



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

EDDI MIKEROV

# Akkuenergiavaraston kartoitus

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN  
TUTKINTO-OHJELMA  
2023

Tekijä Mikerov, Eddi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Syyskuu 2023
	Sivumäärä 32	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Akkuenergiavaraston kartoitus</b>		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>           Tiivistelmä         </p> <p>           Tämän opinnäytetyön toimeksiantajan toimii Boliden harjavalta. Työn tarkoituksena on selvittää akkuenergiavarastojen hyötyjä ja haittoja. Nykyinen suunta sähköenergiamarkkinoilla vaatii toimenpiteitä energian varastointiin.         </p> <p>           Työn tavoitteena on selvittää akkuenergiavaraston ominaisuuksia. Rahallisten hyötyjen esiin tuominen sekä investointilaskentaa. Rahallisten hyötyjä voidaan saada kahdella eri tyylillä kulutuspiikkien leikkaamisella sekä akku energiavarastojen käyttäminen reservimarkkinoilla. Osana työstä oli turvallisuus näkökulma, käytiin keskustelua asiantuntijoiden kanssa keskustelua energian turvaaminen prosessin näkökulmasta kriittisiin kohteisiin.         </p> <p>           Työ toteutettiin valmistajilta saatujen tietojen mukaan ja toimeksiantajan antamien tietojen mukaan. Teoriapohjana toimi suomen sähköverkkojen ylläpitävän yrityksen antamien tietojen pohjalta. Annetuista tiedoista saatiin laskettua suuntaa antavaa investointilaskentaa ja kulutusprofiilia.         </p>		
Avainsanat Boliden Harjavalta, akkuenergiavarasto, sähkömarkkinat, investoinnit, laskenta		

Author Mikerov, Eddi	Type of Publication Bachelor's thesis	Date September 2023
	Number of pages 32	Language of publication Finnish
Title of publication <b>Battery energy storage survey</b>		
Degree programme Energy and enviromental engineering		
<p>Abstract</p> <p>The commissioner of this thesis is Boliden Harjavalta. The purpose of the study is to determine the benefits and drawbacks of battery energy storage system. The current trend in the electricity market demands measures for energy storage.</p> <p>The work aims to investigate the characteristics of battery energy storage. Highlighting the monetary benefits as well as investment calculations. Monetary benefits can be achieved in two different ways by cutting peak consumption and by using battery energy storage in the reserve market. Safety perspective was a part of the work, discussions were held with experts about securing energy from the process's point of view for critical targets.</p> <p>The work was carried out based on information obtained from manufacturers and information provided by the commissioner. The theoretical basis was provided by the data given by the company that maintains the Finnish electrical networks. Based on the provided information, indicative investment calculations and consumption profiles were determined.</p>		
<p>Keywords:  Boliden Harjavalta, battery energy storage system, electricity market, Investment, accounting</p>		

## ALKUSANAT

Vuonna 2020 valmistuin sähkö- ja automaatioasentajaksi. Tarkoituksena oli heti jatkaa opintoja ja päädyin energia- ja ympäristötekniikan insinööriksi omien osaamistaitojeni myötä.

Kesätöitä hakiessani vuoden 2022 kesätöitä, sain työpaikan Boliden Harjavalasta sähköasentajan harjoittelijaksi. Kesätyössä huomasin kuinka prosessiteollisuudessa sähköasentaja voi hyödyntää energia- ja ympäristötekniikan teoriaopintoja työelämässä. Seuraavan vuoden kesätöissä olinkin jo sähkökunnossapidon kesämestarina.

Haluan osoittaa kiitokset Jari Holmbergille opinnäytetyömahdollisuudesta ja opinnäytetyön ohjaamisesta. Kaikille Boliden Harjavallasta osallistuneelle henkilöstölle hyvästä keskustelusta. Erityiset kiitokset tulevat Marko Yliselle, joka ohjasi opinnäytetyötäni ja kaikesta tuesta, mitä hän on opiskelujeni aikana antanut.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
1.1 Rajaukset .....	7
1.2 Tutkimusongelma ja sen tavoitteet .....	8
2 BOLIDEN HARJAVALTA OY .....	8
3 AKKUENERGIAVARASTON KOKONAISUUS .....	10
3.1 Invertterit .....	11
3.2 Akkukennotyypit .....	11
4 KULUTUKSIA JA KOHTEITA .....	13
4.1 Sijoituspaikka .....	14
4.2 Akkuvaraston käyttö puskurivarastona .....	15
5 TURVALLISUUS.....	16
5.1 Rikkihappotehdas .....	16
5.2 Kuparisulatto .....	16
5.3 Nikkelisulatto .....	17
5.4 Saarekekäyttö .....	17
6 RESERVIMARKKINAT .....	18
6.1 Taajuuden vakautus reservit .....	19
6.2 Taajuden palautusreservit .....	19
6.3 Varttitase ja taseselvitys .....	19
7 KUSTANNUSARVIO.....	20
7.1 Nykyarvomenetelmä.....	21
7.2 Pitkän tähtäimen päätöksenteko .....	21
7.3 Reservimarkkinassa käyttö.....	22
7.4 Kulutuspiikkien leikkaaminen.....	24
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖSET .....	26
8.1 Oman osaamisen kehittäminen .....	26
8.2 Yhteenveto .....	27
8.3 Jatkotutkimus .....	27
LÄHTEET .....	29
LIITTEET .....	31

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

BESS	Battery energy storage system akku-energiavarasto järjestelmä
charge	lataus
discharge	purkaus
Li-on	Litimioniakku
Load	Kuorma
LV	Low voltage matala jännite
MV	Medium voltage Keskijännite
MW	Tehon yksikö 1 000 000 W
MWh	Energiayksikkö 1 000 000 W/h
NaS	natrium-rikkiakut
Scheduled power consumption	Ennustettu sähkönkulutus

## 1 JOHDANTO

Teknologian murros on saanut sähkökäytön osaksi ihmiskunnan elämää. Sähköntuotannon on pysyttävä tasapainossa, olennainen periaate on kulutuksen ja tuotannon vastaavan toisiaan. Tuotannon on siis mukauduttava kulutuspiikkeihin ja kulutuslaskuihin. Nykyisin käytettävä sähkö on vaihtosähköä, joka on Suomessa asetettu 50 hertsiin. Tuotannon ja kulutuksen ollessa tasapainotilanteessa verkon taajuus on 50 hertsissä. Mikäli tuotanto tai kulutus eivät vastaa toisiaan taajuus laskee tai nousee riippuen tuotannosta. Jokaisen tuotanto laitteen on siis tuotettava sähköä verkon asettamilla vaatimuksilla. Liiallisen tasapainon menettämisessä voi tapahtua "Black out" ilmiö eli verkko kaatuu. Sähköverkon palauttamiseen tasapainotilaan vaaditaan iso työ, tuotantolaitoksien on synkronoiduttava toistensa kanssa.

Tasapainotus prosessiin on luotu työkalu nimeltä reservimarkkinat, joilla mukaudutaan kulutuspiikkeihin ja ennalta odottamattomiin tuotantokatkoksiin. Reservimarkkinat jakautuvat eri nopeuden työkaluihin noudattaen eri työkaluihin asetettujen määräyksien kautta. Yhtenä ratkaisuna on tuotu akkuenergia varastot kompensoimaan vaihteluja ja varmistaa nopea verkon vakauttaminen.

### 1.1 Rajaukset

Turvallisuuteen otetaan pääpainoksi keskustelut eri osa-alueiden asiantuntijoiden näkökulmasta. Keskustelujen tarkoituksen on herättää ajatusta mitä prosessin osa-alueiden osuuksia voitaisiin parantaa ja olisiko ulkopuoliselle energianlähteelle mitään käyttöä. Porin puoleinen elektrolyysi ja rikastamo otetaan tarkastelun ulkopuolelle. Akkuteknologiaa ei ole tarkoituksena käydä yksityiskohtaisesti vaan kertoa miten se toimii ja miltä näyttää.

