

Vertaileva tutkimus litiumrautafosfaatti (LFP)
-akkuenergiavarastojen suorituskyvystä
aikajaksolla 7.11.2024 -14.01.2025
huoneenlämmössä sekä ulkona Suomen
talviolosuhteissa $+8,6^{\circ}\text{C}$ ja -12°C välillä

1. Johdanto	3
1.1 Taustaa	3
1.2 Tutkimusongelma ja tavoite	4
1.3 Tutkimuskysymys ja hypoteesi	4
1.4 Keskeiset käsitteet	5
2. Kirjallisuuskatsaus	5
2.1 Aiemmat tutkimukset ja teoreettinen pohja	5
3. Tutkimusmenetelmät	6
3.1 Tutkimussuunnitelma ja olosuhteet	6
3.2 Tutkimuskohteet	7
4. Tulokset	7
4.1 Keskeiset havainnot	7
4.2 Poikkeavat havainnot	9
5. Pohdinta	9
5.1 Tulosten tulkinta ja vertailu aiempiin tutkimuksiin	9
5.2 Rajoitukset	10
5.3 Jatkotutkimukset	10
6. Johtopäätökset	10
6.1 Yhteenveto	10
6.2 Käytännön sovellukset	11
6.3 Reflektointi	12
7. Lähteet	12
7.1 Painetut lähteet	12
7.2 Sähköiset lähteet	13
7.3 Kuvalähteet	14
7.4 Haastattelut	14

1. Johdanto

1.1 Taustaa

Akkutekniikka on tunnettu jo yli sata vuotta, mutta kokemusta akkuenergiavarastoista laajassa käytössä on vasta joitakin vuosia. Energiavarastojen määrä Suomessa on kasvussa, ja kiinnostus niihin on suurta sekä teollisuuden tarpeiden että kotitalouksien näkökulmasta. Säästä riippuvaisen sähköntuotannon, kuten tuuli- ja aurinkovoimaloiden lisääntyessä, myös sähköön reservien on kasvettava. Suomi kuuluu maailman kylmimpiin maihin ja nämä vaativat ilmasto-olosuhteet edellyttävät energiavarastojen toiminnan hallintaa kylmissä lämpötiloissa.

Energiavarastot ovat nousseet keskeiseksi ratkaisuksi, jolla pyritään vastaamaan sekä nykypäivän energiatarpeisiin että ympäristöhaasteisiin. Valtiovalta ja kansainväliset organisaatiot tukevat uusiutuvia energiaratkaisuja ja samalla asettavat yhä tiukempia päästörajoituksia, mikä vauhdittaa energiavarastojen käyttöönottoa ja investointeja. Energiavarastoja liitetään yhä enemmän älykkäisiin sähköverkkoihin (smart grids), jotka hyödyntävät tekoälyä ja data-analytiikkaa optimoidakseen energiantuotannon, -varastoinnin ja -kulutuksen. Energiavarastojen monipuoliset käyttökohteet ja merkittävyys kestävässä energiantuotannossa tekevätkin niistä keskeisen tutkimus- ja investointikohteen.

Energiavarastot luovat meille mahdollisuuden varastoida ja säilöä energiaa lähellämme. Energiavarastot parantavat energiaturvallisuutta varmistamalla, että energiaa on saatavilla myös häiriötilanteissa. Tämä on erityisen tärkeää alueilla, joilla sähköverkon luotettavuus on heikko. Energiavarastoilla on kiinnostava rooli myös taloudellisesta näkökulmasta. Suomessa pörssisähkön hinta on aikaisemmin vaihdellut tunnin välein, mutta vuonna 2025 se tulee vaihtelevaan neljäksi tunniksi (Viikari, 2023). Energiavarastojen avulla voidaan hallita energian hintavaihteluita ja vähentää kustannuksia siirtämällä kulutusta ajankohtiin, jolloin energia on halvempaa. Tämä on hyödyllistä niin kuluttajille kuin yrityksillekin.

Markkinoille on tullut kotitalouskäyttöön tarkoitettuja energiavarastoja, joilla voidaan tasata sähköön saatavuutta ja pörssisähkön mahdollisia suuria hintavaihteluita (kts.liite 1) kasvattamalla reservejä tarvittavalle tasolle. Kotitalouskäytössä energiavarastot ovat varsin uusi ratkaisu ja käytön yleistymisen tiellä on vielä monia hidasteita, esimerkiksi sopivien tilojen löytyminen kotiloista. Sähköyhtiöiden tarjoamien akkuratkaisujen toimituksissa on tällä hetkellä pitkät jonot, ja niiden kannattavuus riippuu täysin reservien tarjonnasta ja

kattavuudesta (Saarinen, 2024). Ylimääräinen energia kannattaa varastoida käytettäväksi silloin, kun tuotanto on vähäistä ja sähkön kysyntä suurta. Energiavarastojen avulla voidaan rakentaa suurempi määrä uusiutuvaa sähkön tuotantokapasiteettia. Ne voivat tarjota nopeasti käyttöön otettavaa energiaa, joka auttaa tasapainottamaan tarjonnan ja kysynnän vaihteluita sekä ehkäisemään sähkökatkoksia. (Hankaniemi, 2024)

