



Toni Parkkinen

Esipuhe: Jussi Soppela

Modernit litiumakkupohjaiset energiavarastot varmennetuissa sähköverkoissa



Tekijä:

**Toni Parkkinen, M.Eng, M.Health Care, Ensihoito, Kainuun
hyvinvointialue**

Tiivistelmä, esipuhe ja sisällön viimeistely:

**Jussi Soppela, PhD, yliopettaja, Tulevaisuuden biotalous, Lapin
ammattikorkeakoulu**

Metatiedot

Tyyppi: Monografia

Julkaisija: Lapin ammattikorkeakoulu Oy

Julkaisuvuosi: 2025

Sarja: Pohjoisen tekijät - Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja 7/2025

ISBN: 978-952-316-541-0

ISSN: 2954-1654

URL: <https://lapinamk.fi/e-kirja/modernit-litiumakkupohjaiset-energiavarastot-varmennetuissa-sahkoverkoissa/>

Oikeudet: CC BY 4.0

Kieli: suomi

©Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

Tiivistelmä

Sairaaloissa energiahuollon erityistarpeena on katkoton sähkönsyöttö kriittisten toimintojen ylläpitämiseksi potilastoiminnoissa. Älykkään akkuteknologian kehittyminen on tuonut mahdollisuuksia soveltaa uusiutuvalla energialla ladattavia akkuvarastoja myös sairaaloiden energiahuollon varmistamiseksi, tarjoten samalla mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa energiaa yhteistyössä alueellisten sähköntuotannon toimijoiden kanssa.

Tässä kuvailevaan kirjallisuuskatsaukseen perustuvassa raportissa haetaan uusia energiavarastointiin perustuvia ratkaisumalleja katkottoman sähkönsaannin turvaamiseksi sairaaloissa. Julkaisu tarjoaa energiatuotannon toimijoille tietoa akkuvarastojen rakentamiseen liittyvästä lainsäädännöstä sekä niiden käyttöön liittyvistä järjestelmäteknisistä vaatimuksista, sopimuskäytänteistä, ja teknisistä vaihtoehdoista erityisesti BESS-järjestelmään perustuvissa ratkaisuissa. Raportissa paneudutaan myös litiumakkuteknologian vaihtoehtoihin ja niiden teknisiin ominaisuuksiin, sekä akkuteknologian käyttöön liittyviin turvallisuusnäkökohtiin.

SISÄLLYS

Tiivistelmä.....	3
Esipuhe.....	5
1. Moderni akkupohjainen energiavarasto	3
1.1 Battery Energy Storage System (BESS).....	3
1.2 Litiumioniakustojen nopea kehitys.....	7
2. Turvallisuus moderneissa litiumioniakkuvarastoissa	11
2.1 Litiumioniakustojen turvallisuus	11
2.2 Kyber- ja fyysinen turvallisuus BESS-järjestelmissä	19
2.3 Litiumioniakkukennojen kierrätys	22
3. BESS-järjestelmän suunnittelu	25
3.1 BESS-järjestelmän suunnittelun näkökohtia	25
3.2 Lainsäädäntö ja standardit liittyen energiavarastoihin	28
3.3 Osallistuminen sähköverkon järjestelmäpalveluiden tuottamiseen	31
4. BESS-järjestelmän implementointi	34
4.1 Implementointiprosessi	34
4.2 Sairaalan varavoimajärjestelmä.....	37
5. Yhteenveto.....	41
LÄHTEET	47
LIITTEET.....	64

Esipuhe

Energiaa tarvitaan yhteiskunnissa yhä enemmän ja sen käyttö monipuolistuu sekä muuttuu yhä älykkäämmin ohjattavaksi. Suuret tuotantolaitokset sekä jatkuvan energiansaannin suhteen sensitiiviset laitokset, kuten sairaalat uusivat kriittisen energiankäytön varmennettuja reservijärjestelmiään älykkäitä akkupohjaisia energiavarastoja hyödyntäen. Tähän tarkoitukseen on yleisesti käytetty ns. RUPS-järjestelmää (Rotary uninterruptible power supply), joka voidaan korvata esimerkiksi superkondensaattoreilla tai uuteen litiumakkuteknologiaan perustuvilla akkuvarastoilla (BESS, Battery energy storage systems). Samalla on mahdollista hyödyntää uusiutuvaa energiaa sekä rakentaa liiketaloudellisesti kannattava järjestelmä hyödyntäen vaihtelevia sähkötariffeja.

Uuden järjestelmän rakentamisessa on otettava huomioon soveltuvien teknisten ratkaisujen lisäksi turvallisuusnäkökohdat, jotka liittyvät akuston tulipalon riskiin sen sijaitessa lähellä energian käyttökohdetta ja asutusalueita. Lisäksi on huomioitava energiansaannin häiriötilanteessa koko järjestelmän luotettava toiminta riittävän pitkälle, ennen häiriön korjaantumista. Akkupohjaisia energiavarastoja käytetään häiriötilanteissa nopeana reservinä korvaamassa sähkön saannin vajetta lyhytaikaisesti, kunnes pitempiaikaiseen käyttöön tarkoitettut varareservijärjestelmät saadaan käyttöön.

Sairaalat ovat vain yksi akkupohjaisten energiavarastojen käyttökohde, sillä litiumioniakkuteknologian nopea hinnanlasku yhdistettynä järjestelmien nopeaan tekniseen kehitykseen sekä joustaviin hankinta- ja rahoitusmahdollisuuksiin ovat johtaneet akkuvarastoteknologian nopeaan lisääntymiseen kaikkialla maailmassa. BESS-järjestelmien voimakas kysynnän laajeneminen johtuu myös tuuli- ja aurinkovoiman käytön kasvusta,

jolloin energiantuotanto on riippuvainen vallitsevista sääoloista ja vuodenajasta.

Sähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus on tarkasti säänneltyä ja tässä raportissa on pyritty huomioimaan keskeisiä BESS-järjestelmän rakentamiseen liittyviä säädöksiä ja standardeja. Hiilipäästömarkkinoiden ratkaisuilla pyritään löytämään uusia keinoja hiilipäästöjen vähentämisessä ja jos järjestelmä rakennetaan uusiutuvaa energiaa hyödyntäen, sillä on vaikutuksia myös akkuvarastoihin perustuvan sähköntuotannon hätäreservijärjestelmän suunnitteluun sairaaloissa. Joissakin tapauksissa voi olla järkevää pyrkiä suunnittelemaan toteutus hyödyntäen sähkömarkkinoiden säätöreservijärjestelmää, jolloin rakentamis- ja ylläpitokustannuksissa voidaan säästää ja ylläpitäjä on sairaalan sijasta jokin sähkömarkkinoilta taloudellista voittoa tavoitteleva taho.

Tämä raportti pohjautuu insinööri (YAMK) Toni Parkkisen YAMK-koulutuksen opinnäytetyöhön Lapin ammattikorkeakoulussa vuodelta 2024. Raporttiin on kerätty opinnäytetyön keskeiset kohdat tiivistetysti ja sen tarkoituksena on tarjota taustatietoa BESS-järjestelmiä suunnitteleville tahoille tämän hetken tiedon pohjalta. Akkuteknologian nopean kehittymisen vuoksi akkuvarastojen suunnittelussa on otettava huomioon uusien akkutyyppeiden ominaisuudet ja niiden vaikutukset koko järjestelmän toimintaan.

Rovaniemellä 6.2.2025

Jussi Soppela

1. Moderni akkupohjainen energiavarasto

1.1 Battery Energy Storage System (BESS)

Nykyisin kaupallisesti saatavilla ovat BESS-järjestelmät tarjoavat etuja, joita muissa energianvarastointiteknologioissa ei välttämättä ole. Tällaisia etuja ovat esimerkiksi järjestelmän helppo siirrettävyys, pieni koko yhdistettynä energiatiheyteen ja kyky luovuttaa tai ladata nopeasti energiaa. (Energy Education & Research Institute 2021.) Merkittävin syy litiumioniakustoihin perustuvien energian varastointijärjestelmien (BESS) yleistymiseen on järjestelmien kustannusten merkittävä lasku. Vaikka energianvarastoinnin kustannukset ovat vielä korkeat verkosta saatavaan energiaan verrattuna, energianvarastoinnin kustannukset ovat laskeneet viimeiset 20 vuotta. (Energy Education & Research Institute 2021; Shepard 2022.)

BESS-järjestelmät kykenevät toimimaan hyvin haastavissakin olosuhteissa. Niitä on rakennettu niin aavikoille kuin arktisille alueillekin. (ABB Inc. Power Electronics 2023, 1.) BESS-järjestelmät ovat yksi käytetyimmistä energianvarastointimuodoista uusiutuvista tuuli- ja sähköenergiälähteistä saatavalle energialle (Energy Education & Research Institute 2021). Syklisen energiantuotannon varastointi mahdollistaa energiatarpeiden tukemisen esimerkiksi syrjäisillä alueilla asuville yhteisöille (Solovev 2021).

Modernit BESS- järjestelmät kykenevät tasoittamaan kulutushuippuja Peak Saving- järjestelmällä, jolla on mahdollista vähentää energiankulutusta sähkönkulutuksen kulutushuippujen aikana, jolloin sähkö on kalliimpaa. Energia-arbitraasissa BESS-järjestelmä varastoi energiaa alhaisen kysynnän tunteina, jolloin energian hinta on matala. Energian hinnan ollessa korkealla, BESS-järjestelmä luovuttaa käyttökohteen verkkoon varastoimansa energian. Tuotto saadaan halvan ja kalliin energian hintaerotuksesta. BESS-järjestelmät kykenevät toimimaan uusiutuvan energian tuotannon tukena.

Uusiutuvan energian tuotannossa tuotettua sääriippuvaista ja syklistä varastoitua energiaa, esimerkiksi tuuli- ja aurinkosähköä, voidaan luovuttaa edelleen jakeluverkkoon tuotannon laskiessa, mikä tasoittaa energian tuotantoa. Näin sähköverkkoon saadaan tuotettua tasaisemmin energiaa vähentäen verkon jännite- ja taajuusvaihteluita. BESS-järjestelmät kykenevät toimimaan verkosta irti olevien järjestelmien (off-the grid) energiavarastona. BESS- järjestelmä kykenee toimimaan energiavarastona, samalla vakauttaen kuormitustilanteissa sähköverkon taajuus- ja jännitevaihteluita erityisesti silloin, kun kulutus sijaitsee verkon ääripäissä. BESS-järjestelmät voivat toimia tällöin myös sähkönsiirron ja jakelun tukena (Transmission and Delay), kun sähköverkossa on jossain tietyssä kohdassa ajallisesti toistuva ylikuormitus. (Xavier ym. 2019, 7–8.)

Akkupohjaiset energiavarastot (BESS) kykenevät toimimaan myös taustalla toimivana energialähteenä (Spinning Reserve), joka on valmis tukemaan varmennettua sähköverkkoa aina energiantuotanto- tai siirtokatkosten yhteydessä. Järjestelmä voi vastata millisekuntien tai minuuttien sisällä ja syöttää energiaa verkkoon toiminnan jatkuvuuden ylläpitämiseksi niin kauan, kunnes generaattori käynnistetään. (Hitachi Energy 2023.)

Akkupohjaisten energiavarastojen käyttö mahdollistaa fossiilisia polttoainetta käyttävien varavoimageneraattorien korvaamisen akkupohjaisella energiavarastolla (BESS), joka kykenee vastaamaan energiantarpeisiin hyvin nopeasti samalla vakauttaen tukemaansa sähköverkkoa. Tällä on saatavissa merkittäviä säästöjä järjestelmän hankinta- ja käyttökustannuksissa sekä päästöjen vähentämisessä. (Energy Storage Ireland 2021, 7.)

Modernit BESS-järjestelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen eri ryhmään sijoituspaikan perusteella. Ulos sijoitettaviin erikokoisiin säänkestäviin laitekaapistoihin, jotka pitävät sisällään pienempiä järjestelmiä, tai yhden tai useampia 10, 20 tai 40 jalan merikontteihin sijoitettuja kapasiteetiltaan suurempia laitteistoja. Toinen ryhmä koostuu laiteistoista, jotka ovat sijoitettu telineisiin sisätiloihin omaan erilliseen tilaansa ja laitteistot voivat vaihdella kooltaan. (TROES corp 2023; AEG Power Solutions 2023; Honeywell 2023.)

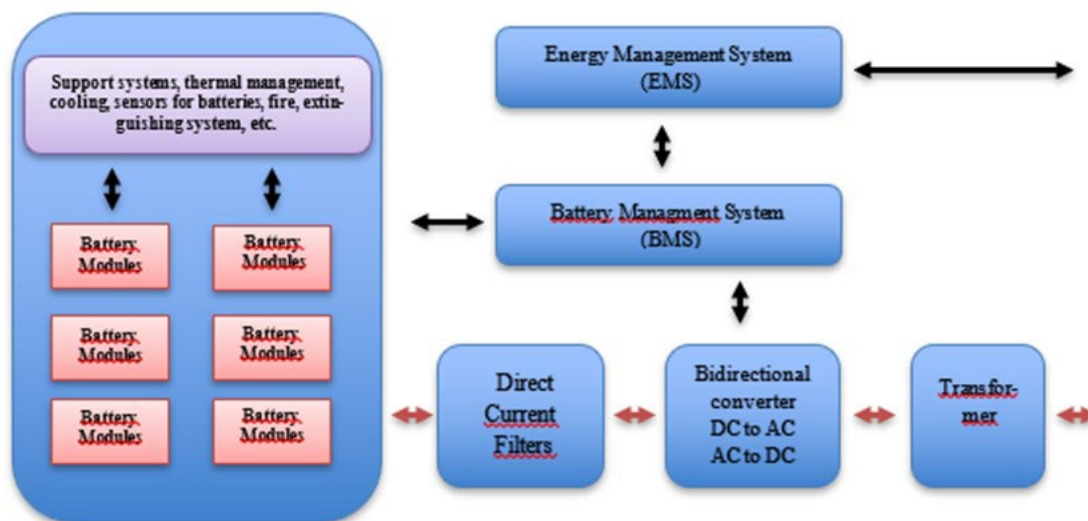
Moderni ulos asennettavaan merikonttiin (CBESS, Containerized Battery Energy System) sijoitettava litiumakkuteknologialla toteutettu moderni CBESS-järjestelmä on monimutkainen osajärjestelmistä muodostuva järjestelmä, joka sisältää seuraavat keskeiset komponentit:

1. Battery (Akku, akusto))
2. PCS, Power Conversion System (Tehomuunninjärjestelmä)
3. HVAC Heating Venting Air Conditioning (Lämmitys, jäähdytys ja ilmastointi)
4. Fire Suppression (Palontorjunta)
5. EMS, Energy management System (Energianhallintajärjestelmä)
6. BMS, Battery Management System (Akuston hallintajärjestelmä)
7. DC-Filter Circuits (DC-suodatinpiirit)

8. AC / DC switch gear (AC / DC kytkinlaite)

(ABB Inc. Power Electronics 2023; TROES corp. 2023; Honeywell 2023).

Kuviossa 1 on esitetty yksinkertaistettu kaaviokuva BESS-järjestelmästä. Kuviossa mustat nuolet kuvaavat dataliikennettä ja punaiset energian virtausta järjestelmän sisään (jolloin akustoa ladataan) tai ulos kun järjestelmä syöttää haluttua kuormaa. Järjestelmä sisältää kytkimiä, joilla aina yksittäiset akkumoduulit tai koko järjestelmä voidaan irrottaa tarvittaessa verkosta. CBESS-järjestelmät on yleensä rakenteellisesti organisoitu seuraavasti: Akkukennot sijaitsevat akkumoduuleissa (Rack), jotka on taas sijoitettu useita akkumoduuleita sisältäviin laitetelineisiin. Laitetelineet on sijoitettu vierekkäin järjestelmän sisällään pitävään ulossijoitettavaan konttiin. CBESS- järjestelmä voi koostua yhdestä tai useammasta akustoja sisältävästä merikontista. Tyypillisimmillään yksi kontti varastoi energiaa noin 1–5 MWh verran. (Energy Storage Ireland 2021, 9; ABB Inc- Power Electronics 2023, 2.)



Kuvio 1. Yksinkertaistettu kaaviokuva CBESS-järjestelmästä.

CBESS- järjestelmä voi sisältää myös valmistajakohtaisia seuranta-, ohjaus- ja kommunikaatiojärjestelmiä käyttäjärajapintoihin, valvonta- ja kontrollointijärjestelmiä akustoja varten, ja erillisiä jäähdyttimiä (neste) järjestelmässä käytettyjä komponentteja varten (akustot ja tehonmuunnin). (ABB Inc. Power Electronics 2023; TROES corp 2023; Honeywell 2023).

1.2 Litiumioniakustojen nopea kehitys

Energian varastointi ja siinä käytetyt eri akkuteknologiat ovat eurooppalaisen tutkimuksen keskipisteessä. BATTERY 2030+ on laaja eurooppalainen monialainen tutkimusaloite, jonka visiona on kehittää tehokkaita, pitkän käyttöiän omaavia akkuja, jotka ovat samalla edullisia ja turvallisia. Akkujen kehitykseen käytetään merkittävässä osin uusinta tekoälyä (AI, Artificial Intelligence) litiumakustojen kehitysprosessien nopeuttamiseksi. Nopeutuneet kehitysprosessit mahdollistavat edelleen uusien akkumateriaalien tutkimuksen, akkuprototyyppien kehityksen, teolliseen tuotantoon saattamisen ja käyttöönoton nopeuttamisen. (Battery 2030+ 2020, 6–7.)