## 1.2 Tutkimusongelma ja sen tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella akkuenergiavaraston kannattavuutta Boliden Harjavallan Oy:lle. Uusiutuvan energian nousun myötä on alettu pohtia sähkön varastoinnin eri muotoja. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on miettiä akku energiavarastojen hyötyjä ja haittoja ja onko se kannattavaa. Taloudelliselta näkökulmalta isompana painopisteenä on taajuus reservi käyttö. Tarkasteluun otetaan myös huomioon ennalta arvaamattomien kulutuspiikkien leikkaaminen, joilla voidaan saada isoja säästöjä. Turvallisuus näkökulma otetaan huomioon työntekijöiden näkökulmien pohjalta.

Tutkimuskysymyksinä on:

- Akkuenergiavaraston kannattavuus reservikäytössä.
- Akkuenergiavaraston kannattavuus kulutuspiikkien leikkaamisessa.
- Akkuenergiavaraston sijaintia.

Lopullisena tavoitteena on selvittää akkuenergiavaraston hyötyjä ja investointi kustannuksia.

## 2 BOLIDEN HARJAVALTA OY

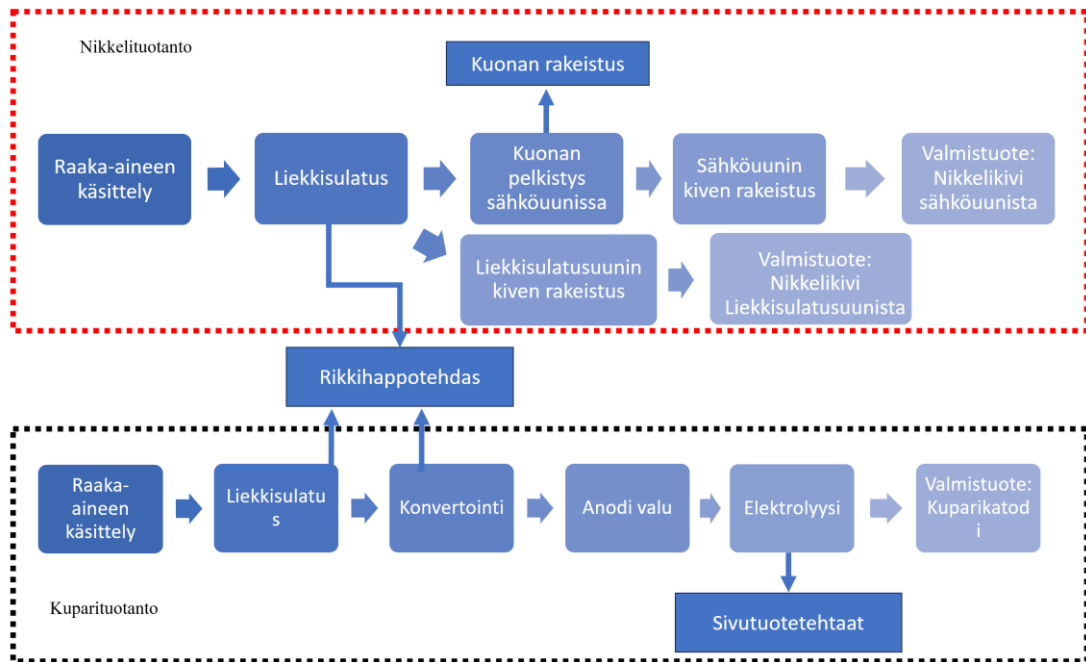
Kupari ja nikkeli ovat kaksi kriittistä metallia, joilla on keskeinen rooli nyky-yhteiskunnassamme. Ne ovat perusta monille teknologioille ja niiden tuotantomenetelmät vaativat suurta määrää energiaa. Tästä muodostuu tarve metallinjalostukselle ja raaka-aineiden hankintaa maanperästä. Kierrätystä yritetään lisätä mahdollisuuksien mukaan.

Boliden Harjavallan historia alkoi Outokummusta löydettyä kuparimalmia. 1936 vuonna toimintansa aloitti Outokummun sulattamo. 1941 Porin elektrolyysi aloitti toimintansa 3 vuotta myöhemmin vuonna 1944 Outokummun sulattamon toiminta siirrettiin Harjavaltaan. Myöhemmin 1900 luvulla toimintaa

laajennettiin nikkeli rikasteen sulatukseen, tuotantokapasiteetin kasvatuksella, sekä ensimmäinen rikkihappotehdas. Vuonna 2004 tehdas siirtyi Boliden konsernin alle. Viimeiset kaksikymmentä vuotta on tuotannon kapasiteettiä laajennettua tasaiseen tahtiin eri osa-alueissa. (Boliden, 2020.)

Boliden Harjavallalta on osa kansainvälistä Boliden konsernia. Konsernin osaamisalueet ulottuvat raaka-aineen hankinnasta niiden jatkojalostukseen sekä lopulliseen toimitukseen. Konserni hyödyntää paljon metallien kierrätystä ja sivutuotteiden jalostusta. Harjavallassa käsitellään ja jatkojalostetaan kupari- ja nikkeliirikastetta. Porissa sijaitseva elektrolyysin toimipiste, jossa jatkojalostetaan kuparianodit kuparikatodeiksi. Tuotannon sivuvirroista syntyy rikkihappoa ja jalometalleja. (Boliden, 2020.)

Boliden Harjavallan nikkeli- ja kuparituotannon prosessikaaviot Kuva 1. kuparituotannossa rikasteesta tulee eri valmistusprosessien kautta valmiita katodilevyjä, mitkä toimitetaan jatkojalostukseen. Anodilevyt viedään junalla Harjavallasta Poriin elektrolyysiin, josta valmistetaan katodilevyt. Lopullisen katodin kuparipitoisuus on vähintään 99,998 %. Nikkeli tuotannossa valmistetaan rakeistamalla sula nikkelikiveksi, jonka pitoisuus jalostuksen jälkeen on noin 50 %. (Boliden, 2020.)



Kuva 1 Boliden Harjavalan nikkeli- ja kuparituotannon prosessikaaviot

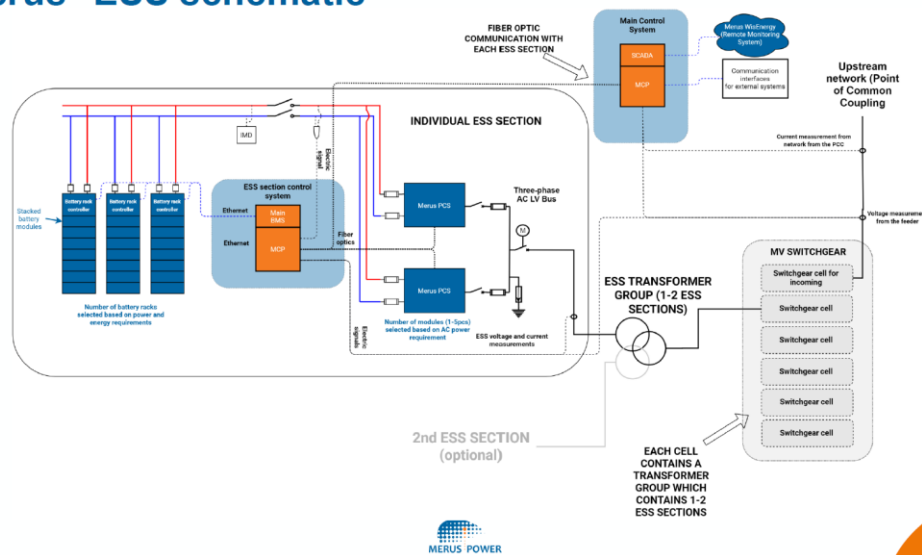
### 3 AKKUENERGIAVARASTON KOKONAISUUS

Akkuenergia varaston peruskokonaisuus koostuu viidestä peruskomponentista: akkukennostot, tasa- ja vaihtosähkö suodattimet, sekä invertterit. Akkukennostot voidaan valmistaa monesta eri materiaaleista. Sähkönjakelujärjestelmään kytketyissä akuissa yleisimpiä akkutyypppejä ovat lyijyaku, litiumaku, redox akku, natriumsulfuriaku. (IEEE, 2020, s. 46.)

