa. Akun latauksen tapahtuessa valtakunnallisesta sähköverkosta tarvitsee 230V 50 Hz vaihtovirta (AC) muuntaa tasavirraksi, jotta akun lataus onnistuu. Tähän tarvitaan AC-DC-muunnin/-lataussäädin, jonka avulla saadaan akulle sopiva tasavirta (DC) ulos. Lisäksi tarvitaan itse akkukennot, jotka voivat olla teknologialtaan oikeastaan mitkä tahansa, erityisesti akuille suunniteltu jännitetaso vaikuttaa akkujen valintaan. Useita akkuja sarjaankytkemällä voidaan akkujärjestelmän jännitetasoa muokata halutun suuruisiksi, useimmiten akun jännitetaso on kuitenkin alle 50 V (suojajännite), esimerkiksi 12 V, 24 V tai 48 V. Lataussäätimen ja akuston välille on tarpeen asentaa myös sopivan kokoinen sulake estämään laitteiston vikaantuessa liian suuren virran pääsyn akustolle. Lataussäätimen jälkeen voidaan myös ottaa ulos tasavirtaa esimerkiksi konttilämpölaitoksen valaistuksen tarpeisiin (12 V, 24 V tai 48 V led). Akustoon varastoitunut sähköenergia voidaan haluta purkaa esimerkiksi valtakunnallisessa sähköverkossa tapahtuneen sähkökatkon tai sähköenergian ajallisen korkean hinnan vuoksi. Tällöin tarvitaan akustolle varastoitunut tasavirta (DC) muuntaa laitoksen laitteille sopivaksi vaihtosähköksi 230 V 50 Hz AC. Tähän toimenpiteeseen tarvitaan invertteriä, jonka avulla akussa varastoituneena oleva tasavirta voidaan vaihtosuunnata vaihtovirraksi.



Kuva 4.1 Akkujärjestelmän osien ja latausvaihtoehtojen yksinkertaistettu kuvaus

4.2 Offgrid-järjestelmä

Offgrid-järjestelmällä tarkoitetaan, järjestelmää, joka ei ole yhteydessä valtakunnalliseen sähköverkkoon. Offgrid-järjestelmä vaatii siis aina oman sähköenergian lähteensä, jolla tuotetaan sähköenergiaa järjestelmässä olevien sähkölaitteiden käyttöön sekä järjestelmän akkujen lataukseen. Offgrid-järjestelmään kuuluvia osia ovat sähköenergian tuottamiseen tarvittavat esim. aurinkopaneelit tai tuulivoimalat. Lisäksi järjestelmään kuuluu akusto ja sen latauksen ja purkauksen säädin, jotta akut toimivat halutulla tavalla ja niiden käyttöikä on halutunlainen. Järjestelmä vaatii myös invertterin, jotta akustolta saatava tasavirta pystytään muuttamaan vaihtosähköllä toimiville laitteille soveltuvaksi sekä jännitetaso muokataan 230 V verkkosähköön tarkoitettujen laitteiden käyttöön soveltuvaksi. Offgrid-järjestelmän toteutus vaatii myös sähköverkolle 50 Hz taajuustason, sillä se on normaali sähköverkon

toimintataajuus ja sähkölaitteiden toiminnalle edellytys. Mikäli akun lataus toteutetaan tuulivoimalasta, niin tarvitaan sellainen lataussäädin, joka muuntaa tuulivoimalasta saatavan vaihtovirran tasavirraksi. Lataustavan ollessa aurinkopaneeli, lataussäätimen ei tarvitse muokata vaihtovirtaa tasavirraksi, sillä aurinkopaneelilta tulee tasavirtaa. Aurinkosähköjärjestelmässä voidaan kuitenkin joutua muuntamaan jännitetasoa akkujärjestelmän lataukselle sopivaksi. Järjestelmän lataussäätimelle asetamat vaatimukset ovat siis riippuvaisia siitä, millaisella lataustavalla akkuja halutaan ladata.