Litiumioniakustojen läpimurto on ollut viime vuosina pitkälti jatkuvan tuotantomenetelmien, työkalujen, tuotannon tehokkuuden ja teknisen optimoinnin ansiota, ei niinkään huimaavien uusien teknisten läpimurtojen. Tarkasteltaessa litiumioniakustojen kehitysnopeutta, on odotettavissa, että nikkeli-koboltti-mangaani (NCM) -tyyppiset litiumioniakut saavuttavat nykyistä merkittävästi matalamman hintatason yhdistettynä korkeampaan energiatiheuteen ennen vuotta 2030. Kehitys mahdollistaisi pienten sähköautojen toimintasäteen kaksinkertaistamisen samalla kun ajoneuvon hinta kykenisi halpenemaan 25–50 %. Litiumioniakkujen käyttökohteissa akku muodostaa suurimman osan kustannuksista. (Tverte, Hill & Hildre 2023.)

Litiumioniakkuihin perustuvien energiavarastojen BESS-järjestelmien lisääntymiseen on vaikuttanut voimakkaasti litiumioniakkuteknologian kehitys. Tämä on edelleen mahdollistanut tehokkaiden sekä kooltaan ja painoltaan pienempien järjestelmien kehittämisen. Akkujen lataus- ja purkutehon nopea kehitys, C-nopeuden nousu on mahdollistanut suurien akustojen nopean lataamisen suurilla tehoilla, mikä on lisännyt entisestään litiumioniakkujen käyttötarkoituksia. (Korpela 2018, 16–19.)

Merkittävästä kehitysaskeleesta litiumioniakustoissa esimerkkinä voidaan mainita Texasin yliopistossa kehitetty litiumakun sisään tuleva lasimainen kova elektrolyytti (Solid state-akusto, SSB), joka estää akkua nopeasti purettaessa tai ladattaessa johtavien litiummetallisten mikrorakenteiden eli dentriittien muodostumisen akun positiiviselle navalle (anodi). Tämä vähentää merkittävästi litiumioniakkukennon oikosulku ja tulipaloriskiä. (University of Texas news, 2017.) Kiinteät elektrolyytit ovat energiatiheydeltään parempia, mahdollisten litiumioni akustojen nopeamman latauksen, suuremman energiatiheyden sekä akustoihin varastoidun energian pidemmän säilyvyyden. Pidemmän käytön mahdollistavat akut vähentävät akustojen vaihdon tarvetta ja valmistettavien akkujen määrää sekä laskevat akustojen hintoja kuluttajille. Uusi kiinteä elektrolyytti mahdollistaa akustojen toimimisen erittäin kylmässä lämpötilassa sekä paremman lämmönkeston. (Cohen 2021.)

NASA:n kehitystyön kohteena on puolijohdeakku, jossa käytetään kiinteää elektrolyyttiä. Akusta käytetään lyhennettä SABERS (Solid State Architecture Batteries for Enhanced Rechargeability and Safety). Koska akussa ei ole nestemäistä elektrolyyttiä, ei riskiä ylikuumentumisesta, tulipalosta tai kapasiteetin menetyksestä ajan kuluessa ole olemassa. Akku kykenee toimimaan, vaikka se olisi vaurioitunut. Uudessa akussa käytettävän akkukemian ja kiinteän elektrolyytin ansiosta akustolla on myös laajempi toimintalämpötila-alue. Uusi akkuteknologia kykenee toimimaan kaksi kertaa

korkeammissa lämpötiloissa kuin litiumteknologia ilman jäädytystä. (Gould & Fitzgerald 2022.)

Lasielektrolyttiin perustuvalla palamattomalla akulla on merkittäviä etuja. Uusi teknologia mahdollistaa keskeisimpien tunnettujen litiumioniakustojen ominaisuuksien parantamisen. Kehitetyn uuden teknologian käyttö mahdollistaa akkujen käytön ilma-aluksissa ja vesiliikenteessä. Kehitetty teknologia on yhä uutta, ja sen perustutkimus on edelleen käynnissä. Det Norske Veritasin (DNV) Energy Transition Outlook -katsaus kuitenkin ennustaa, että vuonna 2032 50 % kaikista uusista henkilöautojen akuista on toteutettu Solid State- teknologialla. (Tvete, Hill & Hildre 2023.)

Toisena akustojen yksittäisten komponenttien kehityksestä voidaan mainita esimerkkinä akun sisärakenteessa olevan keraamisen solid-state erottimen kehittäminen litiumakuston napojen välille. Keraaminen erotin korvaa perinteiset polymeerierottimet, jotka ovat hiilivetyjä, ja voivat tuhoutua ja palaa litiumakuston lämpökarkaamisprosessissa. Keraamisen erottimen ominaisuuksia ovat korkea johtavuus ja stabiilisuus, sekä hyvä kestävyys dentriittien muodostumista vastaan, mikä voi aiheuttaa akun sisäisen oikosulun. Keraaminen erotin mahdollistaa räätälöidyn katalyyttimateriaalin käytön akkukennon sisällä. Keraamisessa erottimessa käytetään runsaasti maaperästä löytyviä materiaalia ja erottimen valmistusprosessi mahdollistaa suurien määrien tuottamisen kustannustehokkaasti. (Holme 2021.)

Litiumioniakkuja pidetään yleensä homogeenisena ryhmänä, mikä on kuitenkin hyvin kaukana totuudesta. Litiumioniakustojen lukuisat akkukemialliset materiaaliyhdistelmät ja niiden alayhdistelmät tuottavat erilaisia suorituskyky-, hinta- ja turvallisuusominaisuuksia. Kemiallinen valinta liittyy usein haluun optimoida litiumioniakusto vastaamaan erilaisia tavoiteltuja suorituskyky- tai käyttökohde tavoitteita, mitkä johtavat erilaisiin

elektrodi- (tai elektrolyytti-) materiaalivaihtoehtoihin valittaessa soveltuvinta litiumioniakkuteknologiaa. (International Energy Agency 2020, 68.) Nykyisin suurissa energiavarastoissa suositaan litium-rauta-fosfaatti (LiFePO₄ tai LFP) -teknologiaa tai litium-nikkeli-mangaani-koboltti-oksidi (LiNiMnCoO₂ tai NMC) -akustoja, jotka ovat matalamman energiatiheyden omaavia, mutta vastaavasti pidempi-ikäisiä, turvallisempia ja kestävät enemmän lataussyklejä. (Energy Storage Ireland 2021, 6.)

Uuteen akkuteknologiaan liittyy myös haasteita. Kriittisten litiumioniakustoissa käytettävien mineraalien saatavuudessa on ollut suuria haasteita, lisääntyneestä tuotannosta huolimatta. Taustalla on nopeasti kasvava akustojen kysyntä, erityisesti sähköautomarkkinoilla. Ratkaisevaa on uusien akkuteknologioiden kehittäminen kriittisten materiaalien tarpeen vähentämiseksi, samalla kun käytöstä poistettujen akustojen kierrätystä voidaan edelleen kehittää kriittisten mineraalien uudelleen käytön mahdollistamiseksi. (International Energy Agency 2023, 55–56; Euroopan komissio 2023.)

Akkumineraalille on tyypillistä niiden hintojen suuri ja nopea vaihtelu: esimerkiksi koboltti on yksi kalleimmista akussa käytetystä mineraaleista, ja voi muodostaa akuston hinnasta jopa 25 %. Eri akkuvalmistaja etsivät ratkaisuja, joilla kalliiden tai hankalasti saatavilla olevien akkumineraalien käyttöä voidaan vähentää, tai korvata se toisella ja halvemmalla. (U. S. Department of Energy 2022.) On arvioitu, että vuosien 2015–2030 välisenä aikana litiumioniakkujen kysyntä edelleen jatkuu voimakkaana, ja nousee vuosittain jopa 32 %. Tämä voi tuoda ongelmia litiumioniakustojen saatavuuteen. (Breiter, Horetsky, Linder & Rettig 2022.) Uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin lisääntyminen, sekä sähköautojen lisääntyminen tulevaisuudessa voimakkaasti johtanee tarpeeseen etsiä uusia

akkuteknologioita, koska on oletettavaa, että kysynnän kasvun vuoksi litiumioniakkujen hinta tulee lähitulevaisuudessa nousemaan (Shepard 2022). EU:ssa Euroopan sisäiselle akkukennotuotannolle on nähty suuri tarve. Vuonna 2020 käynnistettiin Ruotsissa Skellefteassa Euroopan ensimmäinen suurikoinen akkutehdas, Northvolt Ett, joka on kuitenkin kärsinyt akkutuotannon ylösajon hitaudesta, ja valmiiden akkujen toimitusvaikeuksista. Osaltaan tilanteeseen on vaikuttanut sähköautojen heikompi myynti Euroopassa. (Murphy & Lagercrantz 2024; Niemi 2024.) Sähköautojen myyntimäärien laskun taustalla vaikuttavat vuonna 2024 hankintatukien vähentyminen, halpojen sähköautojen tarjonnan puute markkinoilta ja kuluttajien huoli latausverkon kattavuudesta (Ernst & Young Global Ltd 2024).

2. Turvallisuus moderneissa litiumioniakkuvarastoissa

2.1 Litiumioniakustojen turvallisuus

Jokaisella käytettävällä energianvarastointitekniikalla on omat erityiset vaaransa, jotka on tunnistettava. Litiumioniakkuteknologian käyttöön liittyy vaaratekijöitä, joiden tunnistaminen on ratkaisevaa turvallisen käytön kannalta. Litiumioniakkukennoihin liittyvät riskit koskevat niiden voimakkaita ja erittäin vaikeasti hallittavia tulipaloja. (Euroopan Komissio 2022, 20.)

Litiumioniakkujen teknologia kehittyi edelleen nopeasti, ja nykyisin käytettävien litiumioniakustojen elinkaarikäyttäytymistä ei täysin vielä tunneta (Colthorpe 2022). Litiumioniakustojen suurimpana riskitekijänä on ongelmatilanteissa tapahtuvat akkukennojen lämpökarkaamiset.

Lämpökarkaamisen syntymekanismit voidaan jakaa kolmeen eri mekanismiin: mekaanisiin, sähköisiin ja lämmön vaikutuksesta tapahtuviin.

Lämpökarkaamisprosessin käynnistävä mekaaninen syy voi olla esimerkiksi akkukennon mekaaninen vaurio iskun, läpäisyn, vääntymisen tai värinän ansiosta, tai sisäinen valmistusprosessin aikana tapahtunut kennovika. Sähköisestä syystä tapahtuva lämpökarkausprosessi voidaan käsittää tapahtuneen ylilatauksen tai liian nopean energiavirran purkamisen myötä, joka voi johtaa sisäisen oikosulun syntymiseen ajan myötä. Myös ulkoinen oikosulku voi aikaansaada akkukennon lämpökarkaamisen. Akkukennossa voi tapahtua lämpökarkaaminen myös siihen ulkopuolelta vaikuttavan lämmön myötä. Lämpökarkaaminen on mahdollista myös ladatessa tai purettaessa akkua liian korkeassa tai matalassa lämpötilassa. (Energy Storage Ireland 2021, 11; Tran ym. 2022, 1–3.)

Lämpökarkaamisprosessissa (thermal run away) litiumioniakkukkenno menee sisäiseen oikosulkuun lämpötilan noustessa akkukennon sisällä nopeasti lämpökarkaamisprosessin myötä. Ylikuumentunut akkukkenno syttyy hetken päästä palaamaan kaasujen syttyttyä. Ylikuumentunut ja palava akkukkenno lämmittää vieressä olevat akkukennostot, mikä johtaa hyvin nopeasti laajenevaan ja voimakkaaseen akkupaloon. Paloa seuraa usein voimakas räjähdys akkukkennojen vuotaman kaasun sekoittuessa ilman kanssa ja edelleen räjähtäessä. (Fordham, Allison & Melville 2021, 11–13.) Litiumioniakkukennon lämpökarkaamisprosessi on peruuttamaton ja hallitsematon ja johtaa akkukennon täydelliseen tuhoutumiseen (Tran ym. 2022, 2).

Litiumioniakustojen tulipalot ovat hyvin hankalasti kontrolloitavissa prosessin nopeuden ja aggressiivisuuden vuoksi. Käynnistynyttä prosessia voidaan

rajoittaa ainoastaan hyvin voimakkaalla ja nopealla lämpökaranneiden akkukennojen jäähdyttämällä vedellä. Akkupalon yhteydessä syntyy hyvin voimakkaasti myrkyllisiä kaasuja kuten fluorivetyä (HF) sekä erittäin syttyviä kaasuja kuten vetyä (H₂), metaania (CH₄), etyleeniä (C₂H₄) ja häkää (CO). Vapautuvat kaasut voivat edelleen aiheuttaa räjähdyksiä tai tulipaloja, mikäli ne sekoittuvat edelleen ulkopuolelta tulevan hapen kanssa esimerkiksi avatessa ovia tai tuulettaessa akkumoduuleita sisältävää tilaa. Samanaikaisesti kaasulle täytyy olla tarjolla syttymisen lähde, joka voi olla esimerkiksi vieressä oleva toinen lämpökarannut litiumioni akkukenno. Litiumioniakkukennon palaessa vapautuva energia määrä voi olla 20 kertaa varatun sähkökemiallisen energian määrä. (Fordham ym. 2021, 14.)

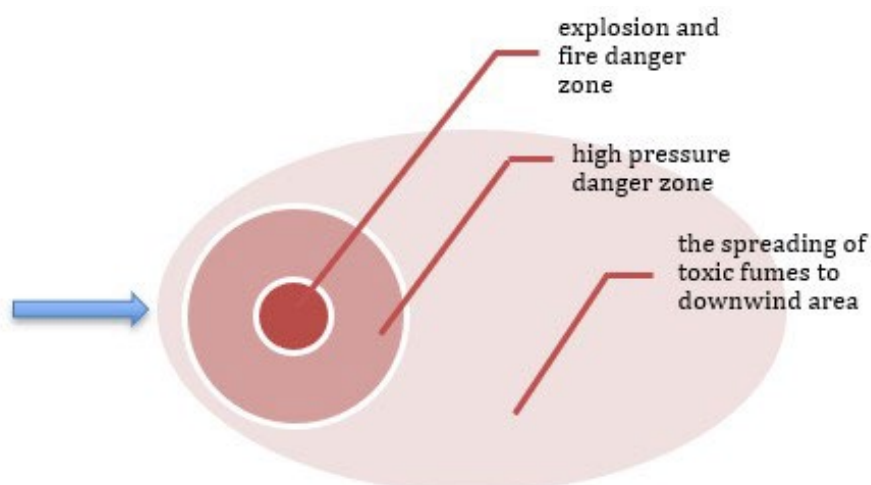
Vuonna 2020 tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin vettä käyttävän sprinklerijärjestelmän tehokkuutta litiumakustojen palonhallinnassa. Tutkimuksessa selvisi, että lämpökarkaamisen ja sen leviämisen estämiseen litiumioniakustossa tarvitaan suuri määrä vettä. Veden käyttö litiumioniakustojen sammuttamisessa lisää hään (CO), vedyn (H₂) ja erittäin myrkyllisen fluorivedyn (HF) muodostusta. Sprinklerijärjestelmän todettiin myös olevan kykenemätön jäähdyttämään akkumoduulien yksittäisiä kennoja, jolloin on suuri riski akuston uudelleen syttymisestä palamaan, kun sammutusjärjestelmä kytketään pois toiminnasta. Vesipohjaisen sammutusjärjestelmän käyttöä litiumioniakustoja sisältävässä energiavarastossa ei ole kattavasti tutkittu. Selvitystä vaativat ongelmakohdat liittyvät veden aiheuttamaan mahdolliseen järjestelmän oikosulkuun, joka voi aiheuttaa lisävahinkoa järjestelmälle. (Roshan 2021, 3–4.) On huomattavaa, että litiumioniakkuvarastojen palon sammuttamisesta on vielä saatavilla hyvin vähän luotettavaa tietoa (Ghiji ym. 2020, 19).

Litiumionipohjaisen akkuvaraston palonhallinta voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla. Haasteita aiheuttavat järjestelmien akkukennojen kokoonpanot, jotka

ovat yleensä tiivisti pakattuina koteloihin, jossa on mahdollisimman vähän liikkumavaraa tai vapaata tilaa, jonne palonhallinta-aine kykenisi pääsemään. Tällä hetkellä lupaavimpana palonhallintajärjestelmänä suurikokoisille litiumioniakkupohjaisille energiavarastoille (BESS) pidetään vesisprinklerijärjestelmää, jota käytetään yhdessä ympäristöystävällisten lisäaineiden tai inertin kaasuvirran kuten esimerkiksi typen kanssa. Akkupohjaisia energiavarastoja suunniteltaessa on keskeistä kiinnittää enemmän huomiota sammutusjärjestelmän tarkkaan suunnitteluun ja toteutukseen. (Ghiji ym. 2020, 19.) Litium-ioni akuston palossa vapautuvan voimakkaan lämmön lisäksi on syytä huomata myös ympäristö- ja terveyshaitat, kuten palaessa vapautuvat myrkylliset kaasut, roiskeet tai akustopalon sammuttamisessa käytetyn saastuneen veden valumisen ympäristövaikutukset (Euroopan komissio 2022, 20).