Akkuenergiavaraston ideana on varastoida energia akkukennoihin ja tarvittaessa purkaa energia. Tarvittavat ominaisuudet määräytyvät akkujen määrällä ja kytkentätavalla, jolla määritellään kapasiteetti ja teho. Invertterin kautta muunnetaan tasajännite vaihtojännitteeksi. Kuva 2 nähdään Merus Powerin tarjoama akkuenergiavaraston yksinkertaistettu piirikaavio. Akkuenergia varastoissa on tärkeää muistaa tehon ja energian ero. Akkuenergia varastoissa on tyypillisesti kerrottu esimerkkinä 30MW/36 MWh (Merus Power, 2023a). 30MW/36 MWh kertoo varaston kykenevän tuottamaan 1,2 tuntia 30MW sähköä. Akkuvaraston kapasiteetin määrä määritellään akkukennojen määrällä.

Muuntajan tehot ja muuntotarve määräytyy kytkettävän sähkökojeiston mukaan. Suurjännite katkaisijat ovat tarpeellisia kytkemisen ja katkaisun merkeissä.

## Merus™ ESS schematic



Kuva 2 Merus ESS piirikaavio (Ovaskainen, 2023, s. 12)

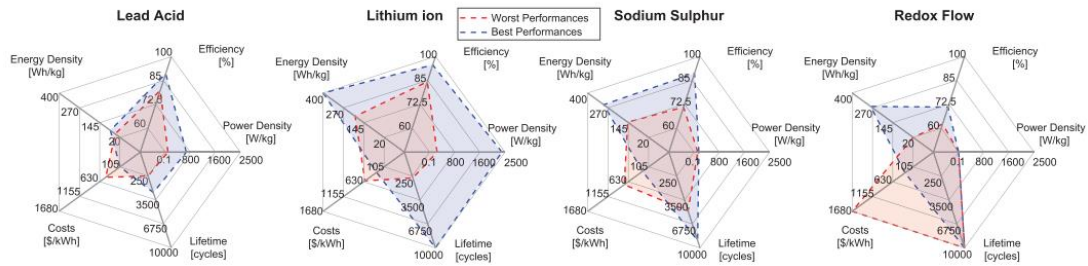
### 3.1 Invertterit

Invertteri voi muuntaa enintään 1500 VDC tasajännitteen 600–800 VAC vaihtojännitteeksi. Suurempia jännitteitä varten tarvitaan muuntaja. Invertterin teho voi vaihdella yksiköiden kesken 0,8–1,2 MW. Voi liittää maksimissaan kuusi invertteri yksikköä suoraan pienjänniteverkkoon. Suuremmat kokoonpanot yhdistetään 10 kV sähköverkon kautta, käyttäen kolmikelaisia muuntajia. (Ovaskainen, 2023.)

### 3.2 Akkukennotyytit

Verkkosovelluksissa käytetyt pääasialliset sähkökemialliset teknologiat ovat litiumioni, natriumrikki, lyijyhappo ja redox-virtausakut. Verkkoon liitetyillä akkutyypeillä määritellään yleensä viidellä ominaisuudella energiatiheden,

tehokkuuden, käyttöiän ja kustannusten kautta sekä tehotiheyden avulla Kuva 3. (IEEE, 2020, s. 47.)



Kuva 3 Akkukennojen ominaisuudet visualisoituna (IEEE, 2020, s. 48)

Lithium-ioni akut on kaupallistettu Sonyn puolesta vuonna 1991. Akut tarjoavat tehokkuutta yli 90 % ja tarjoavat hyvän käyttöiän saavuttaen jopa 10000 sykliä. Käyttöikään vaikuttaa kuitenkin kennojen lämpötila, joka on kriittinen tekijä hajoamisprosessissa. Li-ion akkuja on laajasti käytetty elektronisissa laitteissa, ja viime vuosina siitä on tullut pääteknologia sähköautoille. Vaikka se on edelleen suhteellisen kallista, tämä teknologia soveltuu hyvin akkuenergiavarastoille ja sähköautoille. (IEEE, 2020, s. 47–48.)

Ranskalaisen fyysikon Gaston Plantén kehittämät lyijy-happoakut vuonna 1889, olivat ensimmäisiä uudelleenladattavia akkuteknologioita. Etuina on alhainen kennohinta sekä 80–90 %:n tehokkuus, niiden suurimmiksi heikkouksiksi ovat osoittautuneet rajoittunut syklien määrä, joka on noin 2500 sykliä, sekä niiden matala energiatiheys. (IEEE, 2020, s. 47.)

NGK Insulators Ltd kehitti natrium-rikkiakut yhdessä TEPCO:n kanssa. NaS-akut tunnetaan niiden korkeasta käyttölämpötilasta, joka on noin 300°C, niiden noin 80 %:n tehokkuudesta, 150–240 Wh/kg energiatiheystä sekä niiden pitkästä syklistä, joka ulottuu jopa 4500 sykliin. (IEEE, 2020, s. 47.)

NASA loi ensimmäiset redox-virtausakut vuonna 1974. Nämä akut muodostuvat kahdesta säiliöstä, joissa kemialliset reagenssit säilytetään, ja kahdesta elektrodista, jotka ovat kalvon erottamina. Elektrodeilla tapahtuu hapetus-pelkistysreaktio, kun kaksi komponenttia yhdistyvät. Akun energiakapasiteetti riippuu säiliöiden reagenssien määrästä, kun taas teho määräytyy elektrodien ja

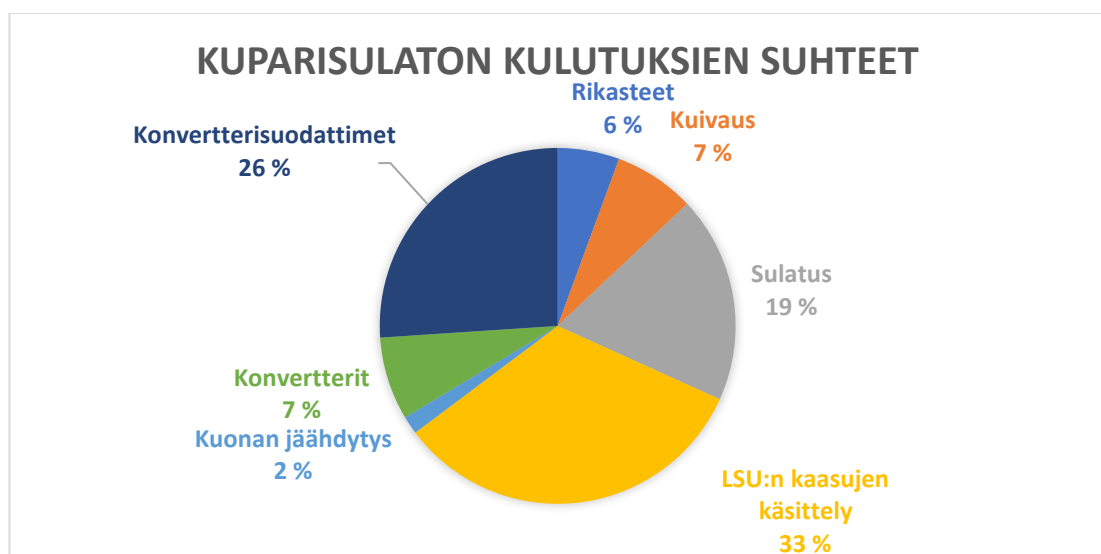
kalvon perusteella. Redox-virtausakuilla on energiatiheys 15–30 Wh/kg ja ne voivat saavuttaa jopa 75 % tehokkuuden. Ne eivät ole rajoittuneet reagenssien käyttöikään tai purkautumissykliin. (IEEE, 2020, s. 47.)