Energiavarastot ovat nopeassa kehitysvaiheessa. Nykyään on mahdollista rakentaa jopa kahdeksan tunnin akustoja. Tämä tarkoittaa, että energiavarasto pystyy syöttämään sähköä verkkoon tietyllä teholla mitoitetulla alueella kahdeksan tunnin ajan, mitä pidettiin muutama vuosi sitten miltei mahdottomana. Samaan aikaan energiavarastoihin käytettävän tekniikan, kuten akkukennojen hinnat ovat laskeneet, kuten myös useissa akkukohteissa käytettyjen aurinkopaneelien kustannukset ovat laskeneet parissa vuodessa jopa 90%, mikä tekee investoinneista järkevämpiä. Suomessa on jo useita sähköakkuvarastoja, jotka osallistuvat reservimarkkinoille. Esimerkiksi ranskalainen sähköyhtiö rakensi ensimmäisen energiavaraston Lappeenrantaan jo vuonna 2020. Vuonna 2024 julkaistiin Suomen toistaiseksi suurimman akkusähkövarastohankkeen käynnistäminen, varasto olisi teholtaan 120 megawattia (Väisänen, 2023). Uusia toimijoita ja hankkeita syntyy kokoajan Suomessa. Toisaalta tämä tarkoittaa, että energiavarastoista ei ole vielä pitkäaikaista käyttökokemusta tai dataa. (Lassila, 2024)

1.2 Tutkimusongelma ja tavoite

Kylmissä olosuhteissa kuten Pohjois-Euroopan maissa mukaan lukien Suomessa, talvet ovat kylmiä ja lämpötila laskee pakkasen puolelle. Suurin osa akkuenergiavarastoista on suunniteltu kansainvälisesti keskimääräisille lämpötiloille. Lämpimillä alueilla joudutaan usein jäädyttämään energiavarastoja, mihin ei pääsääntöisesti ole tarvetta Suomessa. Vaan meidän kannalta on tärkeää ymmärrys akkuenergiavarastojen toimivuudesta erityisesti talvikaudella, eli mitä vaikutuksia kylmällä on varastoinnin tehokkuuteen. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, toimiiko energiavarasto tehokkaasti kylmissä olosuhteissa.

1.3 Tutkimuskysymys ja hypoteesi

Lähdimme selvittämään vastausta tutkimuskysymykseemme: “Miten energiavaraston kapasiteetti muuttuu kylmässä käyttöympäristössä?” Hypoteesimme oli, että energiavarastojen kapasiteetit pysyvät samoina noin +0 celsiusasteeseen saakka, ja matalammissa lämpötiloissa ulkona olevan akkuenergiavaraston kapasiteetti alkaisi

laskemaan ja se laskisi suoraan verrannollisesti lämpötilan kanssa. Sisällä olevan akkuenergiavaraston kapasiteetin oletettiin pysyvän samana.

1.4 Keskeiset käsitteet

Akkuenergiavarasto (battery energy storage system = BESS) itsessään on järjestelmä tai rakenne, joka kykenee tallentamaan energiaa myöhempää käyttöä varten. Energiavarasto on akkua laajempi käsite, joka kattaa erilaiset teknologiat energian varastoinniseksi, kuten sähkö-, lämpö- ja mekaaniset järjestelmät. Energiavarastot voivat sisältää akkuja, mutta ne voivat myös perustua muihin teknologioihin, kuten pumppuvoivoimaan, lämpöenergian varastointiin tai lentopyöriin. Toisin sanoen kaikki akut ovat energiavarastoja, mutta kaikki energiavarastot eivät ole akkuja. (Novakovic ym., 2016) Kapasiteetti ($P \cdot t$) tarkoittaa laitteen kokonaisvarauskykyä. Kapasiteetin väheneminen tarkoittaa tutkimuksen kannalta käytännössä sitä, että energian varastointikyky laskee. Tehon yksikkö on watti ja se kertoo käytetyn energian määrän aikayksikössä.