Tällä hetkellä markkinoilla on saatavilla useita eri sammutusjärjestelmävaihtoehtoja, kuten esimerkiksi erilaisia vedellä toimivia sprinkleri-, vesisumu- tai manuaalisia vesisuihkutusjärjestelmiä. Tarjolla on myös aerosoliin ja kaasumaiseen sammutusaineeseen perustuvia sammutusjärjestelmiä. Huomattavaa on, että veteen perustuvat sammutusjärjestelmät voivat aiheuttaa vähemmän riskejä, kun aerosolia tai kaasupohjaiset, tukahduttamiseen perustuvat järjestelmät, jotka vaativat tilan tuulettamisen palonhallintajärjestelmän käytön aikana, jotta palavat kaasut voidaan johtaa syttymisen ehkäisemiseksi tilasta ulos. Suurimmassa osassa markkinoille tarkoitetuissa litiumionipohjaisissa akkuvarastoissa on tulipalon tai palavien kaasujen anturitekniikalla toteutettu varoitusjärjestelmä. (Alliant 2022)

Suuret energian varastointijärjestelmät luovat potentiaalisesti suuren mittakaavan riskin räjähdyksistä tai tulipaloista, joihin hallinnasta ja vaatimista resursseista pelastuslaitoksilla ei ole vielä kokemusta (Fordham, Allison & Melville 2021, 2). Palotilanteen hallinta edellyttää riskien ennakkokartoitusta sekä niihin varautumista pelastusviranomaisten taholta. Vaaratilanteen ennakointiin ei riitä pelkästään akkuvarastojen tarkastelu, vaan tarvitaan laajempi vaara-alueen huomiointi palotilanteen hallinnan onnistumiseksi. Kuviossa 2 on kuvattu suuren, konttiin sijoitetun ja lämpökaranneen litiumioniakustoja sisältävän BESS-järjestelmän eri vaara-alueet ympäristölle.



Kuvio 2. Palavan litiumioniakustoja sisältävän BESS-järjestelmän vaara-alueet tuulen vaikutuksen alla. (Electrochemical Safety Research Institute 2021.)

Akustopalossa erittäin myrkyllisen kaasunmuodostuksen takia pelastuslaitokselle tulisi olla akustotilojen sammutusta varten kaksi eri lähestymistietä, jotta lähestyminen olisi mahdollista tuulen yläpuolelta. Akustotiloja ei tulisi sijoittaa ulkonakaan lähelle rakennuksen sisäänkäyntejä,

ulostulokäytäviä, varateitä, poistumisreittejä, pääkulkureittejä, ajoteitä ja portteja. Litiumioniakkuvarastoa sijoitettaessa tulisi paikkaa valitessa huomioida turvallisuus ja mahdollisen litiumioniakuston ongelmatilanteen vaatimat toimet. Sammutusturvallisuuden kannalta tulee huomata, että akustoja sisältävän energiavaraston akuston navoissa voi olla korkeajännite, joka myös säilyy niissä hyvin pitkään. (Pelastustoimi 2023, 40.)

Sähkövarastojen suunnittelun lähtökohtana tulee olla järjestelmien turvallisuus. Suunnittelua ohjaa järjestelmälle valittu tekninen toteutustapa, akuston koko ja sijainti. Koska sähkövarastoihin liittyvä tekniikka kehittyy jatkuvasti, ja näkemykset soveltuvimmasta turvallisuusjärjestelystä ovat vasta muotoutumassa, nousee paikallisten määräyksien noudattaminen sekä toimiva yhteistyö paikallisviranomaisten kanssa merkittäväksi suunniteltaessa kokonaisuutena turvallista ja poikkeustilanteessa hallittavaa sähkövarastoa. (Gaia Consulting Oy 2019, 67.)

On tärkeää huomata, että riskit tulipaloista liittyvät pääasiassa BESS-järjestelmissä käytettyyn vanhempaan litiumioniakkuteknologiaan (Marsh Commercial 2022). Nykyisin akkukomponenttien valmistajat ovat alkaneet tehdä valmistamilleen järjestelmille paloturvallisuustestauksen uusimman UL9540A standardin mukaan. Standardi käsittelee akuston lämpökarkaamisprosessin vuoksi alkaneen palon leviämisen rajoittamista akkukennosta toiseen. On tärkeää kuitenkin ymmärtää, että litiumioniakkuteknologia on vielä niin uutta, ettei sen käyttäytymistä koko elinkaaren aikana voida vielä luotettavasti arvioida (Colthorpe 2022).

Tarkasteltaessa litiumioniakkuvaraston rakentamista ulos, tulee järjestelmä sijoittaa tukevalle maaperälle, irti maaperästä ja tukevan perustuksen päälle. Akkuvarastoja sisältävällä alueella tulee olla pintavesien hallintajärjestelmä, joka kykenee käsittelemään sulamis-, valuma-, sade- ja sammutusvesien

siirtämisen pois akkuvaraston alueelta. Alue tulee olla erotettu verkkoaidalla, ja järjestetty siten, että huolto- ja pelastusajoneuvoilla on vapaa pääsy akkuvarastoja sijaitsevan alueen kaikkiin osiin. Mikäli alueelle ei kyetä järjestämään vesipistettä järjestelmien palonhallinnan ja palokunnan käytettäväksi, tulee harkita järjestelmän sisäistä palonhallintajärjestelmää. Ulos sijoitettavan akkupohjaisen energiavarastoalueen rakentamista ohjaavat pelastuslaitoksen ja rakennusvalvonnan vaatimukset. (Hanna, Lamek & Manning 2021; Westwood 2021.)

Tarkasteltaessa vaaramekanismien minimointia ja riskienhallintaa, akkupohjaisessa energiavarastossa nousee keskeiseksi järjestelmän suunnittelu ja hankinta luotettavalta toimijalta, joka ottaa huomioon kohteen erityisvaatimukset. Teknisistä ratkaisuista keskeisimpiä ovat käyttötarkoituksen soveltuva akustokemia, akuston ohjausjärjestelmät, järjestelmän poikkeamatilanteista laukeavat hälytysjärjestelmät, akuston optimaalisen toimintalämpötilan turvaavat järjestelmät esimerkiksi akuston vesikiertoinen jäähdytys, ja tarvittavat ilmastointijärjestelmät.

Energiavaraston sijoittamisessa tulee huomioida suojaetäisyydet ja paloturvallisuusmääräykset. Tärkeää on jo suunnitteluvaiheessa pelastuslaitoksen kanssa tehty yhteistyö, jolloin asianmukaiset turvallisuus- ja pelastussuunnitelmat ja toimintaohjeet on laadittu ja ovat myös pelastuslaitoksen tarkastamat. Poikkeamatilanteiden hallinta tulee olla suunniteltu siten, että järjestelmän ympärillä oleva henkilöstön ja poikkeustilanteissa pelastushenkilöstön turvallisuus on otettu huomioon. (Gaia Consulting Oy 2019 62, 64–65.)

Mikäli energiavarastossa käytetään akustoja, jotka toimiessaan luovuttavat ilmaan syttymisherkkiä kaasuja, voivat akustotilaan vaikuttaa ATEX-direktiivit. Räjähdyksivaarallisten tilojen tunnistamista ja sähkölaitteiden tarkastuksia

ohjaavat kaksi Euroopan yhteisön direktiiviä; laitedirektiivi 2014/34/EU sekä olosuhdedirektiivi 1999/92/EU, joista käytetään yhteisnimitystä ATEX-direktiivi. Suomessa räjähdysvaarallisten tilojen ja ATEX-direktiivin noudattamista valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2024b.) Tukes on luonut käytännönläheisen oppaan *ATEX Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus*. Opas auttaa tunnistamaan räjähdysvaaralliset tilat työpaikoilla, ja luo ohjeistuksen tiloissa käytettävien laitteiden valintaan, räjähdysvaarallisissa tiloissa tapahtuvaan toimintaan, sekä kaavion vastuun jakoon. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2015.)

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes sekä sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK ovat tuottaneet Suomessa litiumioniakustojen turvallisuuteen liittyvää ohjeistusta. Gaia Consulting Oy:n laatimassa selvityksessä litiumioniakkujen vaaroista sekä kotitalous- ja teollisuuskäyttöön laaditussa oppaassa käsitellään laajalti moderneihin litiumioniakustoihin liittyviä turvallisuus- ja riskitekijöitä sekä voimassa olevaa valvontaa akustoille. (Gaia Consulting Oy 2019.)

Ympäristönsuojelulaki (527/2014) velvoittaa hakemaan ympäristöluvan kaikelle toiminnalle, josta voi olla riskinä ympäristön pilaantumisvaara. Ympäristöluvan hakeminen voi olla tarpeen rakennettaessa litiumioniakkuteknologialla toteutettuja energiavarastoja. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014.) Ulossijoitetulle ja konttiin rakennetulle energiavarastolle (CBESS) tulee olla pintavesienhallintajärjestelmä sekä pelastustoiminnan huomioiva suoja-aita (Hanna, Lamek & Manning 2021; Westwood 2021). Varavoimalaitosten suunnitteluprosessista, palohallintajärjestelmistä ja järjestelmien turvallisesta sijoittamisesta on löydettävissä tietoa mm. ST-Käsikirjasta: 31 Varavoimalaitokset.

2.2 Kyber- ja fyysinen turvallisuus BESS-järjestelmissä

Energiasektori kuuluu kriittiseen infrastruktuuriin ja sen suojaamisen parantaminen maailmanlaajuisesti on erittäin tärkeää. Suojaaminen perustuu tehokkaisiin kyberturvallisuusmääräyksiin ja niiden käyttöönottoon voimalaitosten ja sähkön toimitusketjun kaikissa vaiheissa. Mikä tahansa kyberturvallisuuden rikkominen, joka johtaa energiansaannin katkeamiseen, voi maksaa yhteisölle ja yritykselle kalliisti, ja aiheuttaa merkittävää haittaa yhteiskunnalle. (GlobalData 2022.)

Sähköverkko sen eri komponentteineen on haavoittuvainen sähköverkon ohjausjärjestelmien kautta. Sähköverkkoon kohdistuneet hyökkäykset voidaan jakaa fyysisiin hyökkäyksiin sekä verkon kautta tapahtumiin hyökkäyksiin. Verkon kautta jo tapahtuneissa aikaisemmissa hyökkäyksissä pyritään kartoittamaan verkon haavoittuvuuksia tai suoraan vaikuttamaan sähköverkon ohjausjärjestelmiin, jolloin osa verkosta lakkaa toimimasta. Samalla hyökkäyksen kohde pyritään salaamaan, jotta vian löytyminen kestäisi mahdollisimman kauan.

Kyberturvallisuus määritellään sähköisten tieto- ja viestintäjärjestelmien ja niiden sisältämien tietojen vahingoittamisen, hyödyntämisen ja luvattoman käytön estämisenä, sekä toimina, jotka takaavat järjestelmien luottamuksellisuuden, eheyden ja käytettävyyden. Tarkasteltaessa järjestelmiä, jotka käyttävät sähköisiä viestintäjärjestelmiä, kuten esimerkiksi akkupohjaisia energiavarastoja (BESS), kyberturvallisuuden lisäksi järjestelmiä koskee myös fyysinen turvallisuus. Käsitteellä tarkoitetaan niiden fyysisten suojoimenpiteiden ja turvamenettelyjen yhdistelmää, jota käytetään suojelemaan omaisuutta, operaatioita, laitteita, materiaalia, tiloja, sekä henkilöitä, joilla on hallussaan kriittistä tietoa. Molemmissa tapauksissa

keskeinen uhka tulee ulkopuolisesta toimijasta ja hänen halustaan vaikuttaa kohteeseen. (Johnson, Hoaglund, Trevizan & Nguyen 2021, 2–3.)

BESS-järjestelmän haavoittuvuus liittyy järjestelmien ohjaamiseen ja monitorointiin internetin kautta. Monimutkaisen tietoverkkoon kytketyn valvontaelektroniikan akuston tiukkojen latausparametrien haavoittuvuutta BESS-järjestelmiin liittyvinä riskeinä ei juurikaan käydä läpi nykyisessä kirjallisuudessa. Järjestelmän suojaamisen kannalta on olennaista, että energiavarastojen ja generaattorien suojaaminen haittaohjelmilta sekä ulkopuolisten pääsyn estäminen suojatun alueen sisäpuolelle tai kontrollijärjestelmän hallintaan voidaan estää. Järjestelmään tunkeutumaan päässyt haittaohjelma kykenee luomaan tapahtumasarjan, joka voi saattaa järjestelmän käyttökelvottomaksi ja sisältää järjestelmälaitteiden pysyvän vaurioitumisen riskin.

Yksi kyberhyökkäyksien muodoista on väärin tietojen injektoiminen järjestelmän valvontadataan ja näin johtaa järjestelmää valvovia operaattoreita harhaan, jotta he ryhtyvät toimiin, jotka voivat johtaa edelleen järjestelmän toimintahäiriöihin. (Trevizan ym. 2022 59677–59678.) Jotta järjestelmiä kyetään suojaamaan ulkoisia uhkia vastaan, verkkoon kytkettyihin tai saarekekäytössä toimiviin energiavarastoihin tarvitaan kyberpuolustusstrategia. Nykyisin käytössä oleva koneoppiminen ja tekoäly mahdollistavat huippuluokan hyökkäys-, havaitsemis- ja torjuntajärjestelmien luomisen ja näin järjestelmien entistä paremman suojaamisen. (Kharmalova, Hashemi & Træholt 2021,1,8.)

Akkupohjaisten energiavarastojen (BESS) järjestelmän komponenttien turvallisuusriskien minimoinnissa on keskeistä huomata, että akkupohjaiset energiavarastot pitävät sisällään satoja maailmanlaajuisesti eri toimittajien

suunnittelema ja rakentama komponentteja. Tämä altistaa järjestelmän uusille kyberturvallisuusriskeille, koska yksittäisiin komponentteihin voidaan vaikuttaa etäältä, ja näin muuttaa laitteiston toimintaa eri takaporttien, tai laitteistossa olevien kommunikaatioporttien kautta. Riski nostaa toimitusketjun riskienhallintasuunnitelman ja menetelmät keskeiseen osaan akkupohjaisten energiavarastojen toimittajien osalta.

Kehittyneissä akkupohjaisissa energiavarastoissa on työkalut monitoroida ja analysoida kaikkea dataa, joka liikkuu järjestelmässä, jolloin poikkeamat voidaan havaita ja välttää vahingot. (Johnson ym. 2021 19, 23.) Järjestelmien edelleen kehittäminen helpottune tulevaisuudessa, kun sähköverkkoihin kohdistuvia kyberhyökkäyksiä pystytään tunnistamaan ja torjumaan paremmin neuroverkkopohjaisilla havaitsemisalgoritmeilla. Toiminta perustuu poikkeamien löytämiseen ja tunnistamiseen dataliikenteessä. (Gaggero ym. 2022, 12.) On tärkeää ymmärtää, että BESS- järjestelmiin kohdistuva kyberuhka voi kohdistua mihin tahansa järjestelmässä olevaan komponenttiin. Järjestelmän kaikki osat ovat alttiina eheyshyökkäyksille. Suunnitteluvaiheessa järjestelmäkerrosten fyysisen suojauksen lisääminen ja ohjelmistoon rakennetut suojausmekanismit voivat vähentää riskejä hyökkäyksen mahdollisuudesta. (Kharmalova ym. 2021, 5,8.)

Tarkasteltaessa merikonttiin ulos sijoitettujen akkupohjaisten energiajärjestelmien (BESS) fyysisen turvallisuuden lisäämistä fyysisiä riskejä vastaan, keskeisenä ajatuksena on luoda järjestelmän ympärille kehä, jossa alueelle luvattomasti tuleva henkilö voidaan tunnistaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Esimerkkinä järjestelmän fyysisessä turvaamisessa voidaan nostaa esiin esimerkiksi BESS- järjestelmän sijoittamisen betonialustalle ja kaikkien järjestelmään tulevien ja sieltä lähtevien kaapelien suojaamisen vandalismin kestäväällä kaapeli kouruilla, tai maakaapeloinnin käyttämisellä. BESS-järjestelmät tulisi sijoittaa suljetun verkkoaidan

sisäpuolelle, jonne on rajoitettu kulku. Järjestelmiä olisi hyvä valvoa moderneilla videokameroilla, jotka kykenevät tunnistamaan ihmishahmon sekä verkkoaitaan asennetulla sensorilla, joka tunnistaa esimerkiksi verkkoaidan yli kiipeämisen.

Akkupohjaisia energiavarastoja sisältävä alue olisi hyvä valaista vähän energiaa käyttävillä LED-valaisimilla. Fyysisen akkuvaraston sisällä olisi hyvä olla kameravalvonta mahdollisen tunkeutujan tunnistamiseksi. Huomattavaa on, että liian suurta painoarvoa ei tule antaa fyysiselle lukitukselle, koska se on tänä päivänä hyvin helposti ohitettavissa osaavalla toimijalla. Järjestelmän suojaamisessa tulisikin painottua etupainotteisesti mahdollisen häiriötapahtuman vahinkojen lieventämiseen, ja joustavaan tapaan turvata toimintaa häiriötilanteissa, jotta toimintahäiriöstä aiheutuva lisävahinkojen tapahtumaketju voidaan mahdollisimman nopeasti katkaista. Järjestelmien sisäinen ja ulkoinen palontorjunta ovat myös keskeisiä osia häiriötilanteessa tapahtumien vahinkojen lieventämiseksi. (Johnson ym. 2021, 5–10.)

2.3 Litiumioniakkukennojen kierrätys

Maailmanlaajuisen kysynnän hyvin nopea kasvu litiumionipohjaisille akkukennoille aiheuttaa haasteita akkumineraalien ja akkukennojen saatavuudessa. On arvioitu, että vuosien 2015–2030 välisenä aikana litiumioniakkujen kysyntä edelleen jatkuu voimakkaana ja nousee vuosittain jopa 32 %. Tämä voi tuoda ongelmia litiumioniakustojen saatavuuteen. (Breiter, Horetsky, Linder & Rettig 2022.) Litiumioniakustojen käytön kasvua on lisännyt litiumioniakustojen hintojen lasku. Trendin uskotaan muuttuvan, koska sähköautojen nopea lisääntyminen maailmanlaajuisesti on johtanut tarpeeseen etsiä uusia akkuteknologioita, koska kysynnän kasvusta johtuva litiumioniakkujen hinnan nousu on alkanut. (Shepard 2022.)