## 4 KULUTUKSIA JA KOHTEITA

Tässä osiossa tarkastellaan Boliden Harjavallan sulattojen kulutuksia toisiinsa. Tarkastelun tarkoituksena on antaa ajatuksia sulattojen kulutuskohdista. Kupari- ja nikkelisulattamot sekä rikkihappotehtaat kuluttavat eniten. Liitteestä 2 otetaan sulattojen kulutukset tarkasteluun. Rikkihappotehdas jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

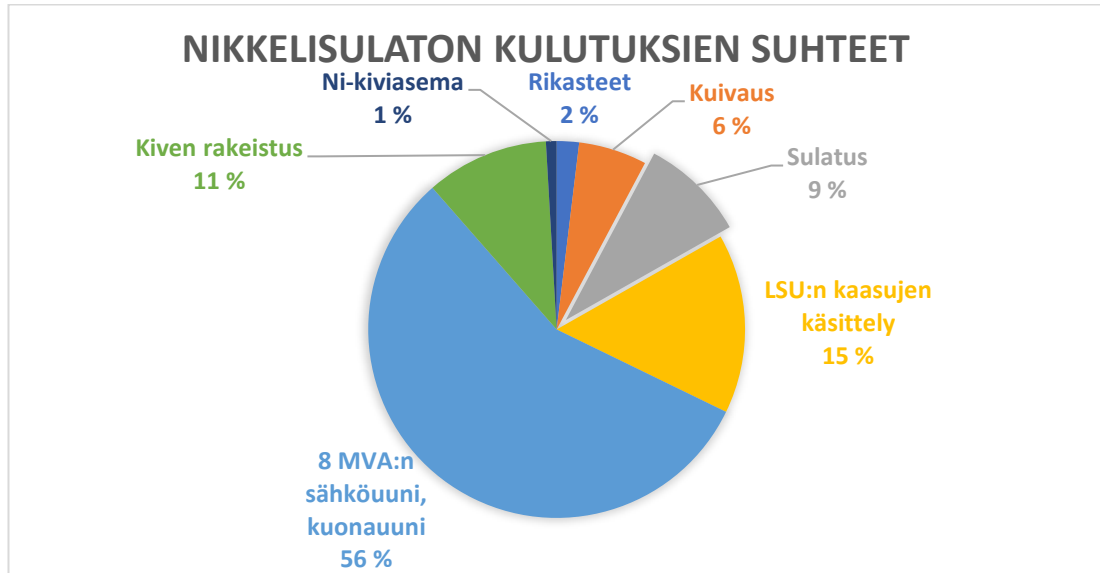
Taulukko 1 nähdään kuparituotannon sähkönkulutuksien suhteita, osoittaen liekkisulatusuunin kaasujen käsittelyn olevan huomattava sähkönkuluttaja, 33 % kokonaiskulutuksesta. Boliden harjavallan ainutlaatuisen liekkisulatusmekaniikan ansiosta rikasteen omaa lämpöarvoa hyödynnetään sulatuksessa vähentäen muun energiatarpeen (Boliden, 2020).

Taulukko 1 Kuparisulaton kulutuksien suhteet (Holmberg, 2023)



Vastaavasti Taulukko 2 kuvaa nikkeli tuotannon sähkönkulutusta, jossa sähköuuni vie suurimman osa 56 %. Sähköuunin käyttö on vaihtelevaa ja hyvin vaikeasti ennustettavaa.

Taulukko 2 Nikkelisulaton kulutuksien suhteet (Holmberg, 2023)



Kun tarkastellaan näitä kahta tuotantomallia, on selvää, että kuparituotannon energiavaatimukset ovat erilaiset kuin nikkelin. Kuparissa korostuvat kaasujen käsittely ja suodattaminen, kun taas nikkeliissä keskitytään enemmän sähköuuniprosesseihin. Nikkelituotannossa on vaihtelevampaa kulutusta sähköuunin vaihtelevan toiminnan takia.

#### 4.1 Sijoituspaikka

Sijoituspaikkaan vaikuttaa hyvin paljon millaisen ratkaisun tarvitsee. Päävaihtoehtoina ovat konttiratkaisu, missä on kaikki varustelut mukana tai kaappimalliset minkä kokonaisuus pitää rakentaa rakennuksen sisälle huomioiden, paloturvallisuus sekä muut rakennuskriittiset asiat.

Yhtenä sijoituspaikkana ehdottaisin Boliden Harjavallalle tehdasalueen ulkopuolella sijaitsevan PM6 rakennuksen vierustalle Kuva 4. Rakennuksessa on muuntaja, joka muuntaa 110 kV-10,5 kV jännitteeseen ja kojeisto mihin

voitaisiin liittää akkuenergiajärjestelmä. Alueelta saisi helposti vapaata tilaa ja lyhyen matka kaapelien vedolle kojeistolle, missä akkuenergiavarastot yhdistettäisiin jakeluverkostoon. Tämä vaatisi akkuenergiajärjestelmältä 10kV muuntajan. Konttiratkaisu olisi tähän yksinkertaisin ratkaisu.



Kuva 4 PM6 rakennuksen vierusta. ehdotus BESS:in sijoittamiseen

Nikkelisulaton sähköuunin ja rikkihappotehdas 8 saa sähkösyöttönsä PM6 rakennuksesta. Tulevaisuudessa ajatellen muuntamosta tullaan syöttämään jäähdytysvesijärjestelmiä. (Holmberg, 2023). PM6 rakennuksesta mahdollistaisi siihen kuuluville komponenteille energian takaamisen saarekekäytössä ilman sähkökatkoja. Sähköuunin vaihtelevan energiankäytön myötä kyseisestä kohteesta onnistuisi kulutuspiikkien leikkaaminen tehokkaasti.

#### 4.2 Akkuvaraston käyttö puskurivarastona

Akkuenergiavarastoa voi hyödyntää käyttämällä sitä puskurivarastona, missä normaali verkon syöttö ei pysty toimittamaan riittävästi tehoa vaadittaville laitteille. Vaatimuksena on, ettei käyttö olisi jatkuvaa, jotta akut ehtisivät varastoitmaan energian ennen tulevaa käyttöä. BESS:in käyttö puskurivarastona toisi säästöä siirtomaksujen suuruudessa sekä poistaisi tarvetta vetää suurempia kaapeleita käyttökohteisiin. (Kukkola, 2021.)

## 5 TURVALLISUUS

Tämän osion tarkoituksena on antaa ideoita ja mahdollisia keinoja parantaa sähkökatkojen aikaista turvallisuutta erikoisempiakin tilanteita varten. Keskustelujen kautta otetaan kantaa eri prosesseihin sähkökatkon kannalta, mihin voitaisiin tuoda energia esimerkiksi akkuenergiavaraston kannalta. Keskustelu käytiin 4 eri osaston asiantuntijoiden kanssa. Tuotannolliset hyödyt eivät olleet keskustelujen pääpainona.

### 5.1 Rikkihappotehdas

Rikkihappotehtaan tarkoitus on puhdistaa kaasut vaarallista ainesosista pois. Samalla raakakaasujen sisältämästä rikistä valmistetaan rikkihappoa. Suurimpana käsittelykohteena tehtaalla on kaasut ja myrkylliset hapot. Rikkihappotehtaan asiantuntijan kanssa käydyssä keskustelussa selvisi sähkökatkon aikana tapahtuvan kaasun leviäminen alueella, jos pääkaasupuhaltimet sammuvat. Boliden Harjavallan alueella olevan ison piipun venttiilien avaaminen riittäisi antamaan riittävän imun kaasun leviämisen estämiseksi (Haikonen, 2023). Piipun avaaminen onnistuisi antamalla energiaa auma toimilaitteille, jotka avaisivat tarvittavan imun piipusta.

### 5.2 Kuparisulatto

Kuparituotannossa keskityttiin kahteen pääkohtaan turvallisuuden näkökulmasta sähkökatkosten varalta: konvertterin letkusuodattimien puhaltimiin sekä kupariuunien ja kattiloiden jäähdytykseen. Konvertterin letkusuodattimien pysähtyessä pääsevät kaasut leviämään ympäristöön, joka on hengitykselle vaarallista. Konvertterin letkusuodattimien puhaltimien puhaltaminen olisi ensisijaisesti tärkeää varmistaa sähkökatkojen ajaksi. (Rimpinen, 2023; Saari, 2023). Kattilan jäähdytyksen varmistamiseen on tehty turbiini varmistus. Keskustelussa nousi aiheeksi, että voitaisiin myös pumpput varmistaa mahdollisesti ulkopuolisella energialla. Anodi-uuni alueilla riskitekijöinä on valutilanne (Siitari,

2023). Anodiunin valun voisi keskeyttää kääntämällä kippi muutamalla asteella valun pysäyttämiseksi.