4.3 Ongrid-järjestelmä

Ongrid-järjestelmällä tarkoitetaan, että järjestelmä on yhteydessä valtakunnalliseen sähköverkkoon, eikä toimi itsenäisenä järjestelmänä. Eli sähköenergian siirtoa tapahtuu järjestelmän ja valtakunnallisen sähköverkon välillä molempiin suuntiin sekä sähköön ostoa heikon oman sähköntuotannon aikana ja sähköön myyntiä oman järjestelmän ylituotannon aikana. Ongrid-järjestelmään voi kuulua osana myös aurinkopaneeli, tuulivoimala tai vaikka dieselgeneraattori. Ongrid-järjestelmän suurin ero offgrid-järjestelmään verrattuna on kuitenkin se, että järjestelmän tulee kyetä muodostamaan itsenäinen sähköverkko, jonka avulla sähköverkkoon kytketyt laitteet toimivat turvallisesti.

4.4 Invertteri ja lataussäädin (BMS)

Invertteri/vaihtosuuntaaja on laite, joka muuntaa tasajännitteen halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi. Invertterit on yleisesti toteutettu transistoripohjaisilla pääteasteilla, jotka katkovat sisään tulevaa tasavirtaa muodostaen kanttiaallon.

Lataussäädin ja/tai BMS (battery management system) on laitteisto, joka valvoo akun latausta, että se tapahtuu hallitusti ja oikeansuuruisella virralla. Laitteisto valvoo myös akun käyttäytymistä latauksen aikana, jos jotain poikkeavaa tapahtuu akun latauksen aikana, järjestelmä keskeyttää akun latauksen tai muuttaa latausvirtaa esimerkiksi pienemmäksi. (Buchmann 2019)

4.5 Akun paloturvallisuus konttilämpölaitoksessa

Akkujärjestelmän paloturvallisuus on otettava huomioon tärkeänä osana lämpövoimalaitoksessa, koska konttilämpölaitosympäristössä on mahdollisesti myös varastoituna paineistettua vetyä ja happea. Lisäksi lämpötilat voivat nousta korkeiksi eri lämpölaitoksen tiloissa. Paloturvallisuusasioista tulee selvittää akun sijoittaminen paloturvallisesti sekä mahdolliset riskitekijät, jotka voivat aiheuttaa akkujen tulipalo- ja räjähdysriskejä kyseisessä toimintaympäristössä. Akkujen kannalta merkittävin turvallisuusuhka on thermal runaway eli akkujen hallitsematon syttyminen tai räjähdys. Merkittävin tekijä tämän estämiseksi on riittävät akkujen valvontajärjestelmät, jotka kykenevät keskeyttämään akkujen latauksen tai purkamisen, jos havaitaan liiallista lämpenemistä akkukennoissa. (Andrew F. Blum, R. Thomas Long Jr. 2016)

5. AKKUJÄRJESTELMÄ DIESELGENERAATTORIN KORVAAJANA

Akkujärjestelmän kannattavuutta dieselgeneraattorin korvaajana ei ole aivan yksiselitteistä vertailla pelkkien järjestelmien kustannusten avulla. Akkujärjestelmää on yleensä järkevää käyttää myös muuten kuin pelkkänä varavoiman lähteenä. Järjestelmää voidaan hyödyntää kyseisessä käyttökohteessa esim. tasoittamaan sähköenergian kulutuspiikkejä laitoksessa, sekä myöskin tasoittamaan sähköenergian hinnan ajallisesta vaihtelusta aiheutuvia hinnan vaihteluja. Akusto voidaan esimerkiksi ladata yöllä halvemman sähkön hinnan aikaan ja purkaa päivällä korkeimman sähkön hinnan aikaan ja saadaan näin ollen säästöä sähköenergian hinnassa. On kuitenkin huomioitava akun käytöstä aiheutuvat kustannukset. Akkuenergiajärjestelmän osaksi voi olla myös järkevää liittää jokin sähköenergiaa tuottava uusiutuvaa energiantuotantotapaa hyödyntävä järjestelmä, kuten aurinkopaneelijärjestelmä tai tuulivoimala. Tämä lisää järjestelmän osien kustannuksia, mutta voi pitkällä aikavälillä olla kuitenkin erittäin kustannustehokas ratkaisu riippuen kuitenkin voimalaitoksen käyttökohteesta. Jos toimintaympäristönä on päiväntasaajan seutu, on aurinkopaneeli erittäin järkevä vaihtoehto akkujen lataukselle riippuen kuitenkin käyttöasteesta. Sijoituksen ollessa meren rannikon läheisyydessä voi taas pienen tuulivoimalan liittäminen osaksi järjestelmää olla erittäin kannattavaa. Kuitenkin on selvitettävä onko pientuulivoimala kannattavaa perustaa sen korkeiden kustannusten vuoksi. Yrityksen käyttökohteesta saamani tietojen mukaan tehoa järjestelmä tarvitsisi noin 10–15 kW ja turvalliseen alasajoon menisi noin 1–2 tuntia eli akuston tulisi olla kapasiteetiltaan noin 20–30 kWh. Kuitenkin jatkosuunnittelussa on huomioitava halutaanko järjestelmää ylimitoittaa akkujen mahdollisen muun käytön vuoksi tai halutaanko ylimitoituksella luoda lisää varmuutta järjestelmän turvallisuudelle.