2. Kirjallisuuskatsaus

2.1 Aiemmat tutkimukset ja teoreettinen pohja

Tutkimme LFP-akkuenergiavarastoja, koska ne ovat todettu parhaiksi saatavilla oleviksi akuiksi niiden tasaisen energian kulutuksen vuoksi. Aiemmin on tutkittu lämpötilan vaikutuksia kaupallisten LFP-energiavarastojen ikääntymiseen. Kyseisessä tutkimuksessa käytettiin 18650-tyypin kennoja, joissa on

$\text{Li}_x\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2/\text{Li}_y\text{Mn}_2\text{O}_4$ -elektrodit. Niiden kanssa huomattiin kylmissä olosuhteissa ongelmia, kuten metallisen litiumin pinnoittuminen, mikä heikentää akun toimintakykyä, sekä estää sen kierrättämisen jatkossa. Muita havaittuja vanhenemismekanismeja ovat siirtymämetallien liukeneminen, sivureaktiot elektrolyytin kanssa ja materiaalin rakenteelliset muutokset syklien aikana. (Waldmann ym., 2014)

Tuoreissa tutkimuksissa on huomattu kylmien olosuhteiden vaikuttavan energiavarastojen ennenaikaiseen vanhentumiseen (Huang ym., 2024). Myös matalat lämpötilat näyttävät hidastavan akun latausprosessia merkittävästi, mikä voi pahimmillaan aiheuttaa akun elektrolyytin jäätyksen ja oikosulkuja (kts. liite 2).

Kohtuullisen kylmät olosuhteet eivät suoraan hajoa energiavarastoja, vaan aiheuttavat niiden niin sanottua jäykistymistä: niiden sisäiset orgaaniset yhdisteet jäykistyvät, jolloin energiavaraston suorituskyky laskee ja kojeisto kärsii, mikäli energiavarastoa käytetään kylmiltään (Jaquemont ym., 2016.).

LFP eli litium-rautafosfaattiakut ovat todettu olevan varsin ympäristöystävällinen ratkaisu, sillä niihin kuluu vähemmän harvinaisia metalleja, kuten kobolttia ja nikkeliä. Siitä huolimatta niissä on ongelmia ekologisuuden kanssa, ja siksi ne ovat vielä kehityshaaste sekä valmistuksen että ympäristön näkökulmasta. Luonnonvarojen ja resurssien ylikulutuksen vuoksi on niiden elinkaari saatava venytettyä mahdollisimman pitkäksi ja niiden toiminta mahdollisimman monipuoliseksi ja tehokkaaksi. (Jaquemont ym., 2016)

3. Tutkimusmenetelmät

3.1 Tutkimussuunnitelma ja olosuhteet

Tutkimme aihetta käyttäen kahta litiumrautafosfaatti (LFP) (LiFePO_4) kannettavaa energiavarastoa, Chint PES-1200 (kts. liite 12), jotka nimettiin A:ksi ja B:ksi. Energiavarastot olivat identtiset, ja niiden oli luvattu kestävän kylmiäkin ulkolämpötiloja. Havainnollistamiseksi kylmien maiden kuten Suomen olosuhteiden vaikutusta energiavarastoihin, energiavarasto A sijoitettiin lämpöiseen sisätilaan (kts. liite 3) ja B ulkotilaan Helsingin Pitäjänmäellä (kts. liitteet 4 ja 5). Sisätilassa energiavarasto toimi tasaisessa +19 celsiusasteen lämpötilassa. Ulkona lämpötila vaihteli päivittäin. Kokeellinen tutkimus toteutettiin talvikaudella marras-tammikuu aikana, jolloin Helsingissä on tavanomaisesti kylmiä ulkolämpötiloja. Ulos sijoitettu energiavarasto oli eristämättömässä metallisessa suojakotelossa, jossa oli avoin pohja. Molemmat energiavarastot ladattiin täyteen ja purettiin tyhjäksi samanlaisilla kuormilla ja latauslaitteilla. Purimme niitä esimerkiksi tuulettimeen ja lämpöpatteriin. Lämpötiloja mitattiin käyttäen lämpötila-antureita ja ohjelmoitavaa logiikkaa, jotka tallensivat dataa jatkuvasti. (Kts. liite 6, liite 13 ja liite 14)

Tulokset ja muuttujat, kuten tilojen lämpötilat, energiavarastojen toimintakyky ja sen muutokset, mitattiin ja kirjattiin säännöllisesti. Jokaisen syklin jälkeen arvioitiin purku- ja lataussyklin kesto (s) sekä kapasiteetin muutos ja kapasiteetin väheneminen, kun ulkolämpötila laski (kts. liite 15). Purku- ja lataussyklit toistettiin aluksi kuuden tunnin välein, joka oli lähellä nopeinta mahdollista täydellistä lataus-purku sykliä, ja myöhemmin 24-tunnin välein. Tutkimuksen alussa saimme joka päivä akkuenergiavarastojen kapasiteetille neljä arvoa, joille laskimme keskiarvon, jotta saisimme kaavioihin kapasiteetin muuttumisen päivä päivältä. Myöhemmin meidän ei tarvinnut laskea purku- ja lataussykliä keskiarvoa, kun toistimme purku- ja lataussyklin kerran vuorokaudessa.