Käytettyjen litiumioniakkujen kierrätyksessä akkumateriaalien talteenotto perustuu pääosin hydrometallurgisiin tai pyrometallurgisiin prosesseihin tai niiden yhdistelmään. Pyrometallurgisessa prosessissa akkumateriaalit esikäsitellään, murskataan ja kuumennetaan joko tyhjiössä tai inertin kaasun läsnä ollessa, jolloin akustoissa käytettävät metallioksidit muuttuvat metalliksi tai metalliyhdisteiksi. Syntyneet metalliyhdisteet jatko käsitellään eri metallien erottamiseksi edelleen. Prosessissa vapautuu akkumateriaalien kuumennuksessa vaarallisia kaasuja ja sulatusprosessin sivutuotteena tulevaa mineraalirikasta kuonaa. Hydrometallurgisessa prosessissa akustoissa olevat metallit otetaan talteen erilaisilla liuoksilla ja hapoilla. Metallit on uutettu liuoksiin. Ne saostetaan selektiivisesti pH-vaihteluprosessilla tai uutetaan käyttämällä erilaisia orgaanisia liuottimia.

Suurimmat kustannukset akustojen kierrätyksessä tulee kennojen purkamisesta ja kuljetuskustannuksista. Akustojen kierrätys paikallisesti tulee olemaan jatkossa trendi myös Euroopassa, koska Kiina ei enää hyväksy kierrätettäviä akustoja toisista maista. (Baum, Bird, Yu & Ma 2022, 713–715.) Akustojen kierrätysprosessia nopeutetaan ja helpotetaan luomalla ja ottamalla käyttöön jo akustojen suunnitteluvaiheessa uusia teknologia ratkaisuita, jotka helpottavat ja nopeuttavat kierrätysprosesseja. Akustojen kierrätysprosessissa on tällöin mahdollista välttää polttoprosessia, jossa vapautuu vaarallisia kaasuja. Tämä tekee kierrätysprosessista ympäristöystävällisemmän. (Ohnsman 2023.)

Tarkasteltaessa litiumioni akustojen kierrätystä pohjoismaisesti esimerkkinä voidaan ottaa Norjan Fredrikstadin kierrätyslaitos, joka aloitti toimintansa 2022. Laitos kykenee käsittelemään enemmän kuin 12 000 tonnia akustoja vuodessa, ja laitoksen tarkoituksena on lisätä kapasiteettia 70 000 tonniin vuoteen 2025 mennessä ja 300 000 tonniin vuoteen 2030 mennessä. Kierrätys perustuu murskaamiseen, jossa eri metallit kytetään ottamaan edelleen

talteen. Hyötysuhde materiaalin takaisinotto-prosessissa on 95 %. Laitos kykenee käsittelemään akustoja laivaliikenteestä, ajoneuvoista ja verkkoon kytketystä energiavarastoista. Laitos ottaa vastaan akkuja Ruotsista ja muualta Euroopasta. (Hydrovolt 2022.)

Akkujen kierrätysteollisuus on kehittynyt merkittävästi Euroopan unionin akkudirektiivin käyttöönoton jälkeen (Direktiivi 2006/66/EC, nykyinen versio 269), joka toi käyttöön laajennetun tuottajavastuun. Direktiivi velvoittaa akkujen valmistajat tai kolmannen osapuolen järjestämään ja kustantamaan käytettyjen akkujen ja paristojen keräämisen, käsittelyyn ja kierrättämisen. Laajennettu tuottajavastuun idea on lisätä mukaan akkujen tuotantoon ympäristölle aiheutuvat kulut, jota tuotteesta aiheutuu sen elinkaaren aikana. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/66/EY 6.9.2006.)

Vuonna 2024 käyttöön otettava EU-asetus akuista, paristoista ja jäteakuista 2023/1543 tulee korvaamaan 18.8.2025 aikeisemmän akku- ja paristodirektiivin 2006/66/EY (Euroopan komissio 2023 c). Taustalla vaikuttaa Euroopan unionin uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma (Euroopan komissio 2020b) ja vihreän siirtymän suunnitelma 2019–2024 (Green Deal), joiden tavoitteena on leikata merkittävästi päästöjä vuoteen 2030 mennessä (Euroopan komissio 2023.) EU:n akkuasetus on suoraan sovellettavaa lainsäädäntöä. Suomessa Tukes on yksi akkuasetuksen markkinavalvontaviranomaisista. Tukesin valvottavien asetusten kohdan tarkentuvat vuoden 2024 aikana. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2024a.)

3. BESS-järjestelmän suunnittelu

3.1 BESS-järjestelmän suunnittelun näkökohtia

BESS-järjestelmissä käytettävän litiumioniakustokemian oikea valinta on ratkaisevaa suurissa energiavarastoissa. Käyttökohteissa, joissa suuria litiumioniakustoja käytetään, akusto muodostaa usein suurimman yksittäisen osan kustannuksista. (Tvete, Hill & Hildre 2023.) Esimerkiksi 20MWh:n järjestelmässä akusto muodostaa noin 35 % järjestelmän hinnasta (Alaperä, Honkapuro, Tikka & Paananen 2019, 5063). BESS-järjestelmän akuston käyttöikä on voimakkaasti riippuvainen purkaus- ja latausjaksojen määrästä. Mikäli järjestelmää käytetään esimerkiksi sähköverkon taajuuden säätelyssä samalla kun akustoa puretaan syvästi, voivat akut kestää vain 3–4 vuotta. Mikäli akustoa käytetään vähän kuormittavassa käytössä, esimerkiksi varavoiman käynnistysakustoina tai kytkettynä aurinkosähköjärjestelmään, akustot voivat kestää jopa 15–20 vuotta. (Euroopan komissio 2022, 17–18.)

Sairaaloiden akkupohjaisten energiavarastojen eri käyttötapoja tarkastelevassa tutkimuksessa ilmeni, että puhtaasti rahallisesti tarkasteltuna BESS-järjestelmä ei ole taloudellisesti kannattava sijoitus nykyisin, jos sitä käytetään pelkästään energia-arbitraasiin. Monessa tapauksessa takaisinmaksuaika on pidempi kuin järjestelmän odotettu elinikä. Osallistuminen sähköverkon oheispalvelumarkkinoille - esimerkiksi häiriöreserviin - mahdollistaa BESS-järjestelmän tuottojen karttumisen. Tuottojen kasvua rajoittaa verkonhaltijan sallima suurin sallittu teho osallistua oheispalvelumarkkinoille, ja tästä saatava korvaus sekä energiavaraston investointiin käytetty pääoma. Jos BESS-järjestelmään liitetään aurinkosähkö, siitä saatava hyöty on pienempi kuin verkon oheispalvelumarkkinoille osallistumisesta saatava hyöty. Tähän vaikuttaa erityisesti

alkupääomakustannukset ja järjestelmän pitkä takaisinmaksuaika. Mikäli CO₂-hyvitysjärjestelmät tulevat käyttöön, ne voivat muuttaa nopeasti tilannetta. (Mustafa ym. 2021, 10–11.)

Modernin akustoon perustuvan energiavaraston (BESS) suunnittelu ja tarkka taloudellinen analyysi tapahtuu ohjelmistollisesti valmistajien toimesta käyttäen järjestelmäsuunnitteluohjelmistoa, sekä simuloiden ohjelmistollisesti suunniteltua järjestelmää. Suunnitteluprosessi alkaa järjestelmälle asetetuista vaatimuksista, sekä asiakkaan järjestelmän toimittajalle toimittamista kohteen sähkönkäyttöön liittyvistä tiedoista. BESS-järjestelmän luotettavan taloudellisen arvioinnin tekeminen edellyttää tuoreimpia mahdollisia kustannustietoja energian hinnasta ja järjestelmän vaatimasta pääomasijoituksesta, ja mikäli järjestelmään liitetään aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmän hinnasta ja tuotto-odotuksesta. (World Bank Group 2020, 24.)

BESS-järjestelmän suunnittelussa olennaista on optimaalisen käyttöprofiilin valinta. Valittu käyttötarkoitus ohjaa edelleen kannattavuuden arvioon simulaation kautta, joka taas puolestaan ohjaa soveltuvimpien komponenttien valintaa, jonka järjestelmän toimittaja tekee. Eräs BESS-järjestelmän tärkeimmistä suunnittelun lähtökohta on järjestelmän oikea mitoitus. Liian pieneksi mitoitettu BESS-järjestelmä voi johtaa järjestelmässä olevan akuston liian nopeaan ikääntymiseen, ja sen vaihtokustannuksiin. Liian suureksi mitoitettu järjestelmä puolestaan ei välttämättä saavuta optimaalista kustannushyötysuhdetta. Litiumioniakustot vanhenevat joka tapauksessa ajan vaikutuksesta peruuttamattomasti. Ajallisen vanhenemisen myötä akun kapasiteetti laskee, vaikka akustoa ei käytettäisi. Tätä kutsutaan kalenteriin pohjautuvaksi ikääntymiseksi.

Litiumioniakut menettävät suorituskykyään myös käytön kautta, eli kuinka monta käyttösykliä akustoa on purettu ja ladattu. Tätä kutsutaan sykliseksi ikääntymiseksi. Kun litiumakuston kapasiteetti on alentunut nimelliskapasiteetista 80 %:iin, tämä on yleensä raja, jossa akusto on vaihdettava. Akustojen kapasiteetin lasku ikääntymisen kautta on merkittävä kustannustekijä, joka on otettava huomioon, kun BESS-järjestelmää suunnitellaan ja optimoidaan tietokonesimulaatioiden kautta. (Martins, Hesse, Jungbauer, Vorbuchner & Musilek 2018, 2, 6, 17–18.) Yksi tapa lisätä akuston käyttöikä on BESS-järjestelmän lataaminen verkosta yöaikana. Tämä mahdollistaa pidemmän latausjakson pienemmällä latausteholla. Tällä vältetään akuston ikääntymisen nopeutuminen. (Mustafa ym. 2021, 5.)

Tarkasteltaessa litiumioniakustoon perustuvan energiavaraston akuston suunnitteluprosessia, joka ottaa huomioon akustojen ikääntymisen ja ohjaa akustotyyppin valintaan siten, että akustojen ikääntyminen käyttösykliin ja iän funktiona otetaan huomioon, suunnittelu voidaan esittää viisivaiheisena prosessina.

1. Arvioi järjestelmän käyttöikä perustuen järjestelmältä odotettaviin taloudellisiin tavoitteisiin.
2. Laske akkukapasiteetin minimiarvo käyttöiän lopussa, mitattuna BESS-järjestelmän kytkentäpisteestä verkkoon.
3. Määrittele järjestelmän lataus- ja purkuparametrit, sekä käyttösykliin odotettavissa oleva määrä.
4. Määrittele järjestelmän akkukapasiteetti järjestelmän käyttöönotossa.
5. Luo ja optimoi BESS-järjestelmä suunnitteluohjelmalla yllä oleviin tietoihin perustuen, ja valitse oikea litiumioniakkukemia ym. tarvittavat lähtötiedot. (Ovaskainen, Paakkunainen & Barcon 2023, 7.)

BESS-energiavarastot ovat kompleksisia teknisiä järjestelmiä. Keskeisimpiä vaatimuksia järjestelmän toimittajalta on osaaminen tehoelektronikassa,

sulautettujen järjestelmien ohjelmoinnissa, litiumioniakkuteknologiassa, sekä onnistunut järjestelmän eri osien yhteensovittaminen. (Solovev & Petrova 2021.)

3.2 Lainsäädäntö ja standardit liittyen energiavarastoihin

Suunniteltaessa energiavarastoa ja sen käyttöönottoa osaksi valtakunnallista sähköverkkoa, energiavaraston on täytettävä voimassa olevat Euroopan unionin direktiivit ja niihin pohjautuva kansallinen lainsäädäntö, standardit, toimijakohtaiset vaatimukset ja viranomaismääräykset (ST-Käsikirja 31 2019, 16). Suomessa sähköverkkoon liitettäville tuotantolaitoksille on asetettu teknisiä vaatimuksia toimintaparametreille ja suojaustoiminnoille. 1.1.2023 jälkeen käyttöön otetuissa ja verkkoon liitetyissä tuotantolaitoksissa suositellaan käytettävän pienjänniteverkon rinnalle kytkettyjen sähköntuotantolaitosten kanssa standardeja SFS-EN 50549-1:2019/A1:2023 ja SFS-EN 50549-2/A1:2023. Standardit ovat käytössä kaikissa EU-maissa. Standardit koskevat pääasiassa kadmium-, nikkeli- sekä lyijyakkuja, mutta ovat hyödynnettävissä soveltuvin osin myös muihin akkukemian omaaviin akustoihin. (SESKO- Sähkötekniset standardit Suomessa 2023a.)

Vaatimusten taustalla on sähköverkon ja siihen liitettävien laitteistojen luotettavan ja turvallisen toiminnan takaaminen, käyttäjän turvallisuudesta huolehtiminen sekä ympäristön suojeleminen. Liitteissä 1–5 on esitelty raportin kirjoittamisen aikana voimassa olevat keskeisimmät Euroopan unionin direktiivit, Suomessa voimassa olevat kansalliset lait ja asetukset ja keskeisimmät standardit, jotka liittyvät akkupohjaisiin energiavarastoihin (BESS).

Liitteen 1 taulukossa on esitelty lyhennelmät keskeisimpiä akkupohjaisia energiavarastoja koskevista EU-direktiiveistä. Liitteen 2 taulukossa vastaavasti esitellään lyhennelmät merkittävimmistä laeista ja

valtioneuvoston asetuksista koskien akkupohjaisia energiavarastojen (BESS) asennusta, toimivuutta, turvallisuutta sekä käytöstä poistamista. Sovellettava kansallinen lainsäädäntö perustuu Euroopan unionin antamiin direktiiveihin.

Liitteen 3 taulukossa on lyhennelmät akkupohjaisiin energiavarastoihin soveltuvista sähköturvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevista standardeista vuonna 2023. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) julkaisee SFS-EN standardien luettelon vuosittain sähkölaitteistoilta vaadittavat turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat ajankohtaiset standardit. Viimeisin luettelo S10-2023 on julkaistu 3.1.2023. Luettelo perustuu sähköturvallisuuslain (1135/2016) pykälien 33§ ja 84§ vaatimuksiin. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023b.)

Sähkövarastojen turvallisuuteen liittyvää ohjeistoa on esitelty liitteissä 4 ja 5, joista ensin mainitun taulukossa on esitelty lyhennelmät raportin kirjoitusaikana voimassa olevat keskeisimmistä standardeista, jotka liittyvät energiavarastoihin. Liitteessä 5 olevassa taulukossa esitellään lyhennelmät opinnäytetyön kirjoitusaikana voimassa olevista keskeisimmistä Yhdysvalloissa käytössä olevista akkujen turvallisuuteen liittyvistä standardeista.

Tänä päivänä sähkölaitteisiin tai -koneisiin on vaatimuksena CE-merkki. CE-merkintä osoittaa tuotteen täyttävän EU:n säädösten olennaiset vaatimukset, sekä tuotteen läpikäyneen asianmukaiset tarkastukset ja niihin liittyvät todentamismenettelyt. CE-merkintä ei ole vapaaehtoinen, vaan sitä edellytetään tuotteilta, joita koskevat EU-direktiivien vaatimukset. CE-merkinnällä varustetut tuotteet saavat vapaasti liikkua EU:n alueella. Esimerkkeinä, joissa CE-merkintä vaaditaan, ovat esimerkiksi sähkölaitteet, joita koskee pienjännitedirektiivi 2014/35/EU (LVD), sähkömagneettista

yhteensopivuutta koskeva direktiivi 2014/30/EU, mittalaitteita koskeva direktiivi, 2014/32/EU, tai direktiivi 2009/125/EU energiaan liittyvien tuotteiden ekologisesta suunnittelusta. Edellä mainittujen direktiivien valvontaa toteuttaa Suomessa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. (Suomen standardoimisliitto SFS Ry 2023; Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes 2023a.)

Akkupohjaisten energiavarastojen onnistuneessa implementoinnissa on otettava huomioon lisäksi paikallisten viranomaisten ohjeet ja asetukset, esimerkiksi rakentamista koskevat vaatimukset E-sarjan julkaisuissa, RT-, LVI-RYL kortistossa esitetyt vaatimukset, viranomaisvaatimukset ja asetukset koskien ympäristöä ja pelastustointia, sekä vakuutusyhtiön järjestelmälle asettamat vaatimukset. Energiavarastojen suunnittelun alusta saakka tehty tiivis yhteistyö edellä mainittujen tahojen kanssa mahdollistaa sujuvan ja onnistuneen prosessin akkupohjaisten energiavarastojen käyttöönotossa. (ST-Käsikirja 31 2019, 16, 18–19.)

Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan kansallinen standardointijärjestö SESKO Ry:n komitea on koonnut kattavasti sivuilleen standardeja (*SK 21 akut ja energiavarastot*), jotka koskettavat eri akkuteknologioiden käyttöä paikallisakustoissa ja energiavarastoissa, akkustandardeja, akustojen turvallisuutta, akkumerkintöjä ja akustojen ympäristönäkökohtia. Komitean tehtävä on huolehtia suomalaisen seurantaryhmän osallistumisesta kansainväliseen ja eurooppalaiseen standardointityöhön osana kansainvälistä ja eurooppalaista komiteatoimintaa. (SESKO Ry 2024.)