### 5.3 Nikkelisulatto

Nikkelituotannossa keskustelun pääpohjaksi muodostui kuonarakeistuksen turvallisuuden takaaminen. Rakeistuksessa tärkeitä on jatkuvan veden tulo, jotta rakeistus olisi tasaista ja turvallista. Kuonasula tai sula valutetaan suihkuavaan veteen, missä kuonanikkelikivi tai nikkelikivi rakeistetaan. Nikkeliuunien jäähdytyksen varmistaminen olisi katkon takia tärkeää.

Kuonarakeistuksen katkeamattoman veden tulo olisi hyvä taata. Pidemmän aikavälin sähkökatkon aikana aiheellista olisi myös jäähdytysvesitornien toiminnan varmistaminen isompien vahinkojen ehkäisemiseksi. (Myllykoski, 2023.)

### 5.4 Saarekekäyttö

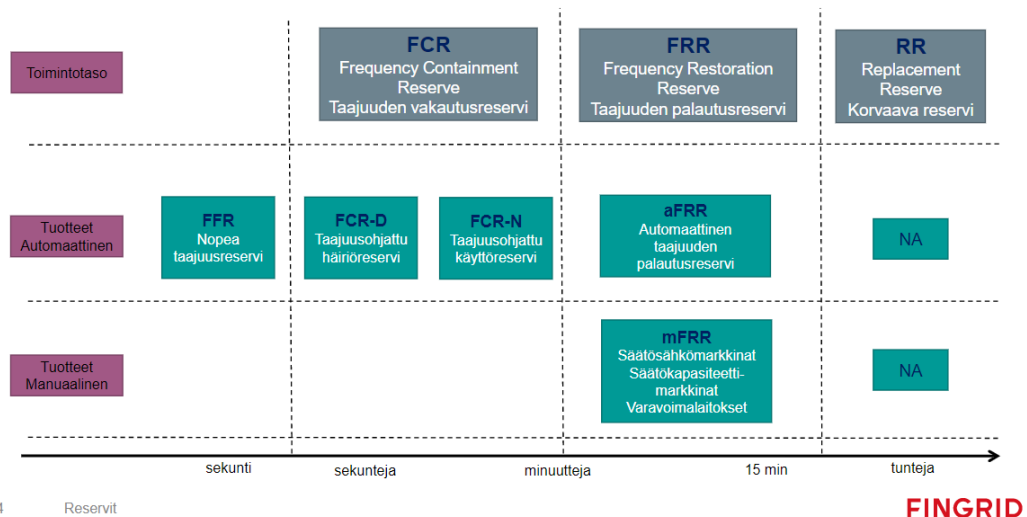
Saarekekäytössä muodostuu oma järjestelmä hajautetuista tuotantolaitoksista, mikä eristyy sähköverkosta tarpeen mukaan. Eristäytyminen takaa kriittisimmille komponenteille sähkösaannin, vaikka verkko onkin pois toiminnasta. Saarekekäyttöön vaadittavat osa-alueet on suunniteltava siten, että saarekkeen tuotanto ja kulutus vastaisivat toisiaan. Normaalitylanteessa sähkösaanti otetaan ulkoisesta verkosta. (Saariaho, 2021.)

Saarekekäytössä olevan alueen ollessa irti kytkettynä ei saa saareke syöttää virtaa ulkoiseen verkkoon. Takaisin kytkentä verkkoon pitää toteuttaa tahdistamalla saarekkeen verkko ulkoiseen verkkoon. Yleisiä tuotantolaitoksia saarekekäyttöön ovat bensa- ja dieselgeneraattorit sekä kalliit akkuenergiavarastot. (Saariaho, 2021.)

## 6 RESERVIMARKKINAT

Suomen sähköverkko toimii 50 hertsin taajuudella. Tämän ylläpitämiseen tarvitaan sähköenergian tuotannon vastaavan kulutusta. Kulutusvaihteluiden hallintaan on kehitetty reservimarkkinat, jotka koostuvat erityyppisistä tuotteista: automaattisesti toimivista ja manuaalisesti aktivoitavista. Automaattiset tuotteet on lajiteltu neljään eri luokkaan, joille on asetettu omat reagointi nopeudet ja kapasiteetit. Manuaalista tuotetta on aktivoitava erikseen ja sillä on pidempi aktivointi-aika. Kuva 5 näyttää aika vaatimukset aktivoinnille eri reservimarkkinoiden tuotteille vaihdellen sekunneista minuutteihin.

### Pohjoismaissa käytössä olevat reservit



Kuva 5 Reservimarkkinoiden reservilajit (Fingrid, 2023b)

FFR tarkoittaa nopeaa taajuusreserviä, jota käytetään hallitsemaan pieniä inertiaa johtuvia tilanteita. Inertia tarkoittaa kykyä vapauttaa energiaa massoista taajuusmuutosten estämiseksi. Välittömän taajuusmuutoksen laajuus häiriön jälkeen määräytyy tehomuutoksen, järjestelmän inertian ja reservien toimintanopeuden perusteella. Sähköjärjestelmän kyseisen hetken inertiaa ja suurimmasta mahdollisesta viasta riippuu, kuinka paljon nopeaa taajuusreserviä tarvitaan. (Fingrid n.d.)

### 6.1 Taajuuden vakautus reservit

Taajuusohjattu käyttöreservi FCR-D ja taajuusohjattu häiriöreservi FCR-N. Ovat sähkömarkkinoiden automaattisesti aktivoituja taajuuden vakautus työkaluja. Taajuus ohjattu käyttöreservi on luotu pitämään sähköverkon taajuuden 49,9–50,1 hertsissä. Häiriöreservin tarkoituksena pitää taajuus 49,5–50,5 hertsissä. Ylempänä mainitut reservit on jaeltu kohteen eri luokkaan ylös- että alasäätön. Ylös säätö meinaa tuotannon nostamista tai kulutuksen pienentämistä. Alas säätö tarkoittaa vastakkaisia toimia eli tuotannon pienentämistä tai kulutuksen nostamista. Reservien ohjaus tapahtuu taajuuden seuraamisella ja aktivointi tapahtuu, jos raja arvot ylittyvät tai alittuvat.(Fingrid, 2023d.)

### 6.2 Taajuden palautusreservit

aFFR eli automaattinen taajuuden hallinta reservin tarkoituksena on taajuuden pitämistä nimellistä taajuudessa ja tasapainon pitäminen suunnitellussa arvossa. Tätä reserviä jaetaan tuotteisiin, jotka voivat säätää sekä ylöspäin että alaspäin. Reserville on määritetty vähimmäiskapasiteetti megawateissa ja-aktivointiaika on 5 minuuttia. Reservintoimittajat antavat tarjouksensa tuntimarkkinnoille. Ylös- ja alassäätö tuotteille, josta saavat kapasiteettikorvauksen kallemman hyväksytyyn tarjouksen mukaan. (Fingrid, 2023a)

Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat mFRR. Reservin toimittajat antavat tarjouksia omista säätökapasiteettista, mikäli tarjous hyväksytään saavat pyytämänsä korvauksen. minimitarjous pitäisi olla vähintään 5MW ja tehomuutos pitäisi saada voimaan 15 minuutissa aktivoitua säätökäskystä. (Fingrid, 2023c.)

### 6.3 Varttitase ja taseselvitys

Sääriippuvaisten energiamuotojen lisääntyessä ja perinteisten tuotantomuotojen määrien laskiessa. Sähkömarkkinat vaativat uudistuksia tuotannon ja

kulutuksen tasapainon pitämiseen markkinatalouden ohjaamana sekä ilmastotavoitteet huomioituna. (Fingrid n.d.)

Euroopassa ja Suomessa muutos on meneillään kohti lyhyempää taseselvitysjaksoa. Taseselvitysjärjestelmä muunnettiin 60 minuutista 15 minuuttiin 2023 toukokuussa. Energian hinnoittelussa ei olla vielä siirrytty 15 min järjestelmään vaan hinta määritellään tunneittain. Tarkoituksena on siirtyä lyhyempään ajanjakson hinnoitteluun täytettyä kaksi ehtoa: säätösähkö hinnan määrytyessä 15 minuutissa ja pohjoismaiden kaupankäynnin siirtyessä 15 minuuttiin. (Fingrid n.d.)