Energiavarastojen tehon pitäisi pysyä vakiona eli niille annetun tehon 1,2 kW (=P) suuruisena. Tämän varmistamiseksi testasimme sen energiankulutusmittarilla. Kun varmistimme tehon pysyvän vakiona,

pystyimme hyödyntämään kaavaa $E=P \cdot t$ kapasiteetin laskemiseksi tietäen myös kuluneen ajan. Mittasimme aikaa sekunteina mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi, ja muunsimme sekunnit sitten tunneiksi.

Laskimme purku-lataussyklin kestävänsä neljä tuntia, kun energiavarastoa käytettiin täydellä teholla, ja kun sen kapasiteetti oli täysin kunnossa. Energiavaraston lataus kesti täydellä teholla kolme tuntia ja purku noin tunnin. Pitämällä syklin ja muut muuttujat muuttumattomina havaittu kapasiteetin mahdollinen muuttuminen johtuu lämpötilan vaikutuksesta.

Akut ovat lähtökohtaisesti turvallisia, mutta niiden vahingoittuessa voi syntyä paloturvallisuusriski. Jos ne pääsevät vaurioitumaan, voivat ne mennä oikosulkuun ja syttyä palamaan. Tämän ehkäisemiseksi varmistimme akkujen huolellisen ja turvallisen sisällä olevalla tuulettimella. Ulkona olevan energiavaraston suojalaatikko myös esti sen kastumisen, joka olisi puolestaan voinut johtaa oikosulkuun.

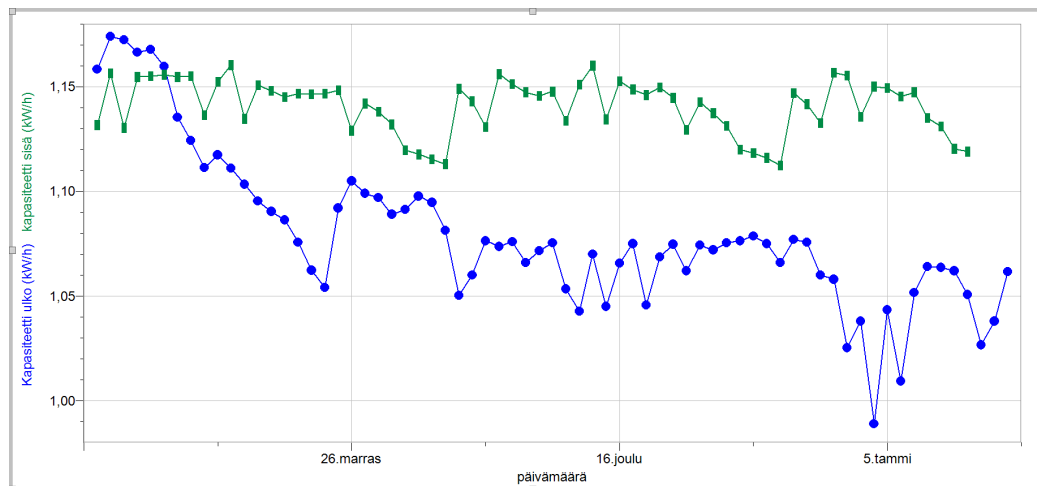
3.2 Tutkimuskohteet

Käyttämämme energiavarasto tyypin teho oli 1,2 kW ja tuote-esite lupasi sille vähintään 3000 latausta täydellä teholla (Chint, 2023). Energiavaraston lataus-purku kuuden tunnin syklillä vastaisi siis akun tehon kestämistä täydellisenä suunnilleen kaksi vuotta, mutta keskiverto käytössä eli kerran vuorokaudessa akun teho kestäisi noin 8 vuotta. Tämän perusteella energiavaraston vanhenemisen ei pitäisi vaikuttaa merkittävästi tutkimustuloksiin tässä tutkimuksessa.