Opinnäytetyö ja sen pohjalta kirjoitettu raportti nosti esiin, että akkupohjaisiin energiavarastoihin liittyvät tekniset ratkaisut, akkuteknologia, lainsäädäntö ja standardit ovat jatkuvasti voimakkaassa murroksessa. Tässä raportissa on

tuotu esiin kirjoitushetkellä voimassa olevia keskeisimpiä aiheeseen liittyviä direktiivejä, kansallisia lakeja ja standardeja.

3.3 Osallistuminen sähköverkon järjestelmäpalveluiden tuottamiseen

Edellä kerrottiin, että akkupohjaisella energiavarastolla (BESS) on usein korkeiden alkuinvestointien vuoksi välttämätöntä osallistua myös sähköverkon oheispalvelumarkkinoille. Toimintamalli voi luoda haasteita järjestelmän suunnitteluun, koska energia-arbitraasitoiminnassa järjestelmän vaatimuksena on suuri akuston kapasiteetti, kun taas taajuuden säätömarkkinoille osallistuttaessa akkupohjaiselta energiavarastolta vaaditaan suurta hetkellistä tehoa. Tämä korostaa onnistuneen järjestelmän suunnittelun ja käytön simuloinnin merkitystä, jotta akkupohjaisen energiavaraston toimintastrategia energiamarkkinoilla voidaan jo suunnitteluvaiheessa optimoida taloudellisen hyödyn maksimoimiseksi. (Zhang, Anvari-Moghaddam, Peyghami, Dragicevic, Li & Blaabjerk 2022, 1,5.)

Suomen sähkömarkkinoilla on merkittävä tarve lisätä sähköverkon tasapainottamiseen tarvittavia ja nyt niukasti saatavilla olevia säätöreservien toimittajia. Säätöreservit voivat olla voimalaitoksia, sähkönkulutuskohteita tai energiavarastoja, jotka kykenevät muuttamaan tehoaan tarpeen tullen. Jatkuvasti lisääntyvä tuulivoima, sekä valmistunut Olkiluoto 3 nostavat reservitarpeen 1 300 megawattiin. Johtuen kasvaneesta tarpeesta, uusien toimittajien pääsyä on helpotettu säätöreservimarkkinoille. (Rytsy, 2022.) Muutoksen mahdollistaa Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta 497/2023 (Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta 497/2023).

Akkupohjaisten energiavarastojen lisääntynyt merkitys Euroopan unionin alueella sijaitsevan sähköverkon vakauden turvaamiseksi sekä

hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi muuttaa Euroopan unionin alueella olevaa lainsäädäntöä. Euroopan unionin komissio julkaisi maaliskuussa 2023 asiakirjan, jonka tarkoitus on ohjata jäsenvaltioita koskien sähköverkkoon liitettäviä akkupohjaisia energiavarastoja. Se listaa suosituksia jäsenvaltioille energiavarastojen käyttöönoton lisäämisessä. Suositukset pitävät sisällään kohtia kaksinkertaisen verotuksen estämisestä energian varastoinnissa ja verkkoon syötettäessä. Suositukset koskevat myös lupaprosessien helpottamista, järjestelmien rahoituksen puutteen tunnistamista lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä, sekä järjestelmien hankinnassa tarvittavien rahoitusvälineiden tarjontaa. Suosituksena ovat myös energiavarastojen kautta tapahtuvan tuoton tekeminen mahdolliseksi, sekä vaatimukset tarjota läpinäkyvää, yksityiskohtaista ja reaaliaikaista tietoa sähkömarkkinoiden hinnoista, verkon kuormittumisesta ja rajoituksista, asennetuista energiavarastoista sekä kasvihuonekaasupäästöjen lähteistä. (Euroopan komissio 2023b.)

Mikäli energiavarastolla on tarkoitus tuottaa myös järjestelmäpalveluita, Fingrid on luonut yksinkertaistetun ohjeistuksen reservimarkkinoille tulemisen prosessista, jossa määritellään miten reservin toimittaja voi osallistua sähkömarkkinoille. Säättökykyisen resurssin omistaja, tai resurssin omistajan luvalla toimiva toimija voi osallistua reservitoimittajana nopeassa taajuusreservissä (FFR), taajuusohjatussa häiriöreservissä (FCR-D ylös- ja alas säätötuote) ja taajuusohjatussa käyttöreservissä (FCR-N) toimimiseen. Edellytyksenä on teknisten vaatimusten ja markkinapaikan vaatimusten täyttäminen. (Fingrid 2023a; Fingrid 2023b.)

Sähkömarkkinoiden reservi- ja säätösähkön ansaintamalli perustuu taajuusohjattuun käyttöreserviin. Tämä soveltuu kohteelle, jossa kohteen käyttämää sähkötehoa on mahdollista lisätä tai vähentää useita kertoja tunnissa. Taajuusohjatussa häiriöreservissä kulutuskohde kykenee lisäämään

tai vähentämään kulutusta nopeasti verkkotaajuuden laskiessa alle 49,9Hz:iin. Säätosähkömarkkinoilla toimiessa kulutuskohde kykenee säätämään 15 minuutin kuluessa kulutuksen lisäämistä tai kulutuksen pienentämistä. (Fingrid 2023c).

Sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset on esitetty Fingridin dokumentissa SJV2019. Sähkövarastotyyppi luokitellaan tuotantotilan mitoitustehon ja liittymisjännitteen perusteella neljään eri luokkaan A-D. (Fingrid 2020, 8.) SJV2019 dokumentti pitää sisällään eri toimijoiden vastuut ja oikeudet, sähkövarastojen todentamis- ja käyttöönottoilmoituksessa vaadittavat seikat sähkövarastojen kokoluokkaan perustuvan luokittelun mukaisesti. Lisäksi siihen sisältyy vaadittavat tarkastukset ja niihin liittyvät asiakirjat sekä sähkövaraston kokoluokkaan perustuvat tiedot, sähkövarastolle vaaditut reaaliaikaiset mittaukset, tiedonvaihdon vaatimukset ja sähkövarastolta vaaditut instrumentoinnit.

Mikäli sähkövaraston teknisissä ratkaisuissa käytetään poikkeavia ratkaisuja, dokumentista SJV2019 löytyy ohjeistus poikkeamien käsittelyyn ja ehdot niiden hyväksymiselle. Dokumentin SJV2019 asettamat järjestelmätekniset vaatimukset tulee täyttää, mikäli energiavarasto tuottaa järjestelmäpalveluita (Fingrid 2020, 12–28.) Yleiset liittymisehdot on käsitelty dokumentissa YLE2021, jolla varmistetaan sähköverkon käyttövarmuus ja liitettävien verkkojen tekninen yhteensopivuus sähköverkkoliitännöissä. (Fingrid 2021, 2.)

Sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset tulevat päivittymään vuoden 2024 aikana, jolloin dokumentit ovat saatavilla nimillä SJV2024 ja VJV2024 (Fingrid 2024). Merkittävä dokumentti akkupohjaisia energiavarastoille on myös Energiateollisuuden päivitetty Verkkosuositus YA 9:23. Suositus käsittelee kaikkia tuotantolaitoksia, keskittyen pientuotannon liittämiseen sähköverkkoon. (Energiateollisuus 2023.)

Paikallisen sähköverkkoyhtiön liittämisehdot tulee huomioida kytkettäessä energiavarastoa verkkoon. Liittämisehdot ovat julkista tietoa, ja saatavilla paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä. Liittämisehtoja koskevassa asiakirjassa käsitellään liittämisen tekniset vaatimukset, myyntiehdot, hinnastot ja liittämismaksujen määräytymisperusteet sekä arvio, jonka kuluessa verkkoyhtiö käsittelee liittymistä koskeva tarjouspyynnöt. (Energiavirasto 2023.)

4. BESS-järjestelmän implementointi

4.1 Implementointiprosessi

Akkupohjaisen energiavaraston (BESS) soveltuvuuden arvioinnista kohteeseen, sekä käyttöönottoprosessista on löydettävissä tietoa useista eri lähteistä. Yksi kattavimmista dokumenteista on Yhdysvaltojen energiaministeriön alla toimiva kansallisen ydinturvallisuuden hallinnon (NNSA) alla toimivan tutkimus- ja kehityslaboratorion, Sandia National Laboratories (SNL / SANDIA) luoma dokumentti, joka käsittelee energianvarastointijärjestelmien käyttöönottoa sekä järjestelmien suunnittelussa, asennuksessa ja testauksessa ennen turvallista käyttöönottoa vaadittavaa prosessia.

Käyttöönottoprosessin läpivienti vaiheittaisesti tarkkaan määritellyn prosessin kautta mahdollistaa energiavaraston osajärjestelmien suunnittelun, asennuksen, testauksen ja käyttöönoton johdonmukaisesti siten, että järjestelmä kykenee toimimaan sille tarkoitetulla tavalla turvallisesti ja luotettavasti. (Schoenung, Borneo, & Schenkman 2020,1; U.S Department of Energy 2023a.)

Suomessa julkaistu ST-Käsikirja 31, Varavoimakoneet ja -laitokset, on käytännöllinen yleisohje varavoimajärjestelmien suunnittelua varten. Se kattaa järjestelmän suunnittelun, toteutuksen, tarkastukset sekä käytön näkökohtia. Käsikirja on uuden järjestelmän suunnittelun kannalta merkityksellinen, koska se ottaa huomioon Suomessa valitsevat olosuhteet ja esittelee käyttöönottoprosessia laajalti. (ST-Käsikirja 31 2019, 4.) Suunniteltaessa ulos sijoitettavaa, arktisiin olosuhteisiin soveltuvaa akkupohjaista energiavarastoa (CBESS), tulee ottaa huomioon ympäristön asettamat vaatimukset, kuten kontin lämpöeristäminen. Suomen kantaverkko-operaattorin (Fingrid) luoman dokumentin mukaan alin lämpötila, joka kaikkien laitteiden tulee kestää Pohjois-Suomessa, on -50 astetta. (Fingrid, 2007.)

Suunniteltaessa akkupohjaisen energiavaraston käyttöönottoa on tärkeää huomata, että dokumenteissa ensimmäiset vaiheet, jotka käsittävät tarpeiden määrittelyn ja järjestelmän suunnittelun, menevät päällekkäin. Alussa tapahtuvan järjestelmän tarpeiden määrittelyn ja tarvittavien lisätietojen lähetyksen jälkeen seuraa järjestelmän akkukapasiteetin suunnittelu ja kannattavuuden ja toiminnallisuuden simulointi. Nämä voivat vaikuttaa merkittävästikin suunnitellun järjestelmän vaatimaan akkukapasiteettiin sekä järjestelmän eri komponenttien fyysiseen kokoon, ja järjestelmän järkevimpään sijoituspaikkaan kohteessa.

Akkupohjaisen energiavaraston onnistunut suunnittelu ja toteuttaminen on vaativa hanke. Kokonaisuuden hallinnan kannalta on hyvä hankkia varavoimalaitos valmiina kokonaisuutena konttiin rakennettuna. Tämä helpottaa rakentamisen aikataulutusta, laitoksen koekäyttöä ja huoltamista, koska järjestelmän suunnittelusta ja toteutuksesta vastaa yksi taho. Toimintatavalla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä rakennustöiden edistyessä. Konttipohjaisella ratkaisulla käyttöönottoprosessi on

merkittävästi helpompi kuin rakennukseen erillisiin tiloihin rakennettujen ja asennettujen laitosten kohdalla. (ST-Käsikirja 31 2019, 33.)

Akkupohjaisen energiavaraston käyttöönoton yhteydessä tulee suorittaa tekninen tarkastus, joka käsittää koko järjestelmän toimivuuden testaamisen sisältäen järjestelmältä vaadittavat turvallisuusnäkökohdat. Tarkastuksesta tulee olla laadittu asianmukaiset asiakirjat, joista käy seikkaperäisesti ilmi, mitkä turvallisuuteen liittyvät toiminnot on järjestelmästä tarkastettu. Johtuen akkupohjaisiin energiavarastoihin liittyvistä riskeistä huomioiden on tärkeää, että myös pelastushenkilöstö osallistuu käyttöönottoon. Osallistumisaste tulisi määräytyä järjestelmän koon ja monimutkaisuuden perusteella. (Schoenung ym. 2020, 9–10.)

BESS-järjestelmien implementoinnin sairaaloihin tekee mielenkiintoiseksi mahdollisuus hankkia järjestelmä ESaaS palveluna. ESaaS (Energy Storage-as-an-Service) -palvelumalli mahdollistaa monien riskien ja epävarmuustekijöiden ulkoistamisen palveluntuottajalle. Palvelumalli avaa mahdollisuuksia julkiselle sektorille, koska se voidaan luokitella taseen ulkopuoliseksi. Palvelussa akkupohjainen energiavarasto toimitetaan asiakkaalle vain vähin ennakokustannuksin, tai kokonaan ilman kustannuksia. Palvelun toimittaja vastaa tuottavuuden tutkimisesta, sijoituspaikan suunnittelusta ja laitteiden toimituksesta asennuksineen aina käyttöönottoon asti. Palvelu sisältää myös etävalvonnan, ylläpidon, järjestelmän käyttöaikatakuun, huollot, tarvittavat akkujen vaihdot ja varaosat. (Connected Energy 2023.) ESaaS -palvelun asiakkuus luo mahdollisuuden osallistua sähkömarkkinoille lisätulojen hankkimiseksi pienin alkuinvestoinnein, mahdollistaen asiakkaan oman kulutuksen optimoinnin tilanteessa, jossa energian kulutus ei noudata tiettyä kaavaa (Accenture 2022, 18, 23).

ESaaS palvelumallissa BESS-järjestelmä räätälöidään asiakkaan tarpeisiin avaimet käteen -periaatteella tavoitteena palvelu, joka räätälöidään tuottamaan positiivista kassavirtaa ensimmäisestä toimintapäivästä alkaen. Näin yritys tai organisaatio saa käyttöönsä BESS-järjestelmän tuomat edut ilman, että yritys sitoo pääomia tai ottaa velkaa järjestelmän hankintaan. (Honeywell 2022.) Akkupohjaisia energiavarastoja rakennetaan pääasiassa kehittyneissä maissa. Teknologia käsitetään vielä uutena teknologiana, johon liittyy edelleen suuri sijoitusriski. (Martins, Hesse, Jungbauer, Vorbuchner & Musilek 2018,4.)

4.2 Sairaalan varavoimajärjestelmä

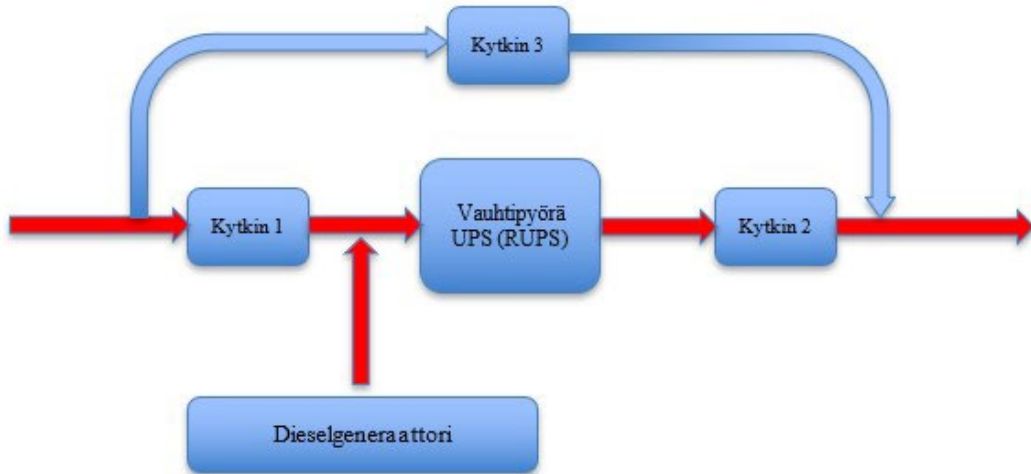
Lääkintätilojen sähköasennuksia ohjaa standardi SFS 6000-7-710. Lääkintätilojen rakennusajankohdan mukaan kohteessa voi olla osastoja, jotka ovat toteutettu standardin vanhempien versioiden aikana. Sairaalan lääkintätilojen sähköasennuksissa käytettävä standardi perustuu standardiin CENELEC HD 60364-7-710:2012 ja siihen liittyvään muunnokseen AC:2013. Standardi SFS 6000-7-710:2022 käsittelee lääkinnällisten erikoistilojen kiinteiden pienjännitesähköasennusten vaatimuksia. Standardin peruste on tiloissa hoidettavien potilaiden ja niissä työskentelevän henkilökunnan turvallisuus. (SFS 6000-7-710:2022, kohta 710.1.)

Lääkintätilalla tarkoitetaan tilaa, jossa sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden avulla diagnosoidaan, hoidetaan, valvotaan tai tutkitaan potilaita, jotka ovat eläviä ihmisiä tai eläimiä (SFS 6000-7-710:2022, kohta 710.3.1, kohta 710.3.2). Standardi koskettaa esimerkiksi terveysasemia, sairaaloita, yksityisiä klinikoita, potilaiden vastaanottohuoneita, työterveyshuoltoon tarkoitettuja tiloja, ja yleisesti niitä tiloja, joissa käytetään lääkinnällisiä sähkökäyttöisiä lääkintälaitteita (SFS 6000-7-710:2022, kohta 710.1).