Vartitaseeseen siirtyminen aiheuttaa toimijoille omat haasteensa järjestelmien uusimiseen ja automaattisten toimintojen lisääminen, koska työmäärän kuorman lisääntyy. Energiantuottajilta ja kuluttajilta vaatii lisää joustavuutta. Reservimarkkinoille taseselvitysjakson muutos aiheuttaa lyhyempiä säätöjaksoja. (Fingrid n.d.)

Taseselvityksessä sähkömarkkinoilla tuodun sähkön jälkeen tasevastaavat tarkistavat tuotannon ja kulutuksen erot, eli taseen varmistus. Taseen ollessa epätasapainossa vaatii sähköjärjestelmä säätöjä. Taseiden selvitykset tehdään jokaiselle taseenselvitys jaksolle. Selvityksen jälkeen muutoksen aiheutaneille tahoille jaetaan kustannukset. Poikkeaman aiheuttajalle voi aiheutua kustannuksia tai tuloja tasesähkön hinnan mukaan. Tasehinnan perimmäinen tarkoitus on luoda kannustin markkinoille tasapainoon. Taseselvitysyksikkö eSett hoitaa pohjoismaissa taseselvitystä. (Fingrid n.d.)

## 7 KUSTANNUSARVIO

Akkuenergiavaraston kustannusarviota on hyvin vaikeaa ennustaa. muuttuvien hintakehitysten myötä ja akkuteknologian kehitys vaikuttavat akkuenergiavaraston kannattavuuteen. Laskennan tarkoituksena on antaa suuntaa eikä

ole tarkoitettu loppuinvestointi päätökseen. Valmistajat tarjoavat eri laajuuk-  
sien sopimuksia riippuen huolloista ja operoinnista sekä infrastruktuurin raken-  
tamisesta. Yhden megawatti hinnaksi laskentaan muodostuu miljoona euroa  
laskennan helpottamiseksi ja yksinkertaistamiseksi. Hinta muodostettiin Merus  
Powerin tiedotteesta 1–1,5 miljoonaa euroa (Merus Power, 2023b). Tämän  
laskennan tarkoituksena on antaa suuntaa antavaa tietoa takaisinmaksuajasta  
ja kannattavuudesta. Esimerkkilaskentaan otetaan 5 MW/5 MWh akkuenergia-  
varasto ja sen takaisinmaksuaika. Akkuenergiavarastoon kannattavin reservi-  
laji on FCR-N tuottojensa takia. Laskentaan ei oteta huomioon tuntimarkkina-  
hintoja FCR-N reservimarkkinoilla. Kustannusarviossa otetaan huomioon re-  
servimarkkina käyttö. Kulutuspiikkien leikkaamisessa käydään vain teoria ta-  
solla laskentaa.

### 7.1 Nykyarvomenetelmä

Laskentamenetelmäksi valitaan nykyarvomenetelmä. Pääpainona on eri ajan-  
kohtien tulojen ja menoja muunnos samaan laskentahetkeen, samaan ajan-  
kohtaan. Rahaliikenteen olleen jatkuvaa, aika hajotetaan laskelmassa jaksoi-  
hin, ja maksut käsitellään jaksojen loppuissa vaikkeen ne olisi suoritettu eri ajan-  
kohdissa. Lähtökohtana investointia pidetään hyödyllisenä, jos investoinnin  
hankintameno on pienempi kuin tulojen ja menojen erotuksen diskontattu arvo.  
(Pellinen, 2019, s. 176–177.)

$$V = \frac{1}{(1 + i)^n} \tag{1}$$

Jossa  $V$  on diskonttaustekijänä,  $i$  korkokantana ja  $n$  aika vuosina

### 7.2 Pitkän tähtäimen päätöksenteko

Kun katsotaan yrityksen toimintaa lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä, odotuk-  
set ovat, että johto noudattaa valittua strategiaa ja toimii niiden resurssien ra-  
joissa, jotka ovat tulosta aikaisemmista päätöksistä. Pitkäaikainen näkökulma  
on vapaampi, sillä se ei ole niin sidottu nykyhetken rajoitteisiin. Päätökset,

jotka tehdään pitkällä aikavälillä, ovat usein merkittäviä ja niillä on kauaskantoiset seuraukset. Nämä päätökset voivat koskea jopa useita vuosikymmeniä eteenpäin. (Pellinen, 2019.)

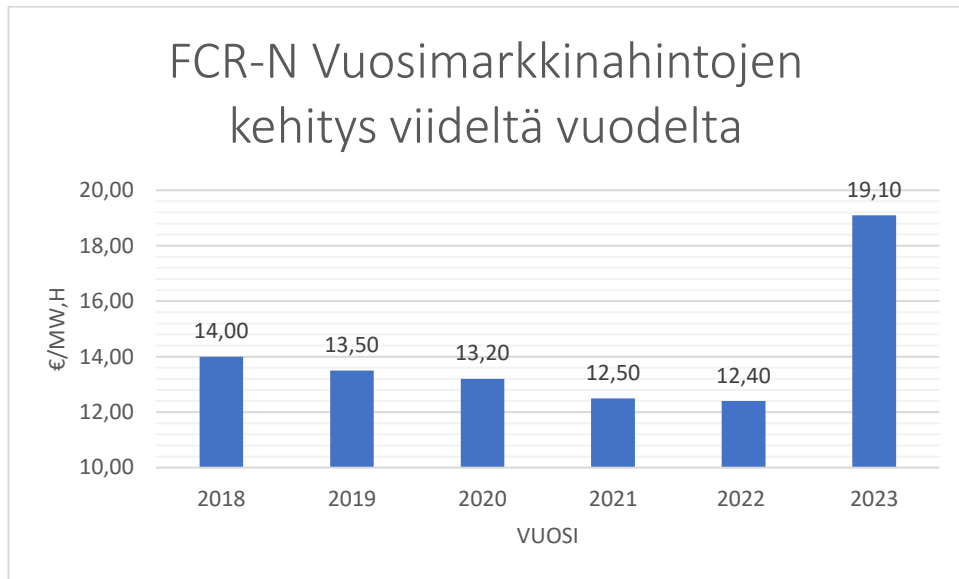
Kun yritys tekee päätöksiä pitkän aikavälin liiketoiminnastaan, se joutuu valitsemaan eri liiketoimintastrategioiden välillä. Tämä päätöksenteko vaatii syvällistä ymmärrystä alasta ja hyödyntää organisaation sisäistä osaamista. Yritysten on syytä suunnitella toimintaansa siten, että ne voivat suojautua kilpailijoilta ja luoda itselleen etumatkaa. Strategiset valinnat määrittelevät, millä toimialoilla ja markkinoilla yritys toimii ja millä keinoilla se pyrkii menestymään näillä alueilla. Menestys riippuu yrityksen erityisistä vahvuuksista ja siitä, miten se hyödyntää niitä parhaiten. (Pellinen, 2019.)

### 7.3 Reservimarkkinassa käyttö

Akkuenergiavaraston käyttäminen reservissä tuottaa rahallista arvoa antamalla kapasiteettia reserviin. Hinta muodostuu syksyllä tehtyjen tarjouksien mukaan. Vuosimarkkinahintojen kautta voidaan nähdä suuntaa antavaa tietoa hintojen kehityksestä FCR-N markkinoilla. Tarkasteluun ei oteta huomioon tuntimarkkinahintojen kehitystä.

Taulukko 3 nähdään viiden vuoden hintakehitys vuosimarkkinahintojen kehitykselle. 2022 tapahtui jyrkkä hinnan muutos poliittisten tapahtumien myötä, milloin suomen sähköenergiamarkkinat irtoutuivat Venäjän federaation toimittamasta sähköenergiasta ja tästä nousseet tuulivoimahankkeiden investoinnit. Uusiutuvan energian pääpainona on suomessa tuulivoimassa, jonka tuotanto vaihtelee ja vaatii tilalleen muita resursseja. Laskentamenetelmäksi otetaan nykyarvomenetelmä ja apuna laskentaa käytetään Excel taulukkolaskentasovellusta.

Taulukko 3 FCR-N reservin kiinteän hinnan kehitys vuosittain (Fingrid, 2023e)



Laskentaan muodostuu keskiarvo hinta viideltä edeltävänä vuonna 14 €/MWh. Korkoprosentiksi asetetaan laskentaan 10 %. Laskenta aika on kaksikymmentä vuotta. Kunnossapitokulut sovitaan sopimuksen laajuudesta riippuvaisena tekijänä. Laskentaan laitettiin juokseviksi kuluiksi 5000 €, jotka ei ole to-tuudenmukaisia.