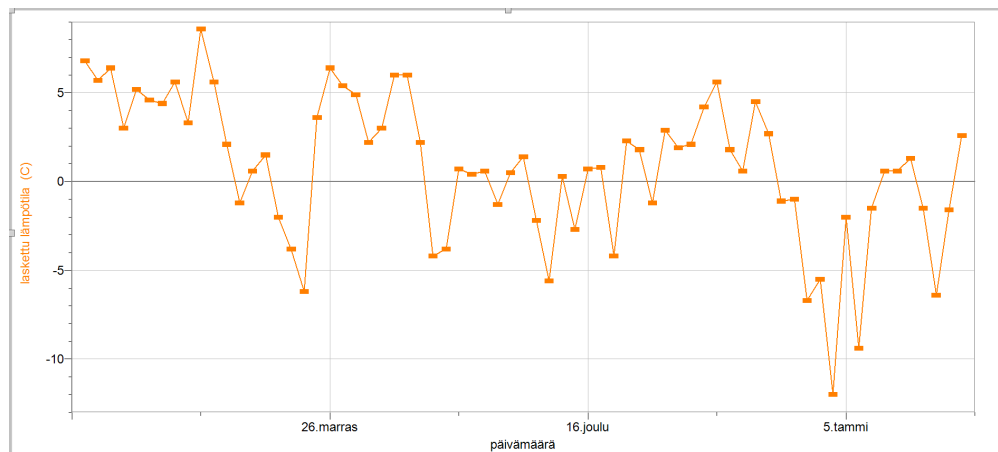
4. Tulokset

4.1 Keskeiset havainnot

Mittaukset toteutettiin 7.11.24-14.1.25, jonka aikana ulkolämpötila vaihteli $+8,6^{\circ}\text{C}$ ja -12°C välillä, kylmin lämpötila saavutettiin 4.1.25. Tutkimustulokset osoittivat, että lämpötila vaikuttaa energiavaraston toimintakykyyn ja kapasiteettiin selkeästi. Suuria eroja akkuenergiavarastojen A ja B kapasiteeteissa alettiin havaita, kun ulkolämpötilat putosivat -5°C alapuolelle marraskuun lopussa (kts. kuva 1 ja 2). Ulkona olevan akkuenergiavaraston kapasiteetti laski lämpimien päivien kapasiteetista noin 1,2 kWh:sta noin 0,98 kWh:iin eli 18,4%, kun lämpötila laski alle -10°C ja lataussykli oli 24 tuntia (kts. liite 7). Läpi tutkimuksen sisälämpötiloissa olevan energiavaraston kapasiteetti pysyivät vakaina (kts. liite 8). Havaitsimme, että akkuenergiavarastot sopivat hyvin myös rajattuun pienkäyttöön kuten kotitalouksiin niiden helppokäyttöisyyden vuoksi. (Kts. taulukko 1)



Kuva 1. Kaaviosta näkee akkuenergiavarojen A (vihreä) ja B (sininen) kapasiteettien muutos suhteessa toisiinsa.



Kuva 2. Kaavio ulkolämpötilojen vaihtelusta.

Taulukko 1. Tutkimuksen keskeiset tulokset, jaksolla 7.11.24 - 14.1.25.

korkein ulkolämpötila	+8,6 °C (16.11.24)
matalin ulkolämpötila	-12 °C (4.1.25)
suurin kapasiteetti (energiavaroasto B)	1,174 kWh (8.11.24)
pienin kapasiteetti (energiavaroasto B)	0,989 kWh (4.1.25)
suurin lämpötilaero (kaapin sisä- vs. ulkolämpö) => hukkalämmön vaikutus neljän tunnin syklillä	13,2 °C
pienin lämpötilaero (kaapin sisä- vs. ulkolämpö) 24h sykli	0 °C

4.2 Poikkeavat havainnot

Tutkimuksen alussa toistimme purku-lataussyklin kuuden tunnin välein, mutta havaitsimme, että energiavarastot eivät jatkuvan syklin vuoksi päässeet jäähtymään. Energiavarastoista syntyi hukkalämpöä eli energiavarastot lämpenivät purku-lataussykliä aikana merkittävästi (kts. liite 9). Tämän seurauksena ulkona sijaitsevan energiavarasto B:n lämpötila suojakaapissa pysyi korkeana, vaikka ulkolämpötilat laskivat. Tällöin suurin havaittu lämpötilaero, kuuden tunnin lataus-purkussyklillä, kaapissa ja ulkona oli 13.2°C, vastaavasti 24-tunnin pituisen syklin aikana ulkolämpötilat ja akkuenergiavaraston lämpötila suojakaapin sisällä eivät eronneet toisistaan merkittävästi (kts. liite 10).

Hukkalämpö vaikutti ulkotilassa olevan akkuenergiavaraston kapasiteettiin positiivisesti (kts. liite 11). Koska halusimme keskittyä ulkolämpötilan vaikutuksiin, toteutimme lataus-purkussyklin vain kerran vuorokaudessa. Voidaan todeta, että mikäli joissain olosuhteissa olisi tarvetta pitää energiavarastoa jatkuvassa purku-lataussyklissä, se pitäisi itsensä täysin lämpimänä, jolloin kylmät olosuhteet eivät aiheuttaisi merkittäviä vaikutuksia energiavaraston toimintaan. Hallitsemalla purku-lataussykliä pituutta kapasiteettiin voidaan siis vaikuttaa kylmissä ulkolämpötiloissa merkittävästi.

5. Pohdinta

5.1 Tulosten tulkinta ja vertailu aiempiin tutkimuksiin

Hypotesimme oli, että energiavarastojen A:n ja B:n kapasiteetit pysyisivät samoina noin +0 celsiusasteeseen saakka. Matalammissa lämpötiloissa ulkona olevan energiavaraston kapasiteetti alkaisi laskemaan, ja se laskisi suoraan verrannollisesti lämpötilan kanssa. Tämä oli tulos useissa muissa tutkimuksissa, mutta meidän tutkimuksessamme akkuenergiavaraston kapasiteetin lasku alkoi merkittävästi vasta -5 celsius asteen kohdalla. Tämä tarkoittaa, että Suomen lauhkenevissä talvissa, kun lämpötila ei laske merkittävästi nollan alapuolelle, akkuenergiavarastojen käytön kannattavuus ei välttämättä laskisi. Tämän lisäksi purku-lataussykliä pituudesta syntyvällä hukkalämmöllä on positiivisia hyödyntämismahdollisuuksia kylmissä olosuhteissa, joita emme osanneet ennakoida aiempien tutkimuksien perusteella.