Vertailtaessa akkuenergiajärjestelmää dieselgeneraattoriin hankintakustannuksiltaan litiumrauta-fosfaattiakkujärjestelmä on kalliimpi, esimerkiksi BYD B-BOX järjestelmä (21 966 €). Kuitenkaan suora vertailu pelkkien hankintahintojen perusteella ei mielestäni ole järkevää tässä yhteydessä. Huomioitavia tekijöitä on monia, kuten dieselgeneraattorin ja akkuenergiajärjestelmien oletetut käyttöiät ja niiden elinkaaren aikaiset muut kustannukset, kuten käyttökustannukset. Akkuenergiajärjestelmä ei tarvitse erillistä polttoainetta, vaan joko omalla tuotannolla saatavaa tai ostettavaa sähköä toisinkuin dieselgeneraattori, joka vaatii dieselpolttoainetta. Polttoaineen säilytys ja säännölliset täydennykset voivat asettaa omia haasteitaan mahdollisesti vaihtelevissa toimintaympäristöissä. Lisäksi dieselgeneraattorin käyttö varavoiman lähteenä voi olla ympäristönäkökulmat huomioiden epäekologinen vaihtoehto.

Yritykseltä saamani tietojen mukaan heillä tällä hetkellä käytössä olevan dieselgeneraattorin kokonaishinnaksi on tullut noin 15 000 € pitäen sisällään kaiken tarvittavan kaapeloinnin, jotta järjestelmä kykenee toimimaan varavoimanlähteenä automatisoidusti. Kuitenkin selvisi myöskin, että dieselgeneraattorin kytkeminen osaksi laitoksen automaatiojärjestelmää ei ollut aivan helppo tehtävä ja vaati ulkopuolisten toimijoiden avustusta saada järjestelmä toimimaan automatisoidusti. Diesel-generaattorin käyttö varavoimana on Suomen laadukkaan sähköjakeluverkon vuoksi melko vähäistä, joten diesel-generaattorista aiheutuvat käytön-aikaiset kustannukset ovat melko mitättömät. Diesel-generaattorin vähäisen käytön vuoksi siitä aiheutuvien huoltokustannuksien suuruus jää myöskin mitättömäksi. Käytöstä aiheutuvat ainoat kustannukset ovat lähinnä polttoainekustannuksia. Järjestelmän toiminta on kuitenkin hyvä tarkistaa esimerkiksi automatisoiduilla käynnistyksillä kerran viikossa, jotta voidaan varmistua laitteiston toiminnasta tarpeen vaatiessa.

Kustannuksiltaan tällä hetkellä laitoksessa oleva diesel-generaattori tulee halvemmaksi verrattuna esim. BYD BOX-B 41.4 kWh järjestelmään (21 966 €). Kuitenkin on otettava huomioon akkujärjestelmän käytön monipuolisuus ja sitä kautta saatavat mahdolliset muut etuudet suhteessa dieselgeneraattoriin, jonka käyttö Suomen olosuhteissa jää sähköverkon hyvän toimintavarmuuden vuoksi melko vähäiseksi todellisuudessa. Akkujärjestelmän hintaan kuitenkin vaikuttaa järjestelmältä vaadittava kapasiteetti, jos lämpövoimalaitos pystytään ajamaan turvallisesti alas esim. BYD B-BOX 27.6 kWh järjestelmällä hinta tippuu roimasti alaspäin noin 16 235 €, jolloin se on kilpailukykyisempi dieselgeneraattorin kanssa.