Sairaaloiden lääkintätiloissa on käytössä varavoimajärjestelmä, joka turvaa sähkön keskeytymättömän saannin sähkökatkon aikana. Standardi SFS 6000-7-710:2022 määrää vaatimukset, viiveen ja toiminta-ajan, jonka varavoimajärjestelmän teholähteen on kyettävä syöttämään lääkintätilan laitteita. Varavoima on jaettu katko pituuden mukaan neljään eri luokkaan. Luokassa A automaattinen varavoimajärjestelmä varmistaa jatkuvan syötön. Luokassa C automaattinen varavoimajärjestelmä kytkeytyy toimintaan, kun keskeytysaika on korkeintaan 0,5 sekuntia. Luokassa E automaattinen varavoimajärjestelmä on käytettävissä, kun katko on kestänyt 15 sekuntia. Luokassa F automaattinen varavoimavoima järjestelmä on käytettävissä yli 15 sekunnin jälkeen. (SFS 6000-7-710:2022, kohta 710.560.4.1.)

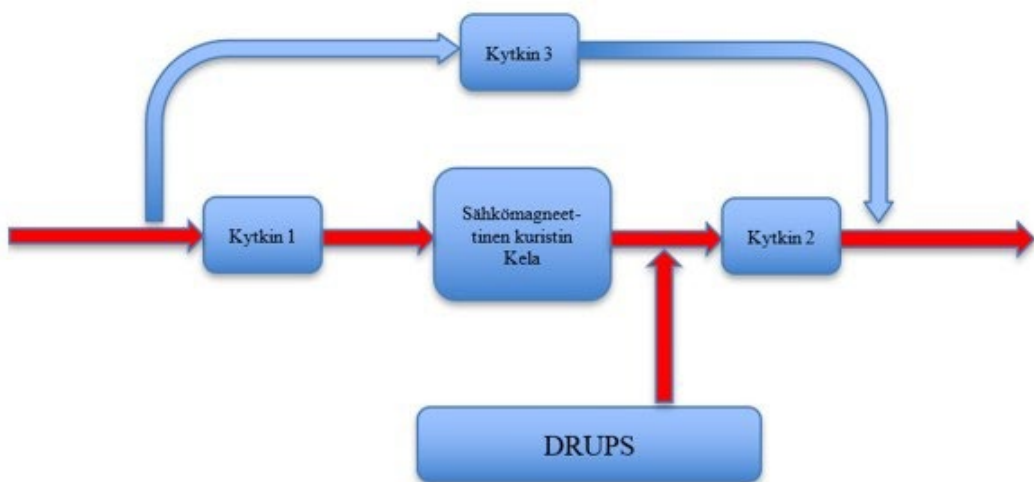
Yli 15 sekunnin syötönsiirtoajan ajan omaavien luokan E laitteiden osalta (jotka eivät kuulu standardin SFS 6000-7-710:2022 kohtien 710.560.6.103.1 ja 710.560.6.103.2 alle, mutta jotka ovat välttämättömiä lääkintätoimenpiteiden tai vastaavien toimintojen kannalta) syöttö on kytkettävä automaattisesti tai käsikäyttöisesti varavoimajärjestelmän teholähteeseen, joka säilyttää syötön 24 tunnin ajan. Tapauskohtainen riskiarviointi voi johtaa 24 tunnin toiminta-ajan pidentämiseen. (SFS 6000-7-710:2022, kohta 710.560.6.103.3.)

Kuviossa 3 on esitetty sairaaloissa käytettävä yksinkertaistettu (n+0) sairaalan varavoimajärjestelmä, joka on toteutettu erillisellä vauhtipyörä-UPS-järjestelmästä (RUPS) ja erillisellä dieselgeneraattorilla. Varavoimajärjestelmän keskeiset komponentit ovat dieselgeneraattori, joka kykenee vastaamaan pidemmistä sähkökatkoista >15 sekuntia, sekä sähköllä suoraan pyöritettävä, ja vauhtipyörällä toteutettu kineettinen energiavarasto, joka kykenee turvaamaan lyhyemmät sähkökatkot <15 sekuntia, tunnetaan nimellä Rotary Uninterruptible Power Supply (RUPS). Kuviossa kytkimet 1-3 ovat järjestelmän huoltoa ja ohittamista vasten.



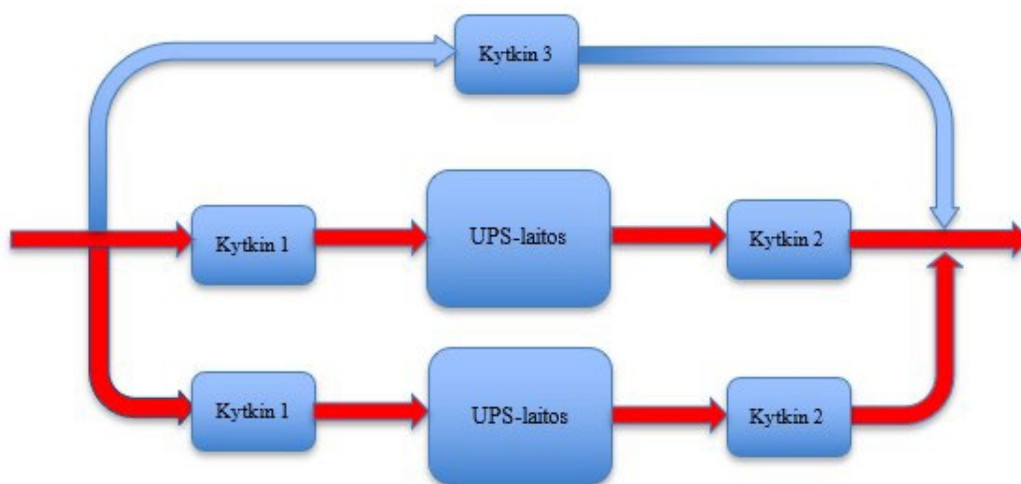
Kuvio 3. Yksinkertaistettu varavoimajärjestelmän (n+0) kuvaus, jossa on erillinen varavoimalaitos, joka on toteutettu dieselgeneraattorilla (IEM Power Systems 2019).

Kuviossa 4 on kuvattu DRUPS järjestelmä, vauhtipyörään on kytketty samassa yksikössä myös dieselgeneraattori. Järjestelmää kutsutaan nimellä Diesel Rotary Uninterruptible Power Supply (DRUPS). RUPS ja DRUPS järjestelmissä energian varastointi perustuu kineettisen energian varastointiin. (Active Power 2023; kW-set Oy, 2024a.)



Kuvio 4. DRUPS-varavoimajärjestelmän toiminnallinen pääperiaatteellinen kuvaus (Maluck 2023).

RUPS- järjestelmiä käytetään paikoissa, joissa lyhytaikaisilla sähkökatkoilla voi olla haitallinen vaikutus. Järjestelmälle on tyypillistä, että se kykenee poistamaan toimiessaan verkkosähkön syöttämän jännitteen pienet viat, stabiloiden samalla verkkosähköstä laadukasta, kriittisille kuormille sopivaa sähköä. (Industrial Electric MFG 2024.) Kuviossa 5 on kuvattu yksinkertaistettu kahdennettu ja rinnakkain kytketty redundanttinen (N+1, N=1) UPS-laitos. UPS-laitos toimii koko ajan sähkönsyötön normaalitilanteessa vastaten samalla lyhyistä sähkökatkoista sekä poistaen häiriöitä verkosta tulevasta sähköstä.



Kuvio 5. Yksinkertaistettu kaavio redundanttisesta UPS-laitoksesta (N+1, N=1) (ST 52.35.02, 6)

Vauhtipyörällä (huimapyörä) toteutettuihin UPS-järjestelmän etuihin voidaan lukea sen kyky poistaa syöttöjännitteestä erilaisia häiriöitä, esimerkiksi jännitepiikkejä, harmonisia häiriöitä, jännitteen vaihteluita ja lyhyitä sähkökatkoja. RUPS järjestelmien vahvuuksiin kuuluu myös huoltoa vaativien akustojen puuttuminen, rajaton määrä lataus- ja purkusyklejä, nopea latautumisaika, laaja toimintalämpötila-alue, pieni fyysinen koko yhdistettynä suuren tehoon sekä käyttöjensä päähän tulleen järjestelmän kierrätyksen helppous. (Csanyi 2019.)

Vauhtipyörällä (huimapyörä) toteutettujen kineettisen energian varastointijärjestelmien kehityshaasteita ovat esimerkiksi tehokkaimpiin hyvin nopeasti pyöriviin vauhtipyöriin soveltuvien materiaalien löytäminen, vauhtipyörän laakeroinnin ja laakeroinnin ohjausjärjestelmien haasteet, ja energian kulutuksen pienentäminen. Pyörivissä ja kineettisen energian varastointiin perustuvissa energiavarastoissa laakereihin kohdistuu valtavia kuormituksia, mikä lyhentää niiden käyttöikä ja samalla nostaa ylläpidon kustannuksia. (European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030 2015, 63.)

ST-kortissa 52.35.02 käsitellään UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelua ja toteutusta. UPS-laitoksen järjestelmävalinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa laitoksen luotettavuuteen ja käytettävyyteen. Mikäli UPS-laitoksia on käytössä rinnakkain kaksi (1+1), kuvion 5 mukaisesti, voidaan luotettavuuden ajatella olevan 100 %. (ST 52.35.02, 4.)

5. Yhteenveto

Varmennetuissa verkoissa, joissa on suuri hetkellinen tehotarve, käytetään usein dieselgeneraattorien ja kineettisten energiavarastojen yhdistelmää, jossa vauhtipyörää pyöritetään jatkuvasti verkosta saatavalla energialla. Vauhtipyörällä (huimapyörä) toteutettuihin RUPS-järjestelmällä on monia etuja, kuten kyky poistaa syöttöjännitteestä erilaisia häiriöitä, esimerkiksi jännitepiikkejä, harmonisia häiriöitä, jännitteen vaihteluita ja lyhyitä sähkökatkoja. Lisäksi RUPS-järjestelmällä on nopea latautumisaika, laaja toimintalämpötila-alue, pieni fyysinen koko yhdistettynä suuren tehoon sekä käyttöikänsä päähän tulleen järjestelmän kierrätys on helppoa. (Csanyi 2019.)

Vastaavasti keskeisimpinä haasteina on energian kulutuksen pienentäminen, sekä järjestelmässä käytettäviin laakereihin kohdistuvat valtavat kuormitukset, mikä lyhentää niiden käyttöikää ja samalla nostaa ylläpidon kustannuksia (European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030 2015, 63). RUPS-järjestelmien kustannusten voidaan käsittää muodostuvan hankinta-, huolto- sekä järjestelmän käyttämän sähkön kustannuksista.

Nykyisin kineettisille energiavarastoille on noussut potentiaalinen haastaja, akkupohjaiset energia varastot (BESS), jotka omaavat paljon samoja ominaisuuksia, joita kineettiset energiavarastot tarjoavat. Energian varastoinnin kustannukset ovat laskeneet viimeiset 20 vuotta, mikä on johtanut näiden litiumioniakustoihin perustuvien energian varastointijärjestelmien (BESS) yleistymiseen. Litiumioniakustoilla toteutetut energiavarastot ovat helposti siirrettäviä, pienikokoisia yhdistettynä korkeaan energiatiheyteen sekä kykyyn luovuttaa tai ladata nopeasti energiaa sähköverkosta (Energy Education & Research Institute 2021). Modernit BESS-järjestelmät kykenevät toimimaan haastavassa ympäristössä ja niitä on rakennettu niin arktisille alueille kuin aavikoille (ABB Inc. Power Electronics 2023, 1). Saatavilla olevat järjestelmät voidaan rakentaa joko sisälle, sijoittaa ulos erikokoisiin säänkestäviin laite kaapistoihin tai merikontteihin riippuen laitteesta koosta (TROES corp 2023; AEG Power Solutions 2023; Honeywell 2023).

Litiumakustojen käytön laajentuessa niiden hinta on myös laskenut. Teknologinen kehitys on nostanut esiin potentiaalisia teknisiä ratkaisuja ja litiumioniakustojen käytön odotetaan kasvavan edelleen merkittävästi. Yksi keskeisimpiä kehitysaskelaita on palamaton ja lasielektrolyytillä toteutettu Solid State- teknologiaan perustuva litiumioniakusto. Ominaisuuksiltaan akusto parantaa merkittävästi aikaisempien keskeisimpien tunnettujen

litiumioniakustojen ominaisuuksia, mahdollistaen uuden teknologian käytön ilma-aluksissa sekä vesiliikenteessä. (Tvete, Hill & Hildre 2023.)

Nykyisin suurissa energiavarastoissa suositaan litium-rauta-fosfaatti (LiFePO₄ tai LFP) -teknologiaa tai litium-nikkeli-mangaani-koboltti-oksidi (LiNiMnCoO₂ tai NMC) -akustoja, jotka ovat pitkäikäisiä, turvallisempia ja kestävät enemmän lataussyklejä (Energy Storage Ireland 2021, 6). Akkupohjaiset energiavarastot käsitetään toistaiseksi vielä uutena teknologiana, johon liittyy edelleen suuri sijoitusriski. Tämän vuoksi niitä rakennetaan pääasiassa kehittyneissä maissa. (Martins, Hesse, Jungbauer, Vorbuchner & Musilek 2018,4.)

BESS-järjestelmien implementointiin kustannustehokkaasti on nykyisin mahdollisuus, joka mahdollistaa monien riskien ja epävarmuustekijöiden ulkoistamisen palveluntuottajalle. Järjestelmä on mahdollista hankkia ESaaS-palveluna. ESaaS (Energy Storage-as-an-Service) -palvelumallissa akkupohjainen energiavarasto toimitetaan asiakkaalle vain vähin ennakokustannuksin, tai kokonaan ilman kustannuksia. Palvelun toimittaja vastaa tuottavuuden tutkimisesta, sijoituspaikan suunnittelusta ja laitteiden toimituksesta asennuksineen aina käyttöönottoon asti. Palvelu sisältää myös etävalvonnan, ylläpidon, järjestelmän käyttöaikatakuun, huollot, tarvittavat akkujen vaihdot ja varaosat. Palvelumalli avaa mahdollisuuksia julkiselle sektorille, koska se voidaan luokitella taseen ulkopuoliseksi. (Connected Energy 2023.)

ESaaS-palvelun asiakkuudessa osallistutaan sähkömarkkinoille lisätulojen hankkimiseksi. Palvelu mahdollistaa myös asiakkaan oman kulutuksen optimoinnin tilanteessa, jossa energian kulutus ei noudata tiettyä kaavaa. (Accenture 2022, 18, 23.) ESaaS-palvelumallissa on kysymyksessä asiakkaan tarpeisiin räätälöity energiavarasto, joka toimitetaan avaimet käteen -

periaatteella tavoitteena palvelu, joka räätälöidään tuottamaan positiivista kassavirtaa ensimmäisestä toimintapäivästä alkaen. Näin yritys tai organisaatio saa käyttöönsä BESS-järjestelmän tuomat edut ilman, että yritys sitoo pääomia tai ottaa velkaa järjestelmän hankintaan. (Honeywell 2022.)

On huomattu, että akkupohjaisella energiavarastolla (BESS) on usein korkeiden alkuinvestointien vuoksi lähes välttämätöntä osallistua myös sähköverkon oheispalvelumarkkinoille. Toimintamalli voi luoda haasteita järjestelmän suunnitteluun, koska energia-arbitraasitoiminnassa järjestelmän vaatimuksena on suuri akuston kapasiteetti, kun taas taajuuden säätömarkkinoille osallistuttaessa akkupohjaiselta energiavarastolta vaaditaan suurta hetkellistä tehoa. Tämä korostaa onnistuneen järjestelmän suunnittelun ja käytön simuloinnin merkitystä, jotta akkupohjaisen energiavaraston toimintastrategia energiamarkkinoilla voidaan jo suunnitteluvaiheessa optimoida taloudellisen hyödyn maksimoimiseksi. (Zhang, Anvari-Moghaddam, Peyghami, Dragicevic, Li & Blaabjerk 2022, 1,5.)

Sähköverkkoon kytketyille akkupohjaisille energiavarastoille on Suomen sähkömarkkinoilla kysyntää. Tarve sähköverkon tasapainottamiseen lisääntyy tuulivoimakapasiteetin kasvusta johtuen ja uudesta ydinvoimarakentamisesta huolimatta. Lisäreservin reservin tarve on 1 300 megawattia. (Rytsy, 2022.) Paikallisena esimerkkinä uudesta syklisestä energian tuotannosta voidaan nostaa esimerkiksi Kainuuseen rakenteilla olevat sekä Kajaanin ympäristöön vireillä olevat tuulivoimapuistohankkeet, jotka tuovat alueelle kymmeniä uusia tuulivoimaloita (Raunio & Lehto 2022, 22).

Johtuen kasvaneesta tarpeesta uusille säätöreservien toimittajille, on uusien toimijoiden tuloa säätöreservimarkkinoille helpotettu lakimuutoksella sähkömarkkinalain muuttamisesta. (Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta 497/2023). Akkupohjaisten energiavarastojen merkitys Euroopan unionin

alueella sijaitsevan sähköverkon vakauden turvaamiseksi sekä hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi muuttaa Euroopan unionin lainsäädäntöä. Komissio on julkaissut maaliskuussa 2023 asiakirjan, joka koskee jäsenvaltioiden sähköverkkoon liitettäviä akkupohjaisia energiavarastoja. (Euroopan komissio 2023b.)