5.2 Rajoitukset

Ilmankosteus vaikuttaa ulkona olevaan akkuun varsinkin syksyllä, vaikka ei olisikaan erityisen kylmä. Vaikka suojasimme ulkotilassa olevan energiavarasto B:n, saattoi se silti altistua kosteudelle, lumelle ja pakkashuurteelle, mikä saattoi vaikuttaa sen rakenteeseen tai tehokkuuteen lämpötilan lisäksi. Sääolosuhteet vaihtelevat vuosittain, joten tutkimuksesta saadut tulokset ovat vain kyseisen ajanjakson kohdalta. Kaksi teknistä laitetta eivät myös koskaan ole täysin identtiset, jolloin tutkimustuloksiin on voinut vaikuttaa laitekohtaiset eroavaisuudet. Meillä olikin käytössä kaksi energiavarastoa, joten tulokset voisivat olla varmempia, jos energiavarastoja olisi ollut enemmän. Myös energiankulutusmittareiden, lämpötila-antureiden tai aikamittareiden kalibrointivirheet voivat aiheuttaa epätarkkuuksia.

5.3 Jatkotutkimukset

Energiavarastot ovat monimutkaisia järjestelmiä, joiden ymmärtäminen ja osaaminen kehittyy tutkimuksen ja käyttökokemuksen lisääntyessä. Koska nykypäivänä energiavarastojen valmistuksessa tarvitaan runsaasti harvinaisia maametalleja ja muita ympäristölle haitallisia raaka-aineita, olisi tärkeää vielä syvällisemmin perehtyä energiavarastojen toiminnan optimointiin ympäristötekijät huomioiden. On siis tärkeää pidentää energiavarastojen käyttöikää mahdollisimman pitkäksi hyödyntämällä niitä oikeaoppisesti eli huomioimalla erityisesti lämpötilan, sillä liian kylmät tai kuumat olosuhteet vaikuttavat selvästi suorituskykyyn. Myöskin energiavarastojen ja akkujen määrän kasvaessa tulee niiden kierrätyksen ja jatkokäytön olla hallinnassa. Energiavarastoilla on rajoitettu käyttöikä ja käytöstä poistuneiden energiavarastojen kierrätykseen on syytä panostaa tulevaisuudessa. Myöskin lauhtuvien talvien johdosta talvet eivät ole Suomessa enää yhtä kylmiä kuin aiemmin, joten tulevaisuudessa energiavarastojen käyttö voi olla entistäkin kannattavampaa myös Pohjoisessa

6. Johtopäätökset

6.1 Yhteenveto

Akkuenergiavarastojen kapasiteetti laski merkittävästi alle -5 °C lämpötiloissa. Purku-lataus syklin pituus ja siitä syntyvä hukkalämpö vaikuttivat voimakkaasti kapasiteettiin parantavasti kylmissä lämpötiloissa. Tutkimuksen tulos osoittaa, että akkuenergiavarastojen käytön huolellisella suunnittelulla, erityisesti hukkalämmön hyödyntämisellä, voidaan vaikuttaa niiden tehokkuuteen Suomen kaltaisissa olosuhteissa. Akkuenergiavarastojen käyttö on siis oletettua kannattavampaa Suomen kaltaisissa talviolosuhteissa.

6.2 Käytännön sovellukset

Mikäli hukkalämpöä hyödynnetään energiavaraston lämmittämiseen, ulkopuolisen lämmityksen vaikutus ei olisi niin suuri, kuin alun perin tutkimuksessa oletettiin. Siitä huolimatta on se otettava huomioon. Kapasiteetti laski selkeästi lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle. Siksi olisikin oleellista erityisesti talvisin, kun sähkönkulutus on kovinta, että energiavarastojen säilytyslämpötila saataisiin pidettyä vakaana tasaisen kapasiteetin turvaamiseksi. Pakkasen aiheuttama jäykkyys oli kuitenkin luultua pienempää hukkalämmön vuoksi, ja kylmästä aiheutuvaa huonoa toimintakykyä voitaisiin ratkaista, myös kehittämällä energiavarastojen elektrolyyttejä kylmänkestävimiksi, sekä lyhentämällä purku-lataussykliä kylmällä.