Kaavasta 1 muodostetaan Taulukko 4 diskonttaus tekijä mikä kerrotaan tuo-toilla rivi jokaiselta vuodelta. Laskenta ajan olleen kaksikymmentävuotta las-ketaan jokaisen vuoden diskonttatut tuotot yhteen taulukon summan kohdalla, josta saadaan nykyhetken muutettuna oleva summa. Takaisinmaksuvuodeksi muodostui kyseisillä arvolla noin 17–18 vuotta. Kustannuksiin voidaan laittaa kunnossapitokulut sopimuksen mukaan vuosittain. Kunnossapitokulut 5000 euroa otettiin muodollisuuden vuoksi koska, huoltosopimuksien hinnat vaihte-levat.

Taulukko 4 nykyarvomenetelmällä laskenta

Investointi vuodet					
	Tuotot	Kustannukset	Erotus	Diskonttaus	Takaisinmaksuvuosi
0		-5 000 000,00	-5 000 000,00	-5 000 000,00	
1	617580	5000	612 580,00	556890,9091	
2	617580	5000	612 580,00	506264,4628	
3	617580	5000	612 580,00	460240,4207	
4	617580	5000	612 580,00	418400,3825	
5	617580	5000	612 580,00	380363,9841	
6	617580	5000	612 580,00	345785,4401	
7	617580	5000	612 580,00	314350,4001	
8	617580	5000	612 580,00	285773,091	
9	617580	5000	612 580,00	259793,7191	
10	617580	5000	612 580,00	236176,1082	
11	617580	5000	612 580,00	214705,5529	
12	617580	5000	612 580,00	195186,8663	
13	617580	5000	612 580,00	177442,6057	
14	617580	5000	612 580,00	161311,4598	
15	617580	5000	612 580,00	146646,7816	
16	617580	5000	612 580,00	133315,256	
17	617580	5000	612 580,00	121195,6873	
18	617580	5000	612 580,00	110177,8975	24 021,02
19	617580	5000	612 580,00	100161,725	
20	617580	5000	612 580,00	91056,11366	
Summa				215 238,86	

Tuotot muodostuvat Fingridin ansaintamallin mukaan

$$\text{€} = MW \times \frac{\text{€}}{MWh} \times h$$

(2)

Jossa € on vuosituottona, *MW* on kauppojen mukainen hyväksytyt reservikapasiteettina ja €/MW,h keskiarvohintana sekä *H* pysyvyys

#### 7.4 Kulutuspiikkien leikkaaminen

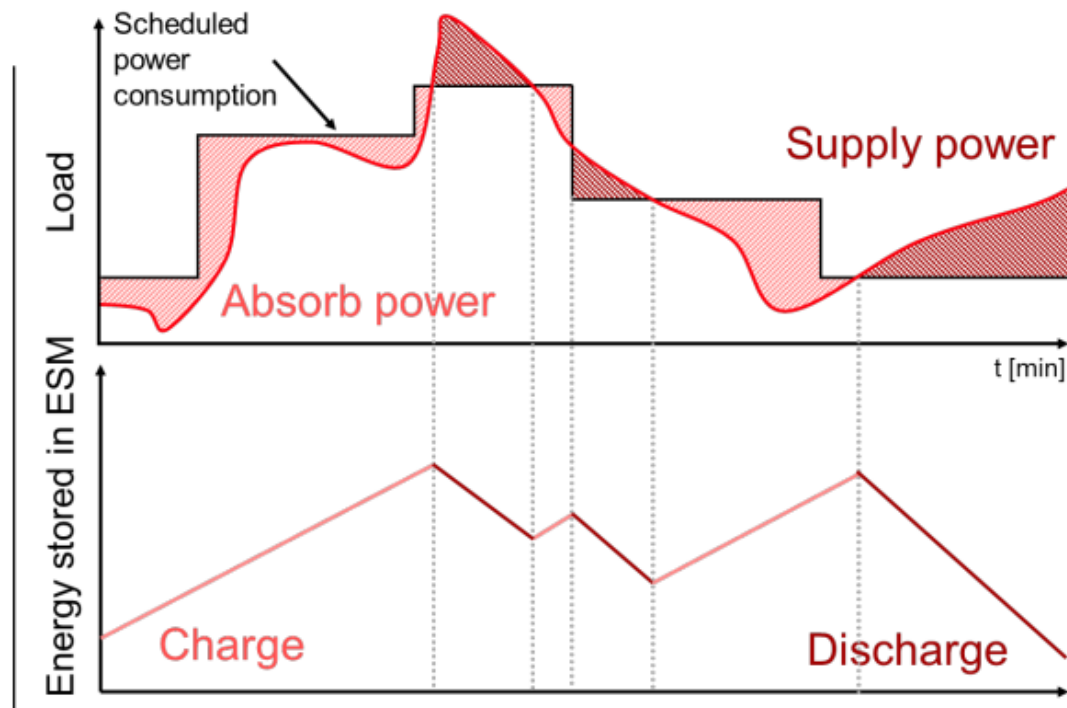
Kulutuspiikkien leikkaaminen perustuu ennalta arvaamattomien kulutuksien huippujen leikkaamiseen, jos kulutus ylittää ennusteen ja hinta on korkea kyseisellä hetkellä. Kustannukset kasvavat ennusteen ylittämästä käytettävästä määrästä hinnan ollessa korkealla. Hintojen ollessa edullisella tasolla voitaisiin

ladata akkuvarastot, mikä tapahtuisi tyypillisesti öisin hintojen olevan alhaisia. Huippujen ennustaminen on vaikeaa ja tästä tuomat taloudelliset hyödyt on vaikea saada laskentaan tuomaan lisähyötyjä. Laskentaa hankaloittaa tase hinnan eriäväisyys kulutuspiikkien aikana.

Taulukko 5 näkee toimintaperiaatteen kulutuspiikkien leikkaamisella, josta saadaan taloudellista hyötyä. Mustalla viivalla kerrotaan ennakoitu sähkönkulutus ja punaisella on kerrottu kulutus kyseisellä hetkellä alempana, kerrotaan lataus hetki ja purku akkuenergiavarastolla.

Ennakoidun sähkönkulutuksen sähkö ostetaan ennakkoon vuorokautta aikaisemmin. Ennustevirheen veloitetaan tai hyvitetään kuluttajalle tasesähkön hinnalla. Esimerkkinä ennakoidaan yrityksen kulutuksen olevan 50 MW/h tunnilta. Vuorokausimarkkinoilta hinnaksi määräytyy 150 €/MWh ja tasehinnaksi määritellään 200 €/MWh. Ennuste menee väärin ja kulutus osoittautuukin 55 MWh. Yrityksen pitää maksaa viideltä ylittävältä yksiköltä tasehinnan määrän. Tasehinta voi olla jopa pienempi, kuin vuorokausimarkkina hinta, jolloin hinta muodostuu edullisemmaksi kuin aikaisemmin sovittu. Kulutuspiikkien laskentaa tämä vaikeuttaa huomattavasti.

Taulukko 5 Kulutuspiikkien leikkaaminen visualisoituna (Kukkola, 2021)



## 8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖSET

### 8.1 Oman osaamisen kehittäminen

Opinnäytetyössä yhdistyi monen eri osa alueen osaamista energiantuotanto ja sähkötekniset asiat sekä investointikysymykset. Opinnäytetyötä aloittaessa oma osaamiseni ulottui sähkömarkkinoiden perustietämykseen ja koulun kautta käydyn teorian. Kehityin sähkömarkkinoiden osaamisessa tietäen reservimarkkinoiden toimintatavat ja niiden kehitystä. Kolmessa eri valmistajan palaverista muodostui yleiskuva BESS markkinoista ja markkinoiden kehityksestä. Opinnäytetyö toimeksiantajan puolesta sain tutustua firman jakeluverkkoon ja tunnistaa pääkomponentteja jakeluverkostosta. Opin hahmottamaan mahdollisia sijoituspaikkoja akkuenergiavarastolle ja BESS järjestelmien modulaarisuutta. Opinnäytetyön tuloksiin olen tyytyväinen ja oppimistuloksia näkeekin opinnäytetyöstä.