Tietoa uusille reservin toimittajille, jotka haluavat osallistua sähkömarkkinoille on helposti saatavissa. Akkupohjaisten energiavarastojen teknisistä sekä markkinapaikan vaatimuksista on saatavilla ohjeistusta Fingrid:in luomista dokumenteista. (Fingrid 2023a; Fingrid 2023b.) Sähkömarkkinoiden reservi- ja säätösähkön ansaintamalli perustuu taajuusohjattuun käyttöreserviin (Fingrid 2023c). Sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset on esitetty Fingridin dokumentissa SJV2019 (Fingrid 2020, 8). Päivitettyjä dokumentteja on saatavilla nimillä SJV2024 ja VJV2024 (Fingrid 2024). Yleiset liittymisehdot on käsitelty dokumentissa YLE2021, jolla varmistetaan sähköverkon käyttövarmuus ja liitettävien verkkojen tekninen yhteensopivuus sähköverkkoliitynnöissä (Fingrid 2021, 2). Paikallisen sähköverkkoyhtiön liittymisehdot ovat saatavilla paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä (Energiavirasto 2023). Akkupohjaisia energiavarastoille on myös Energiateollisuuden päivitetty Verkkosuositus YA 9:23. Suositus käsittelee kaikkia tuotantolaitoksia, keskittyen pientuotannon liittämiseen sähköverkkoon. (Energiateollisuus 2023.)

Järjestelmää hankittaessa järjestelmän toimittajan onnistunut valinta on ratkaisevaa. BESS-energiavarastot ovat kompleksisia teknisiä järjestelmiä, korostaen järjestelmän toimittajan osaamista ja kokemusta tehoelektroniikassa, sulautettujen järjestelmien ohjelmoinnissa, litiumioniakkuteknologiassa, sekä kykyä sovittaa järjestelmän eri osat yhteen. (Solovev & Petrova 2021.) Sähkövarastojen suunnittelun lähtökohtana tulee olla järjestelmien turvallisuus, luotettavuus, paikallisten määräyksien

noudattaminen sekä toimiva yhteistyö paikallisviranomaisten kanssa. (Gaia Consulting Oy 2019, 67.) On tärkeää ymmärtää, että energiasektori kuuluu kriittiseen infrastruktuuriin ja sen suojaamisen parantaminen maailmanlaajuisesti on erittäin tärkeää. Energiansaannin katkeaminen voi maksaa yhteisölle ja yritykselle paljon, sekä aiheuttaa merkittävää haittaa yhteiskunnalle. (GlobalData 2022.)

Tarkasteltaessa mahdollisuuksia, joita moderni siirrettävä ja ulos merikonttiin rakennettu litiumioniakkuteknologiaan pohjautuvan energiavarasto (CBESS) tarjoaa varmennetussa sähköverkoissa käytettävien kineettisten energiavarastojen (RUPS) korvaajana on houkutteleva. RUPS järjestelmän rinnalla toimiva litiumioniakkuteknologialla toteutettu energiavarasto mahdollistaa RUPS järjestelmän toiminnallisen korvaamisen, kun osa akkupohjaisen energiavaraston kapasiteetista on varattu turvaamaan katkottoman sähkönsyötön vaatimukset. RUPS- järjestelmät on mahdollista asettaa lepotilaan pyörimään hitaasti, jolloin säästöjä on mahdollista luoda niin RUPS-järjestelmän kuluttaman sähköenergian, kuin huoltojen harventamisen muodossa.

Samaan aikaan osa akkupohjaista energia- varastoa osallistuu sähkömarkkinoille BESS-järjestelmästä aiheutuvien kulujen kattamiseksi ja tulovirran luomiseksi. Mikäli energiavaraston hankinta on mahdollista ESaaS-palvelun kautta riittävällä tuottomarginaalilla, akkupohjaiset energiavarastot voivat luoda potentiaalisen mahdollisuuden toiminnallisten säästöjen tuottamiseen varavoimajärjestelmien kustannuksissa, sekä mahdollisuuden tulovirran luomiseen sähkömarkkinoille osallistumisen kautta.

Akkupohjaisen energiavaraston käytöllä sairaalaympäristössä on mahdollista vähentää perinteisten mekaanisten katkottoman energiansyötön (RUPS) aiheuttamaa energian käyttöä, ja laskea sairaalan energiankulutusta samalla

kun järjestelmään on kyetty varastoimaan paikallisesti tuotettua uusiutuvaa energiaa. BESS-järjestelmien käyttö on vähentänyt hiilidioksidipäästöjä ja luonut samalla toiminnallisia säästöjä. (Building Better Healthcare 2018.)

LÄHTEET

ABB 2024. IEC 61850. System 800xA sisältää täyden tuen sähköasemien ohjausjärjestelmien IEC 61850 -standardin mukaiselle tiedonsiirrolle. Viitattu 2.2.2024. <https://new.abb.com/control-systems/fi/system-800xa/hajautettu-800xa-ohjausjarjestelma/kenttavaylaprotokollat/iec-61850>.

ABB Inc. Power Electronics 2023. Case note. World's Largest Battery Energy Storage System Fairbanks, Alaska, USA. Viitattu 22.2.2023.

https://library.e.abb.com/public/3c4e15816e4a7bf1c12578d100500565/Case_Note_BESS_GVEA_Fairbanks-web.pdf.

Active Power 2023. Our Technology. Why Flywheel? Viitattu 25.3.2024.

<https://www.activepower.com/technology/>.

Accenture 2022. Energy as a Service. Benefits, challenges, and opportunities for the acceleration of EaaS in Australia. Viitattu 15.9.2023.

<https://arena.gov.au/assets/2022/12/accenture-energy-as-a-service.pdf>.

AEG Power Solutions 2023. Battery Energy Storage. Flexible on-grid and off-grid solutions. Viitattu 11.2.2023. <https://www.aegps.com/en/applications/energy-storage/battery-energy-storage/>.

Alaperä, I., Honkapuro, S., Tikka, V. & Paananen, J. 2019. Dual-purposing UPS batteries for energy storage functions: A business case analysis. Energy Procedia, Vol 158, February 2019, 5061-5066. Viitattu 10.8.2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219306794?via%3Dihub>. (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.645>).

Alliant 2022. Battery Energy Storage Systems. Fire & Explosion Protection. Viitattu 15.9.2023. https://alliant.com/media/vctleyt0/bess_white-paper_explosion-protection_final.pdf.

BATTERY 2030+ Roadmap 2022. Inventing the Sustainable Batteries for the Future. Research Needs and Future Actions. https://battery2030.eu/wp-content/uploads/2022/07/BATTERY-2030-Roadmap_Revision_FINAL.pdf.

Baum, Z.J., Bird, R.E., Yu, X. & Ma, J. 2022. Lithium-Ion Battery Recycling-Overview of Techniques and Trends. ACS Energy Letters 2022, 7, 712-719. Energy Focus. American Chemical Society Publications. Viitattu 2.2.2023.

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsenerylett.1c02602>. (<https://doi.org/10.1021/acsenerylett.1c02602>).

Brazis, P., Barowy, A., Backstrom, R., Gandhi, P., Wu, A. & Wang, C. 2018. Evaluating the Safety of Energy Storage Systems: UL9540A. Viitattu 30.1.2023.

https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/eval_safety_ener_stor_sys_ul9540a_pbrazis.pdf.

Breiter, A., Horetsky, E., Linder, M. & Rettig, R. 2022. Power spike: How battery makers can respond to surging demand from EVs. McKinsey & Company 18.10.2022. Viitattu 6.1.2023. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/power-spike-how-battery-makers-can-respond-to-surging-demand-from-evs>.

Building Better Healthcare 2018. Rotterdam Hospital benefits from battery energy storage system. Viitattu 6.1.2023 https://www.buildingbetterhealthcare.com/news/article_page/Rotherham_Hospital_benefits_from_battery_energy_storage_system/198902.

Cohen, A. 2021. What Batteries Will Power The Future? Forbes 11.2.2021 Viitattu 26.1.2023. <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2021/02/11/what-batteries-will-power-the-future/?sh=29cded9e41c0>.

Colthorpe, A. 2022. Energy storage systems integrators and the challenges they face as competition heats up. Energy Storage News 28.2.2022. Viitattu 14.3.2023. <https://www.energy-storage.news/energy-storage-system-integrators-and-the-challenges-they-face-as-competition-heats-up/>.

Connected Energy 2023. At Your Service: Battery Energy storage as a service. Viitattu 15.9.2023. <https://connected-energy.co.uk/news/at-your-service-battery-energy-storage-as-a-service/>.

Csanyi, E. 2019. The Facts about modern rotary and static uninterruptible power systems (UPS). Electrical engineering portal 4.9.2019. Viitattu 12.11.2023. <https://electrical-engineering-portal.com/modern-rotary-static-uninterruptible-power-systems-ups>.

Electrochemical Safety Research Institute 2021a. Battery Safety Science Webinar Series. Fire Service Considerations- Investigation of AZ Li-Ion ESS Incident. Viitattu 22.1.2023 <https://ul.org/research/electrochemical-safety/battery-safety-science-webinar-series/fire-service-considerations>.

Electrochemical Safety Research Institute 2021b. What Are Lithium-Ion Batteries? UL research institutes. Viitattu 1.4.2023. <https://ul.org/research/electrochemical-safety/getting-started-electrochemical-safety/what-are-lithium-ion>.

Energiateollisuus 2023. Pientuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon YA 9:23. Viitattu 18.12.2023. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/12/YA-9-23-pientuotannon-liittaminen-sahkonjakeluverkkoon-2023-11-29-final.pdf>.

Energiavirasto 2023. Sähköverkkoon liittyminen. Viitattu 15.9.2023. <https://energiavirasto.fi/sahkoverkkoon-liittyminen>.

Energy Education & Research Institute 2021. What is Battery Energy Storage System (BESS). Viitattu 11.2.2023. <https://www.eeroinstitute.org/research/what-is-battery-energy-storage-system-bess>.

Energy Storage Ireland 2021. Safety of Grid-Scale Battery Energy Storage Systems. Information Paper. Viitattu 20.1.2023. <https://www.energystorageireland.com/wp-content/uploads/2021/08/ESI-Information-Paper-on-the-Safety-of-Grid-Scale-Battery-Energy-Storage-Systems-July-2021.pdf>.

Ernst & Young Global Ltd 2024. EV sales stall in US and Europe as market uncertainty persist- EY Analysis. Press Release 6.6.2024. Viitattu 21.10.2024. https://www.ey.com/en_gl/newsroom/2024/06/ev-sales-stall-in-us-and-europe-as-market-uncertainty-persists-ey-analysis.

Euroopan komissio 2023. A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent. Viitattu 17.2.2023. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.

Euroopan komissio 2022. Roadmap on stationary applications for batteries. Viitattu 31.1.2023. <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-01/vol-6-009.pdf>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/66/EY paristoista ja akuista sekä käytetyistä paristoista ja akuista ja direktiivin 91/157/ETY kumoamisesta. 6.9.2006. Viitattu 17.2.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0066&from=EN>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/30/EU. sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta 26.2.2014. Viitattu 22.12.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0030>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/34/EU. Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan

jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta 26.2.2014. Viitattu 20.12.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034>. (<https://eur-lex.europa.eu/FI/legal-content/summary/equipment-used-in-potentially-explosive-atmospheres-atex-directive.html>)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/35/EU. Tietyllä jännitealueella toimivien sähkölaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. 26.2.2014. Viitattu 21.12.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0035>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/53/EU radiolaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta ja direktiivin 1999/5/EY kumoamisesta. 16.4.2014. Viitattu 21.12.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0053>.

Euroopan komissio 2023b. Official Journal of the European Union. Resolutions, recommendations, and opinions. Recommendations. European commission. Commission Recommendation of 14 March 2023 on Energy Storage-Underpinning a decarbonized and secure EU energy system (2023/c 103/01. Viitattu 15.9.2023. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023H0320\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023H0320(01)&from=EN).

Euroopan komissio 2023c. Official Journal of the European union. Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC. Viitattu 12.4.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R1542>.

European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030 2015. Joint EASE/EERA recommendations ES Technology Development Roadmap 2030. Technical annex. The European Association for Storage of Energy (EASE) and The European Energy Research Alliance (EERA). Viitattu 29.1.2023. <https://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2015/10/EASE-EERA-recommendations-Annex-LR.pdf>.

Fingrid 2007. Fingrid OYJ:n yleiset liittymisehdot (YLE2007). Viitattu 1.11.2024. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja->

tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/arkisto/fingrid-oyj_n-yleiset-liittymisehdot-yle-2007.pdf.

Fingrid 2020. Sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset SJV2019. Viitattu 15.12.2023. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/sahkovarastojen-jarjestelmatekniset-vaatimukset-sjv2019.pdf>.

Fingrid 2021. Fingrid OYJ:n yleiset liittymisehdot YLE2021. 7.12.2021. Viitattu 15.9.2023. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/yle2021-fingrid-oyj-yleiset-liittymisehdot.pdf>.

Fingrid 2023a. Kuinka osallistua reservimarkkinoille. Viitattu 15.9.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/>.

Fingrid 2023b. Reservimarkkinat. Viitattu 15.9.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservilajit>.

Fingrid 2023c. Ansaintamallit. Viitattu 15.9.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/ansaintamallit/>.

Fingrid 2024. Voimalaitoksia ja sähkövarastoja koskevien järjestelmäteknisten vaatimusten päivitys 2024. Viitattu 29.4.2024. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/tekniset-vaatimukset/voimalaitoksia-ja-sahkovarastoja-koskevien-jarjestelmateknisten-vaatimusten-paivitys-2024/>

Florence, L.B. & Hopper, H.D. 2020. UL 9540 Energy Storage System (ESS) Requirements - Evolving to Meet Industry and Regulatory Needs. UL Solutions 20.5.2020. Viitattu 6.2.2023. <https://www.ul.com/news/ul-9540-energy-storage-system-ess-requirements-evolving-meet-industry-and-regulatory-needs>.

Fordham, E.J., Allison W.W.M. & Melville D. 2021. Safety of Grid Scale Lithium-ion Battery Energy Storage Systems. Project: Energy. the basic science of its availability, storage and safety. Viitattu 3.2.2023. https://www.researchgate.net/publication/352158070_Safety_of_Grid_Scale_Lithium-ion_Battery_Energy_Storage_Systems.

Gaia Consulting Oy 2019. Teollisuuden Litium-ioniakut ja turvallisuus. Opas. Viitattu 1.4.2024.

<https://tukes.fi/documents/5470659/6372809/Teollisuuden+akkuturvallisuusopas/68c21eee-cc0f-8184-bed4-aa71e83140b1/Teollisuuden+akkuturvallisuusopas.pdf>.

Gaggero G.B., Caviglia, R., Armellin, A., Rossi, M., Girdinio, P. & Marchese, M. 2022. Detecting Cyberattacks on Electrical Storage Systems through Neural Network Based Anomaly Detection Algorithm. Sensors 2022 Vol. 22, Issue 10 Special Issue Security and Privacy in IoT and Sensor Networks. Viitattu 13.4.2023. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/10/3933> (<https://doi.org/10.3390/s22103933>).

Ghiji, M., Novozhilov, V., Moinuddin, K., Joseph, P, Burch, I., Suendermann, B. & Gamble, G. 2020. A Review of Lithium-Ion Battery Fire Suppression. Energies 2020 13(19). Viitattu 15.9.2023. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/19/5117>. (<https://doi.org/10.3390/en13195117>)

GlobalData 2022. Cybersecurity in Power- Thematic research. Viitattu 12.4.2023. https://www.globaldata.com/store/report/cybersecurity-in-power-theme-analysis/?utm_source=lgp1&utm_medium=21-201575&utm_campaign=thematic-report-hyperlink&_gl=1*1ig4w0w*_ga*OTYyMDAwMTI4LjE2ODA5NDE4MDU.*_ga_1WM9T40P2F*MTY4MDk0MTgwNC4xLjAuMTY4MDk0MTgwNC42MC4wLjA.

GlobalData 2022. Cybersecurity in Power- Thematic research. Viitattu 12.4.2023. https://www.globaldata.com/store/report/cybersecurity-in-power-theme-analysis/?utm_source=lgp1&utm_medium=21-201575&utm_campaign=thematic-report-hyperlink&_gl=1*1ig4w0w*_ga*OTYyMDAwMTI4LjE2ODA5NDE4MDU.*_ga_1WM9T40P2F*MTY4MDk0MTgwNC4xLjAuMTY4MDk0MTgwNC42MC4wLjA.

Gould, J. & Fitzgerald, D. 2022. NASA's Solid-State Battery Research Exceeds Initial Goals, Draws Interest. National Aeronautics and Space Administration 7.10.2022. Viitattu 23.1.2023. <https://www.nasa.gov/aeroresearch/nasa-solid-state-battery-research-exceeds-initial-goals-draws-interest>.

Hanna, C., Lamek, N. & Manning J. 2021. Eight Battery Energy System (BESS) Site Requirements You Might Be Forgetting. Kimley-Horn.com. News & Insights 3.12.2021. Viitattu 15.9.2023. <https://www.kimley-horn.com/news-insights/perspectives/battery-energy-storage-system-requirements/>.

Hitachi Energy 2023. Spinning reserve. Viitattu 25.2.2023.
<https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/grid-edge-solutions/applications/energy-storage-applications/spinning-reserve>.

Holme, T. 2021. A Discussion of QuantumScape's Battery Technology Performance Results. QuantumSpace 14.1.2021. Viitattu 23.1.2023.
<https://www.quantumscape.com/resources/blog/a-discussion-of-quantumscapes-battery-technology-performance-results/>.

Honeywell 2023. What is Honeywell's Battery Energy Storage System? Viitattu 11.2.2023. <https://process.honeywell.com/us/en/industries/renewable-and-energy-storage-solutions/bess>.

Honeywell 2022. Energy-Storage-As-A-Service (EAAS). Viitattu 1.4.2023.
<https://process.honeywell.com/content/dam/process/en/documents/document-lists/initiative/renewables-and-energy-storage-solutions/656056%20HPS%20FLR%20ESaaS%20A4%20EN%20Rev02.pdf>.