Akkuenergiavarastoissa syntyvää hukkalämpöä voidaankin pitää enemmänkin hyötylämpönä, sillä vapautuva lämpö nostaa energiavaraston lämpötilaa, mikä puolestaan parantaa sen kapasiteettia. Tämä tekee Suomen kaltaisen maan sääolosuhteiden suotuisaksi kohteeksi rakentaa energiavarastoja. Erityisesti, koska kesäkaudella ei Suomessa tarvita laajamittaista jäähdytystä, mikä on todettu jo palvelinkeskusten sijoitus päätöksissä Suomeen ja sen kaltaisille kylmille leveysasteille. Lämpimissä olosuhteissa energiavarastojen lämpeneminen ei ole hyvä, sillä myös liian korkea lämpötila laskee kapasiteettia, jolloin energiaa kuluu vastaavasti jäähdyttämiseen. Tämä tarkoittaa, että hukkalämmön hyödyntämisen vuoksi saattaisi energiavarastojen käyttö olla jopa tehokkaampaa kylmissä olosuhteissa.

Poiketen sähköautojen akuista energiavarastojen kulutus ja käyttö ovat pitkälti tasaisia ja suunniteltavissa, ja tätä akkuenergiavarastojen ominaisuutta voitaisiinkin hyödyntää varastojen kotikäytössä. Syklien lukumäärä voitaisiin suunnitella siten, että niiden lämpö nostaisi energiavaraston kapasiteettia. Esimerkiksi kotitalouskäytössä energiavarasto voisi sisällä toimia lämpöpatterin tavoin. On kuitenkin tärkeä muistaa paloturvallisuusriski säilyttäessä energiavarastoja sisätiloissa. Energiavarastoa kannattaa siis käyttää aktiivisemmin kylmissä olosuhteissa kapasiteetin maksimoimiseksi. (Saarinen, 2024)

Akkuenergiavarastojen kotikäyttöä on ehkä jo lähitulevaisuudessa mahdollista yhdistää muihinkin toimintoihin. Esimerkiksi jos kotitaloudessa on aurinkopaneeli, pystyisi sen aurinkosähköä varastoimaan akustoon pörssisähkön lisäksi, mikä lisäisi energiavarastojärjestelmän kannattavuutta kotona. Tulevaisuudessa voisi myös sähköauton akun ja kodin energiavaraston yhdistää yhdeksi. Tällä hetkellä akkuenergiavarastojen kotikäytöstä ei ole vielä juurikaan kokemusta. On hyvin todennäköistä, että käytön lisääntyessä akkuenergiavarastojen

yksikköhinnat putoavat, mikä tekee niiden käytöstä mahdollista yhä useammalle. Kuitenkaan LFP-akkujen maailmanlaajuinen käyttö ei ole mahdollista rajattujen luonnonvarojen vuoksi. Litium pohjaiset akut ovat tehokkaimpia markkinoilla, mutta on tärkeää kehittää vaihtoehtoisia akkuenergiavarastoja, kuten täysin esimerkiksi rautapohjaisia akkuenergiavarastoja (Zhang ym., 2025).

6.3 Reflektointi

Tutkimuksen aikana olemme oppineet paljon uutta. Opimme, että tutkimustulokset voivat olla yllättäviä, ja niitä havainnoidessa saattaa ilmetä uusia, mutta tärkeitä tekijöitä tutkimustuloksen kannalta. Tässä tutkimuksessa olimme esimerkiksi ajatelleet toteuttaa lataus-purkusykliä kuuden tunnin välein, mikä ei kuitenkaan osoittautunut järkeväksi tutkimuksemme kannalta, sillä syntyvä hukkalämpö nosti merkittävästi energiavarastojen lämpötilaa. Myös havaitsemamme hukkalämmön mahdollinen hyödyllisyys Suomen kaltaisissa olosuhteissa oli ennakoimaton tulos. Tämän lisäksi opimme, miten tärkeää on testata tutkimusmenetelmän toimintaa ja olla joustava. Vaikka kohtasimme useampia haasteita tutkimuksen aikana, emme muuttaisi mitään prosessista, sillä juuri nämä haasteet ovat opettaneet meille, millaista tutkimuksen tekeminen on, ja ne ovat tuoneet meille tutkimisen ja oppimisen iloa.

Saimme mentorointia ja arvokkaita neuvoja tutkimukseemme Aalto-yliopiston energia- ja konetekniikan laitoksen apulaisprofessori Annukka Santasalo-Aarniolta. Pääsimme tutustumaan Aalto-yliopiston tiloihin, joissa tehdään samankaltaista tutkimusta suuremmassa mittakaavassa. Keskustelimme Santasalo-Aarnion kanssa tutkimusaiheestamme sekä energiavarastojen roolista ja merkityksestä yhteiskunnassa ja saimme arvokasta ohjausta. Teknistä asiantuntija-apua sekä laitteet meille antoi Chintin energiavarastojen tekninen asiantuntija insinööri Ari Järvinen. Vanhemmiltamme saimme keskustelutukea ja kannustusta tutkimuksen aikana.