Kyseisessä lämpövoimalaitoskäytössä kuitenkin akuilta vaadittavat ominaisuudet eivät aseta rajoitteita akkuteknologian suhteen. joten järjestelmä voidaan toteuttaa vaikkapa AGM-akkuteknologialla, jolloin akkukennojen hinta saadaan kustannustehokkaammaksi. Pelkkien akkukennojen hinta ei kuitenkaan riitä toimivan järjestelmän aikaansaamiseen, tarvitaan myös invertteri, lataus/purkaussäädin ja tarvittavat kaapeloinnit sekä sulakkeet. Zerohomebills verkkosivustolta on saatavissa Hoppecke sun powerpack (22 kWh) AGM-akkujärjestelmä sekä Victron quattro invertterin yhteishintaan 10460 €.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOKSET

Akkuteknologian kannattavuudesta pienessä siirrettävässä konttilämpölaitoksessa voin todeta, että se on mielestäni ekologisesti järkevä ja kannattava vaihtoehto, jos akkuja pystytään hyödyntämään varavoiman lisäksi muussakin käytössä. Ferroplan Oy:n kanssa käydyissä palavereissa on myös käynyt ilmi, että tällä hetkellä käytössä oleva dieselgeneraattori varavirtalähteenä on erittäin epäluotettava käynnistymään, ellei sitä ole käytetty säännöllisin väliajoin. Omasta mielestäni nykyaikaista akkuteknologiaa oikein asennettuna ja varastoituna oikeanlaisissa olosuhteissa voidaan pitää erittäin luotettavana varavirran lähteenä.

Akkuteknologian kannattavuutta kyseisessä käyttökohteessa tukee myös ajatus siitä, että erilaisia latausvaihtoehtoja akuille on olemassa monenlaisia. Akuille saadaan latausvirtaa itse laitoksen omalla sähkötuotannolla, kunhan laitos on saatu ensin käyntiin sekä lataus voidaan toteuttaa myös verkkosähköllä järjestelmän ollessa ongrid-järjestelmä. Laitokseen voidaan lisäksi lisätä myös aurinkopaneelijärjestelmä tai pieni paikallinen tuulivoimala, joka mahdollistaa myös laitoksen toiminnan offgrid-järjestelmänä. Aurinkopaneeli- tai tuulivoimajärjestelmän lisääminen laitokseen nostaa kuitenkin laitoksen kustannuksia ja näin ollen saattaa vaikuttaa sen kannattavuuteen. Kuitenkin jos laitoksen sijoitus on aurinkoisessa paikassa esimerkiksi maassa, joka sijaitsee päiväntasaajan lähistöllä voi aurinkopaneelijärjestelmä olla erittäin kannattava osa laitoksen sähköntuotantojärjestelmää. Akkujärjestelmää oikein käytettynä kuitenkin pidän itse ainakin luotettavuutensa ja myöskin yrityksen kokoluokassa taloudellisuutensa vuoksi kannattavana vaihtoehtona dieselgeneraattorin korvaajana.

Akkuteknologioiden selvityksessä kävi ilmi, että erilaisia akkutekniikoita on markkinoilla paljon ja ne eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan huomattavissa määrin, myös akkujen hinnat eroavat paljon riippuen teknologiasta. Akkujärjestelmiä on saatavissa markkinoilta niin sanotusti avaimet käteen paketteina, mitkä pitävät sisällään kaiken mitä Ferroplan Oy:n käyttötarkoituksiin tarvitaan. Järjestelmän osat voi myös hankkia erikseen eli tarvitaan akkukennot, latauksen/purkauksen säädin, jonkinlainen akkujen valvontajärjestelmä erityisesti litiumakkuja käytettäessä on tarpeen. Lisäksi invertteri, jolla saadaan järjestelmä vastaamaan normaalia sähkönjakeluverkosta saatavaa vaihtovirtaa. Järjestelmän hintoja voidaan siis vertailla, jos koko järjestelmä ostetaan pakettina tai jos järjestelmän osat ostetaan erikseen. Tämänhetkisellä tietämykselläni voin sanoa, että akkujärjestelmän luotettavuus kasvaa, kun se on kokonaisuutena hankittu samalta laitevalmistajalta.