## 8.2 Yhteenveto

BESS järjestelmiä tutkiessani huomasin, uusiutuvien energiamuotojen lisääntyvän ja niitten tuoman energiatuotannon vaihtelun lisäävän korvaavan energian tarvetta. Tämä lisää energianvarastojen tarvetta ylituotannon varastointiin ja alituotannon aikana energian purkamiseen. Yhtenä vaihtoehtona olisi akkuenergiavarasto.

Suosittelen tutkimaan tarkemmin akkuenergiavaraston mahdollisuutta Boliden Harjavallalle. Kulutusprofiilin tarkasteleminen olisi tärkeää investoinnin näkökulmasta. Reservikäytössä ja kulutuspiikkien leikkaamisen yhdistämisessä ottaisin yhtenä vaihtoehtona tämän investoinnin tarkasteluun. Opinnäytetyössä on käsitelty turvallisuutta, reservimarkkinoita ja mahdollisia tulon lähteitä sekä BESS järjestelmän kokonaisuutta. Reservikäyttöön investoimista suosittelen tarkastelemaan tarkemmin. Huomiona ottaisin investointi kustannuksien epävarmuuden raaka-aineiden hintakehityksen myötä.

Pelkästään reservimarkkinassa BESS:i järjestelmän käyttö voisi taata tasaiset tuotot investoinnilleen. Tämä takaisi selvän ja helpon ennustettavuuden tuotoille ja takaisinmaksu olisi helpompi taata. Viideltä vuodelta keskiarvon hinnoilla takaisinmaksaisi noin 18 vuodessa. Nykyisellä kehityksellä energiamuotojen lisääntyessä todennäköisesti myös uusiutuvien energiamuotojen myötä reservimarkkinoiden kapasiteettia tarvitsee nostaa.

## 8.3 Jatkotutkimus

Jatkotutkimuksena olisi hyvä tutkia enemmän kulutuspiikkien leikkaamisen laskentaa. Vaatisi suuremman datan kulutuksien ja tasehintojen vaihtelusta. Näistä voisi koostaa takaisinmaksuajan BESS järjestelmälle kulutuspiikkienleikkaamisella. Piikkien leikkaamisessa on helpompi kytkeä myös akku järjestelmät takaamaan turvallisuutta vaarantavat tekijät, sillä ei tarvitse sopia kapasiteetin sitomisesta reservimarkkinoille. Tarkempi kulutusprofiili olisi hyvä mittaava ja saada tehokkaampi takaisinmaksuaika investoinnille. Kulutuksien ennustaminen on vaikeampia tehtäviä jatkotutkimuksessa. Varttitaseen

integroimisessa voi tuoda muutosta reservimarkkinoiden hintoihin, mikä voi tuoda oman vaikutuksensa investointilaskelmiin

## LÄHTEET

- Boliden. (2020). Yritysesite. Haettu 12.2.2023 osoitteesta <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-harjavalta>
- Fingrid. Markkinapaikat. Haettu 30.8.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/johdanto-sahkomarkkinoin/#taseselvitys>
- Fingrid. Nopea taajuusreservi (FFR). Haettu 16.8.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/nopea-taajuusreservi/#hankinta>
- Fingrid. Varttitase eli 15 minuutin taseselvitysjakso. Haettu 30.8.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pohjoismainen-tasehallinta/varttitase/>
- Fingrid. (2023a). Automaattinen taajuuden palautusreservi. Haettu 17.3.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>
- Fingrid. (2023). Reservituotteet ja reservien markkinapaikat.
- Fingrid. (2023c). Säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat. Haettu 17.3.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/>
- Fingrid. (2023d). Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi. Haettu 17.3.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattu-kaytto--ja-hairioreservi/#tekniset-vaatimukset>
- Fingrid. (2023e). Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-N, FCR-D ylös ja FCR-D alas), vuosimarkkinahankinta ja toteutuneet tuntikaupat. Haettu 23.4.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/reservimarkkinainformaatio/Taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi-vuosimarkkinahankinta-ja-toteutuneet-tuntikaupat/>
- Haikonen, J. (2023). Henkilökohtainen keskustelu, Boliden Harjavallan rikkihappotehtaan aluetyöjohtajan, Vesa-Pekka Haikosen, kanssa.
- Holmberg, J. (2023). Henkilökohtainen keskustelu, Boliden Harjavallan sähkökunnossapitääjän, Jari Holmbergin, kanssa.
- IEEE. (2020). A Comprehensive Review of the Integration of Battery Energy Storage Systems Into Distribution Networks: Haettu 20.1.2023 osoitteesta <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9040552>
- Kukkola, M. (2021). ABB Introduction to Energy Storage Solutions esittelydiä.

Merus Power. (2023a). Merus Power receives a 20-million-euro order to supply a large battery energy storage system to Taaleri Energia - Merus Power. Haettu 14.8.2023 osoitteesta <https://meruspower.com/news/merus-power-receives-20-million-euro-order-supply-large-battery-energy-storage-system-taaleri-energia/>

Merus Power. (2023b). Merus Power vahvistaa asemaansa sähkövarastojen markkinoilla - Sallila Energia hankkii sähkövaraston tukemaan energiamurrosta - Merus Power Oyj. Haettu 19.8.2023 osoitteesta <https://news.cision.com/fi/merus-power-oyj/r/merus-power-vahvistaa-asemaansa-sahkovarastojen-markkinoilla---sallila-energia-hankkii-sahkovaraston,c3782188>

Myllykoski, J. (2023). Henkilökohtainen keskustelu, Boliden Harjavallan nikkelisulaton aluetyönjohtajan, Jyri Myllykosken, kanssa.

Ovaskainen, M. (2023). Merus<sup>TM</sup> ESS Energy Storage System esittelydia.

Pellinen, J. (2019). Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Haettu 16.8.2023 osoitteesta [https://verkkokirjahylly-almatalent-fi.lil-lukka.samk.fi/teos/IAIBFXDTEB#kohta:Kustannuslaskenta\(\(20\)ja\(\(20\)kannattavuusajattelu/piste:t3Fg](https://verkkokirjahylly-almatalent-fi.lil-lukka.samk.fi/teos/IAIBFXDTEB#kohta:Kustannuslaskenta((20)ja((20)kannattavuusajattelu/piste:t3Fg)

Rimpinen, M. (2023). Henkilökohtainen keskustelu, Boliden Harjavallan kupariliekkiuunialueen aluetyönjohtajan, Mikko Rimpisen, kanssa.

Saari, V. (2023). Henkilökohtainen keskustelu, Boliden Harjavallan kuparisulaton käyttöpäällikön, Visa Saaren, kanssa.

Saariaho, S. (2021). Hajautetun sähköntuotannon vaikutus verkon käyttövarmuuteen. Haettu 4.9.2023 osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202108306874>

Siitari, E. (2023). Henkilökohtainen keskustelu, Boliden Harjavallan Konvertoinnin, anodiuunialueen ja anodivalimon aluetyönjohtaja, Eero Siitarin, kanssa.

## LIITTEET

## LIITE 1

Vuosimarkkinahintojen kehitys 2011-2023						
Vuosi	FCR-N hinta (€/MW,h)	FCR-N määrä (MW)	FCR-D ylös hinta (€/MW,h)	FCR-D ylös määrä (MW)	FCR-D alas hinta (€/MW,h)	FCR-D alas määrä(MW)
2011	9,97	71,0	1,48	244,3		
2012	11,97	72,7	2,80	346,9		
2013	14,36	73,5	3,36	299,8		
2014	15,80	75,4	4,03	318,7		
2015	16,21	73,6	4,13	297,5		
2016	17,42	89,0	4,50	367,0		
2017	13,00	55,0	4,70	455,7		
2018	14,00	72,6	2,80	435,0		
2019	13,50	79,0	2,40	445,6		
2020	13,20	87,1	1,90	458,3		
2021	12,50	105,8	1,80	425,0		
2022	12,24	102,8	1,90	430,6	10,00	114,4
2023	19,10	67,7	2,81	345,1	9,99	186,4

## BOLIDEN HARJAVALLAN KULUTUKSIEN SUHTEET(Porin toimipiste on jätetty tarkastelusta pois)