7. Lähteet

7.1 Painetut lähteet

Saarinen, Mirjami (2024, joulukuu 5). Onko kotiakku liian hyvää ollakseen totta? *Talouselämä*.

Waldmann, Thomas & Wilka, Marcel & Kasper, Michael & Fleischhammer, Meike & Wohlfahrt-Mehrens, Margret (2014, syyskuu 15). Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries – a postmortem study. *Journal of Power Sources*. 129–135.

7.2 Sähköiset lähteet

Chint (2023, elokuu 1). CHINT's New Portable Energy Storage, Safeguarding Power Globally. Verkko-osoitteessa:

[CHINT's New Portable Energy Storage. Safeguarding Power Globally](#)

Hankaniemi, Anu Leena (2024, elokuu 22). Tällaisia kontteja yhtiöt pystyttävät nyt kaikessa hiljaisuudessa metsiin ja teiden varsille – voi näkyä sähkölaskussa. *Yle*. Verkko-osoitteessa: [Tällaisia kontteja yhtiöt pystyttävät nyt kaikessa hiljaisuudessa metsiin ja teiden varsille – voi näkyä sähkölaskussa | Kotimaa | Yle](#)

Huang, Xinrong & Meng, Jinhao & Jiang, Wei & Liu, Wenjie & Liu, Kailong & Zhang, Yipu & Stroe, Daniel-Ioan & Teodorescu, Remus (2024, syyskuu). Alternating current heating techniques for lithium-ion batteries in electric vehicles: Recent advances and perspectives. *Science Direct*. Verkko-osoitteessa: [Alternating current heating techniques for lithium-ion batteries in electric vehicles: Recent advances and perspectives - ScienceDirect](#)

Jaquemont, Joris & Boulon, Loïc & Dubé, Yves (2016, helmikuu 15). A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures. *Science Direct*. Verkko-osoitteessa: [A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures - ScienceDirect](#)

Lassila, Anni (2024, syyskuu 1). Akkujen vallankumous. *Helsingin Sanomat*. Verkko-osoitteessa: [”Akkujen rooli sähköjärjestelmässä tulee olemaan suurempi kuin moni on ymmärtänyt”, sanoo energiayhtiön johtaja | HS.fi](#)

Novakovic, Bora & Nasiri, Adel (2016). Introduction to electrical energy systems. *Science Direct*.

Verkko-osoitteessa: [Energy Storage System - an overview | ScienceDirect Topics](#)

Viikari, Meri (2023, lokakuu 6). Vihreä siirtymä edellyttää ripeää sähkömarkkinaa. *Fingrid*. Verkko-osoitteessa:

[Vihreä siirtymä edellyttää ripeää sähkömarkkinaa - Fingrid-Lehti](#)

Väisänen, Riitta (2023, joulukuu 27). Ranskalaisyhtiö rakentaa Suomen itärajan tuntumaan toisen ja

edeltäjänsä suuremman akkuvaraston. *Yle*. Verkko-osoitteessa: [Ranskalaisyhtiö rakentaa Suomen itärajan](#)

[tuntumaan toisen ja edeltäjänsä suuremman akkuvaraston | Kotimaa | Yle](#)

Zhang, Shuangbin & Gao, Shengyong & Zhang, Yiming & Song, Yuxi & R.Gentle, Rian & Wang, Lianzhou &

Luo, Bin (2025, tammikuu). All-Soluble All-Iron Aqueous Redox Flow Batteries: Towards Sustainable Energy

Storage. *Science Direct*. Verkko-osoitteessa: [All-Soluble All-Iron Aqueous Redox Flow Batteries: Towards](#)

[Sustainable Energy Storage - ScienceDirect](#)

7.3 Kuvalähteet

Chint (2023, elokuu 1). CHINT's New Portable Energy Storage, Safeguarding Power Globally. Verkko-osoitteessa:

[CHINT's New Portable Energy Storage, Safeguarding Power Globally](#)

Huang, Xinrong & Meng, Jinhao & Jiang, Wei & Liu, Wenjie & Liu, Kailong & Zhang, Yipu & Stroe, Daniel-Ioan &

Teodorescu, Remus (2024, syyskuu). Alternating current heating techniques for lithium-ion batteries in electric vehicles:

Recent advances and perspectives. *Science Direct*. Verkko-osoitteessa: [Alternating current heating techniques for](#)

[lithium-ion batteries in electric vehicles: Recent advances and perspectives - ScienceDirect](#)

Sahko.tk (2024, lokakuu). Verkko-osoitteessa: [Pörssisähkön spot-hinta Suomessa](#)

Vähimaa, Eve (2024, joulukuu 4).

7.4 Haastattelut

Santasalo-Aarnio, Annukka (2024, marraskuu 11). Aalto-yliopiston energia- ja konetekniikan laitoksen

apulaisprofessori.

Järvinen, Ari (2024, joulukuu 4). Tekninen asiantuntija ja insinööri.