Akkujärjestelmää valittaessa yrityksen käyttökohteisiin ei akkuteknologialla ole ominaisuuksien kannalta rajoittavia tekijöitä. Kuitenkin tämän selvityksen perusteella voidaan havaita, että nikkelikadiumpohjaisia akkuteknologioita ei ole markkinoilla yrityksen kannalta sopivassa kokoluokassa helposti saatavilla. Erilaisia litiumakkuteknologioihin pohjautuvia akkujärjestelmiä on tämän katsauksen mukaan markkinoilla helposti saatavilla, kuten myös AGM-akkuja yritykselle sopivassa kokoluokassa. Tämän katsauksen mukaan voidaan siis todeta, että litiumakkuteknologiat yleistyvät hurjaa vauhtia ja niiden hinnat laskevat myös yleistymisen myötä. Molempia sekä litiumteknologioihin perustuvia akkuteknologioita, että AGM-akkuja on hyvin saatavilla kaupallisilla markkinoilla ja ne ovatkin sitä kautta yrityksen käyttökohteeseen parhaiten soveltuvia teknologioita. Huonoiten yrityksen

käyttökohteeseen soveltuu tutkimukseni perusteella nikkelikadiumakut, sillä ne pitävät sisällään vaikeasti kierrätettäviä ympäristölle haitallisia myrkkyjä, sekä niiden itsepurku on suurta ja ne ovat energiatiheydeltään heikompia verrattaessa litiumakkuteknologioihin. Kustannuksiltaan kannattavimmaksi tulee tekemäni selvityksen mukaan järjestelmän toteuttaminen AGM-akkuteknologiaan pohjautuvilla akkukenoilla sekä erillisen invertterin ja lataussäätimen hankinnalla. Kuitenkin valmis akkuenergiajärjestelmäpaketti on toimintavarmin ja helpoin ratkaisu.

Yritys voi hyödyntää saatuja tuloksia pienen siirrettävän konttilämpölaitoksen jatkosuunnittelussaan. Yrityksen kannalta merkittäviä asioita jatkosuunnittelun kannalta on akkujärjestelmän mahdollinen muu hyödyntäminen varavoiman lisäksi. Akkujen koon mitoituksen kannalta onkin tärkeää tietää mahdolliset muut käyttökohteet akustolla varastoitavalle energialle. Jatkosuunnittelussa yritys voi myös pohtia mikä olisi mahdollisesti paras lataustapa akustolle ja selvittää mahdollisesti aurinko ja/tai tuulisuusolosuhteita oletetussa lämpövoimalaitoksen sijoitusympäristössä mahdollisen pienen aurinko tai tuulivoimalan perustamista varten.

LÄHTEET

Allcelltech, 2014 Prevent thermal runaway propagation [verkkodokumentti] saatavissa: <http://www.allcelltech.com/index.php/technology/pcc-thermal-management/prevents-thermal-runaway>

Andrew F. Blum, R. Thomas Long Jr. 2016. Fire Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Energy Storage Systems. New York, NY: Springer New York.

Buchmann, I. 2015. Charging at High and Low Temperatures. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_at_high_and_low_temperatures

Buchmann, I. 2016a. Summary Table of Nickel-based Batteries. [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_215_summary_table_of_nickel_based_batteries

Buchmann, I. 2016b. Summary Table of Lithium-based Batteries. [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_216_summary_table_of_lithium_based_batteries

Buchmann, I. 2017a. Lithium-polymer: substance or hype? [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype

Buchmann, I. 2017b. Absorbent Glass Mat (AGM) [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm

Buchmann, I. 2017c. Gel lead acid battery [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_201b_gel_lead_acid_battery

Buchmann, I. 2017d. Summary Table of Lead-based Batteries [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_214_summary_table_of_lead_based_batteries

Buchmann, I. 2018a. How do Lithium Batteries Work? [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries

Buchmann, I. 2018b. Types of Lithium-ion [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion

Buchmann, I. 2018c. Nickel based batteries [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries

Buchmann, I. 2019. Battery Management System (BMS) [verkkodokumentti] saatavissa: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_monitor_a_battery

EPEC engineered technologies, 2018. BATTERY CELL COMPARISON [verkkodokumentti] saatavissa: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>

Fetchenko, M.A, Ovshinky, S.R, Reichman, B, Young, K, 2006 Recent advances in NiMH battery technology [verkkodokumentti] saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0378775306021215?via%3Dihub>

knowmade. 2017. e-mobility-new-eldorado-li-ion-batteries [verkkodokumentti] saatavissa: <http://www.knowmade.com/e-mobility-new-eldorado-li-ion-batteries/>

Leino, R. 2015. Sähkön varastointi vielä lapsenkengissä – Akku on rajallinen energiavarasto. [artikkeli] saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/sahkon-varastointi-lapsenkengissa-akku-on-rajallinen-energiavarasto-3482107>

MIT Electric Vehicle Team 2008. A Guide to Understanding Battery Specifications. [verkkodokumentti]. saatavissa: http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf

Schneider, B. 2018. A Guide to Understanding LiPo Batteries. [verkkodokumentti] saatavissa: <https://rogershobbycenter.com/lipoguide/>

Tesla, 2018. POWERWALL [verkkodokumentti] saatavissa: https://www.tesla.com/fi_FI/powerwall

Tesla, 2019. Powerwall Overview [verkkodokumentti] saatavissa: <https://www.tesla.com/support/energy/learn/powerwall/overview>

Zart, N. 2017. Batteries keep on getting cheaper [verkkodokumentti] saatavissa: <https://cleantechnica.com/2017/12/11/batteries-keep-getting-cheaper/>

Victron energy, 2018. Lisää ominaisuuksia. [verkkodokumentti] saatavissa: <https://www.victronenergy.fi/inverters-chargers/multiplus-ii>

Zerohomebills, 2019a. TESVOLT TS 50 – 43.2 KWH BATTERY STORAGE SYSTEM [verkkodokumentti] saatavissa: <https://zerohomebills.com/product/tesvolt-ts-50-43-2-kwh-battery-storage-system/>

Zerohomebills, 2019b. TESVOLT TPS 200-864KWH LITHIUM BATTERY STORAGE ALL-IN-ONE 20FT CONTAINER. [verkkodokumentti] saatavissa: <https://zerohomebills.com/product/tesvolt-tps-200-864kwh-lithium-battery-storage-all-in-one-20ft-container/>

Zerohomebills, 2019c. FRONIUS SOLAR BATTERY SYSTEM 12KW. [verkkodokumentti] saatavissa: <https://zerohomebills.com/product/fronius-solar-battery-system-12kw/>

Zerohomebills, 2019d. BYD B-BOX PRO 41.4 KW BATTERY STORAGE WITH VICTRON MULTIPLUS-II. [verkkodokumentti] saatavissa: <https://zerohomebills.com/product/byd-b-box-pro-41-4-kw-battery-storage-with-victron-multiplus-ii/>

Zerohomebills, 2019e. HOPPECKE SUN POWERPACK CLASSIC 22 KW 48V SOLAR BATTERY [verkkodokumentti] saatavissa: <https://zerohomebills.com/product/hoppecke-sun-powerpack-classic-22-kw-48v-solar-battery/>

Zerohomebills, 2019f. VICTRON QUATTRO 48/15000-200-100/100 15KW OFF-GRID SOLAR [verkkodokumentti] saatavissa: <https://zerohomebills.com/product/victron-quattro-15kw-48v-inverter-and-charger/>

Zhengcheng Zhang, Sheng Shui Zhang 2015. Rechargeable Batteries: Materials, Technologies and New Trends. Cham: Springer International Publishing.

LITTEET