Hydrovolt 2022. Europe's largest electric vehicle battery recycling plant begins operations. Viitattu 17.2.2023. <https://hydrovolt.com/europes-largest-electric-vehicle-battery-recycling-plant-begins-operations/>.

IEM Power Systems Oy 2024. Rotabloc RBT Rotary UPS Systems Outstanding Voltage Conditioning with Total Power Failure Protection. Viitattu 20.3.2024.
<http://www.iemps.com/sites/default/files/content/resource/IEM%20Rotary%20UPS%20Brochure%202019.compressed.pdf>.

Industrial Electric MFG 2024. Rotabloc Rotary UPS. Viitattu 26.3.2024.
<https://www.iemfg.com/product/rotary-ups>.

International Electrotechnical Commission 2022. IEC publishes standard on battery safety and performance. Viitattu 24.1.2023. <https://www.iec.ch/blog/iec-publishes-standard-battery-safety-and-performance>.

International Electrotechnical Commission 2018. IEC 62933-1:2018. Electrical energy storage (EES) systems- Part 1:Vocabulary. Viitattu 10.12.2023.
<https://webstore.iec.ch/publication/31555>.

International Electrotechnical Commission 2015. IEC 61427-2:2015 Secondary cells and batteries for renewable energy storage- General requirements and methods of

test- Part 2: On-grid applications. Viitattu 11.12.2023.

<https://webstore.iec.ch/publication/23183>.

International Electrotechnical Commission 2013. IEC 61427-1:2013 Secondary cells and batteries for renewable energy storage - General requirements and methods of test - Part 1: Photovoltaic off-grid application. Viitattu 23.1.2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/2074983b-615b-4212-a19e-f8388887bb7d/iec-61427-1-2013>.

International Energy Agency 2020. Innovation in batteries and electricity storage. A global analysis based on patent data. September 2020. Viitattu 20.4. 2023.

https://iea.blob.core.windows.net/assets/77b25f20-397e-4c2f-8538-741734f6c5c3/battery_study_en.pdf.

International Energy Agency 2023. Global EV Outlook 2023. Catching up with climate ambitions. Viitattu 9.9.2023.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/dacf14d2-eabc-498a-8263-9f97fd5dc327/GEVO2023.pdf>.

Johnson, J., Hoaglund, J.R., Trevizan, R.D. & Nguyen, T.A. 2021. Chapter 18. Physical security and cybersecurity of energy storage systems. Sandia National Laboratories. Viitattu 11.9.2023.

https://www.sandia.gov/app/uploads/sites/163/2021/09/ESHB_Ch18_Physical-Security_Johnson.pdf.

Kharmalova, N., Hashemi, S. & Træholt, C. 2021. Data-driven approaches for cyber defense of battery energy storage systems. Energy and AI. Vol 5, September 2021., 100095. Viitattu 15.4.2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546821000495>.

(<https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100095>)

Korpela, A. 2018. Suuren kokoluokan energianvarastointiteknologioiden teknistaloudelliset näkymät. Tampereen ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Raportteja 113. Hanke: Energian varastointiratkaisut osana uusiutuvan sähköenergian optimoitua käyttöä. Viitattu 6.1.2023.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/356233/Energianvarastointitekno-logioiden.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

kW-set Oy 2024a. DRUPS and RUPS equipment. Viitattu 25.3.2024.

<https://www.kwset.fi/en/emergency-power-solutions/drups-and-rups-equipment/>.

Laki eräiden tuotteiden markkinavalvonnasta 1137/2016. Viitattu 21.12.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161137>.

Laki pelastuslain muuttamisesta 436/2023. Viitattu 10.4.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230436>.

Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta 497/2023. Viitattu 15.9.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230497#Pidm45843170353888>.

Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista 629/2010. Viitattu 10.4.2024.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100629>.

Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista annetun lain muuttamisesta 720/2021. Viitattu 10.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210720>.

Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999. Viitattu 19.12.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) 132/1999. Viitattu 19.12.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Maluck, L. 2023. Kinetic powerpacks: How uninterruptible power supply systems work? mtu 11.10.2023. Viitattu 20.3.2024. <https://www.mtu-solutions.com/eu/en/stories/power-generation/ups-dups-and-a-lot-of-kinetic-energy-how-dynamic-uninterruptible-power-supply-systems-work.html>.

Marsh Commercial 2022. Battery energy storage systems fire risks explained. Viitattu 30.1.2023 <https://www.marshcommercial.co.uk/articles/battery-energy-storage-fire-risks-explained>.

Martins, R., Hesse, H., Jungbauer, J., Vorbuchner, T. & Musilek, P. 2018. Optimal Component Sizing for Peak Shaving in Battery Energy Storage System for Industrial Applications. Energies Nro 11, Vol 8:2048. Viitattu 30.3.2023.
https://www.researchgate.net/publication/326883090_Optimal_Component_Sizing_for_Peak_Shaving_in_Battery_Energy_Storage_System_for_Industrial_Applications. (DOI:10.3390/en11082048).

Murphy, R. & Lagercrantz 2024. Europe`s Great Battery Hope Northvolt Loses Power. Center of European Policy Analysis. Viitattu 21.10.2024.
<https://cepa.org/article/europes-great-battery-hope-northvolt-loses-power/>.

Mustafa, M.B., Keatley, P., Huang, Y., Agbonaye, O., Ademulegum, O.O. & Hewitt, N. 2021. Evaluation of a battery energy storage system in hospitals for arbitrage and ancillary services. Journal of Energy Storage, Vol 43, November 2021. Viitattu 6.1.2023.
[https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352152X21008835?token=500646B3FF4355A52D541927EE406434398506EA144A7E0DF2DC57E046B55F9CBE615A1F02DB9C6AB1D775E0481C5920&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230106140142.\(https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103183.\)](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352152X21008835?token=500646B3FF4355A52D541927EE406434398506EA144A7E0DF2DC57E046B55F9CBE615A1F02DB9C6AB1D775E0481C5920&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230106140142.(https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103183.))

National Fire Protection Association 2023. NFPA 855. Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems. Viitattu 25.1.2023.
<https://catalog.nfpa.org/NFPA-855-Standard-for-the-Installation-of-Stationary-Energy-Storage-Systems-P20704.aspx>.

Niemi, L. 2024. Kurimukseen joutunut Northvolt suunnittelee henkilöstönsä jättileikkausta. Helsingin Sanomat 23.9.2024. Viitattu 21.10.2024.
<https://www.hs.fi/talous/art-2000010715272.html>.

Ohnsman, A. 2023. A New `Glue` Could Make Lithium-Ion Battery Recycling Cheaper – And Less Toxic. Forbes 1.2.2023. Viitattu 17.2.2023.
<https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2023/02/01/a-new-glue-could-make-lithium-ion-battery-recycling-cheaper---and-less-toxic/?sh=74b929035da3>.

Ovaskainen, M., Paakkunainen, T. & Barcon, S. 2023. Main characteristics to consider in a BESS during the desing process. 2023 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC 2023). Ixtapa Mexico. Viitattu 21.11.2023. <https://meruspower.com/wp-content/uploads/2023/11/Merus-Power-Main-characteristics-to-consider-in-a-BESS-during-the-design-process-ROPEC-2023.pdf>.

Pelastuslaki 29.4.2011/379. Viitattu 10.4.2024.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>.

Pelastustoimi 2023. Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje. Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuus -työryhmä. Viitattu 30.1.2023.

https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkosähköjärjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf.

Raunio, J. & Lehto, J. 2022. Kajaanin tuulivoimaohjelma 2035. Loppuraportti. Kajaanin kaupunki. Viitattu 1.9.2023.

<https://www.kajaani.fi/tiedostot/tuulivoimaohjelman-loppuraportti-pdf/?1668179207>.

Roshan, S. 2021. A review over Fire Mitigation Methods for Li-ion BESS. Baker Engineering and Risk Consultants, Inc. Viitattu 15.9.2023.

<https://www.bakerrisk.com/wp-content/uploads/A-Review-of-Fire-Mitigation-Methods-for-Li-ion-BESS-11.12.21-003.pdf>.

Rytsy, A. 2022. Säätosähkömarkkinoille kaivataan lisää reservitoimittajia. Fingrid-lehti.fi 21.9.2022. Viitattu 15.9.2023.

<https://www.fingridlehti.fi/saatosahkomarkkinoille-kaivataan-lisaa-reservitoimittajia/>.

Schoenung, S., Borneo, D.R. & Schenkman, B. 2020. US. DOE Energy Storage handbook. Chapter 21. Energy Storage System Commissioning. U.S. Department of Energy. Energy Storage systems Program. Sandia National Laboratories. Viitattu 1.9.2023.

https://www.sandia.gov/app/uploads/sites/163/2021/09/ESHB_Ch21_Commissioning_Schoenung.pdf.

SESKO- Sähkötekniset standardit Suomessa 2023a. Muutoksia voimalaitosten liitännästandardeihin. Viitattu 19.12.2023. www.sesko.fi uutiset 23.11.2023.

<https://sesko.fi/muutoksia-voimalaitosten-liitannastandardeihin/>.

SESKO-Sähkötekniset standardit Suomessa 2023b. Standardoinnin aihealueita. SFS 6000 Uudistus 2022. Viitattu 21.12.2023.

<https://sesko.fi/standardointi/sahkoasennukset/sfs-6000-uudistus-2022/>.

SESKO- Sähkötekniset standardit Suomessa 2023c. Uusi versio sähkön laatustandardista julkaistu. SFS-EN 50160:2022 on myös käännetty Suomeksi.

<https://sesko.fi/uusi-versio-sahkon-laatustandardista-julkaistu/>.

SESKO Ry 2024. SK 21 Akut ja Energiavarastot. Viitattu 12.5.2024

<https://sesko.fi/komiteaesittelyt/sr-21-akut-ja-energiavarastot/>.

SFS Suomen standardit Ry 2018. SFS-EN IEC 62477-2:2018:en. Safety requirements for power electronic converter systems and equipment- Part 2: Power electronic converters from 1000 V AC or 1500 V DC up to 36 kV AC or 54 kV DC. Viitattu 12.5.2024.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/710374.html.stx>.

SFS Suomen Standardit Ry 2019a. SFS-EN IEC 61000-6-1:2019. Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 6-1: Generic Standards -Immunity standards for residential, commercial and light-industrial environments Viitattu 10.12.2023.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/749518.html.stx>.

SFS Suomen Standardit Ry 2019b. SFS-EN IEC 62443-3-3:2019: en. Industrial communication networks- Network and system security – Part 3-3: System security requirements and security levels.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/764470.html.stx>.

SFS Suomen Standardit Ry 2019b. SFS-EN IEC 62443-3-3:2019: en. Industrial communication networks- Network and system security – Part 3-3: System security requirements and security levels.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/764470.html.stx>.

SFS Suomen Standardit ry 2022. SFS-EN IEC 62619:2022:en. Viitattu 10.12.2023. Secondary Cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes- Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/1134310.html.stx>.

SFS Suomen Standardit Ry 2023. SFS-EN 50600-2-4:2023. Tietotekniikka. Datakeskuksen varustelut ja infrastruktuurit. Osa 2-4: Tietoliikennekaapeloinnin infrastruktuuri.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/5/1278124.html.stx>.

SFS Suomen standardit Ry 2023a. SFS-EN IEC 62477-1:2023:en. Safety requirements for power electronic converter systems and equipment- Part 1:General. Viitattu 12.5.2024.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/710374.html.stx>

SFS 6000-7-710:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7–710: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Lääkintätilat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Viitattu 7.1.2023.

<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSSahko/SFS/ID2/6/1141194.html.stx>.

Shen, Y. 2022. UL 1642 Lithium Batteries Standard: An Overview. Compliance Gate 14.9.2022. Viitattu 1.2.2023. <https://www.compliancegate.com/ul-1642/>.

Shepard, J. 2022. What battery chemistries are used in grid-scale energy storage? Battery Power Tips 5.6.2022. Viitattu 6.1.2023. <https://www.batterypowertips.com/what-battery-chemistries-are-used-in-grid-scale-energy-storage-faq/>.

Solovev, A. 2021. BESS-proaktiivinen energianhallintaratkaisu. Viitattu 7.1.2023. <https://www.digikey.fi/fi/articles/bess-a-solution-to-manage-energy-proactively>.

Solovev, A. & Petrova, A. 2021. Efficient Energy Management and Energy Saving with a BESS (Battery Energy Storage System). Integra Sources. Viitattu 6.1.2023. <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>.

ST-Käsikirja 31 2019. Varavoimakoneet ja laitokset. Sähkötieto Ry. Kirjapaino Grano Oy, Tampere. Espoo 2019.

ST 52.35.02 2010. UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Espoo. Sähkötieto Ry.
Suomen standardoimisliitto SFS Ry 2023. CE-merkintä. Viitattu 18.12.2023. <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/ce-merkinta/>.

Sähkömarkkinalaki 588/2023. Viitattu 18.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>.

Säköturvallisuuslaki 1135/2016. Viitattu 21.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>.

Tran, M-H., Mevawalla, A., Aziz, A., Panchal, S., Xie, Y. & Fowler M. 2022. A Review of Lithium-Ion Battery Thermal Runaway Modeling and Diagnosis Approaches. Processes 10, 1192. Viitattu 12.2.2023. <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/6/1192>. (<https://doi.org/10.3390/pr10061192>).

Trevizan, R.D., Obert, J., De Angelis, V., Nguyen, T.A., Rao, V.S. & Chalamala, B.R. 2022. Cyberphysical Security of Grid Battery Energy Storage Systems. IEEE Acces

Vol 10 2022. Viitattu 14.4.2023.

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9787060>. (DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3178987)

TROES corp 2023a. Battery Storage Systems (BESS). Viitattu 20.1.2023.

<https://troescorp.com/battery-energy-storage-system/>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2015. ATEX Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. Viitattu 1.4.2024.

<https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/ATEX+r%C3%A4j%C3%A4hdysvaarallisten+tilojen+turvallisuus/310d29f5-57bc-431a-90e5-27bf0b6e0f8d?version=1.0>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023a. CE-merkintä. Viitattu 18.12.2023.

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#18056885>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023b. Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit_Luettelo S10-2023. Viitattu 20.12.2023.

<https://tukes.fi/documents/5470659/8178747/Luettelo+S10-2023+Sähkölaitteistojen+turvallisuutta+ja+sähkötyöturvallisuutta+koskevat+standardit.pdf/c590f409-f6b8-83ce-08a3-bcfff12ae1b8/Luettelo+S10-2023+Sähkölaitteistojen+turvallisuutta+ja+sähkötyöturvallisuutta+koskevat+standardit.pdf?t=1672732633144>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2024a. Akut ja paristot. Viitattu 1.4.2024.

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkolaitteiden-vaatimuksia/akut-ja-paristot>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2024b. Räjähdyksvaaralliset tilat. Viitattu 1.4.2024.

<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat>.

Tvete, H.A., Hill, D. & Hildre, T. 2023 Are solid-state batteries the holy grail for 2030? Det Norske Veritas. Viitattu 1.2.2023

<https://www.dnv.com/to2030/technology/are-solid-state-batteries-the-holy-grail-for-2030.html>.

UL Solutions 2024. UL 9540A Test Method. Viitattu 3.1.2024

<https://www.ul.com/services/ul-9540a-test-method>.

Underwriters Laboratories 2022. UL 1973. ANSI/CAN/UL Batteries for Use in Stationary and Motive Auxiliary Power Applications. GlobalSpec Engineering 360

25.2.2022. Viitattu 1.2.2023.

<https://standards.globalspec.com/std/14497961/1973>.

Underwriters Laboratories 2021. UL Standard. Overview of Lithium Battery Safety Testing-UL 1973. EverExceed 24.12.2021. Viitattu 30.1.2023.

https://www.everexceed.com/overview-of-lithium-battery-safety-testing-ul-1973_n433.

U.S Department of Energy 2022. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Cobalt is the Most Expensive Material Used in Lithium-ion battery Cathodes. Viitattu 9.9.2023. <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1228-march-7-2022-cobalt-most-expensive-material-used-lithium-ion>.

U.S Department of Energy 2023a Battery Energy Storage System Procurement Checklist. Federal Energy Management Program. Viitattu 13.4.2024.

<https://www.energy.gov/femp/articles/battery-energy-storage-system-procurement-checklist>.

Valmiuslaki 1552/2011. Viitattu 26.2.2024

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20111552>.

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016. Viitattu 21.12.2023.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434>.

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta 1437/2016. Viitattu 22.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161437>.

Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 520/2014. Viitattu 22.12.2023.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140520>.

Westwood 2021. 4 Requirements You May Be Missing on Your Battery Energy Storage System (BESS) Project. Viitattu 15.9.2023.

<https://westwoodps.com/recent-blog-posts/4-requirements-you-may-be-missing-your-battery-energy-storage-system-bess-project>.

World Bank Group 2020. Economic Analysis of Battery Energy Storage Systems. Clean Energy Global Solutions Group Energy & Extractives Global Practice. Viitattu 15.3.2023.

<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/74e7025c-ec3c-5c23-8816-1e10d32a327a/content>.

Xavier, L.S., Amorim, W.C.S., Cupertino, A.F., Mendes, V.F., do Boaventura, W.C. & Pereira, H.A. 2019 Power converters for battery energy storage systems connected to medium voltage systems: a comprehensive review. *BMC Energy* 1, Article Number 7 (2019). Viitattu 22.2.2023.

<https://bmcenergy.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42500-019-0006-5>.

(<https://doi.org/10.1186/s42500-019-0006-5>).

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 Viitattu 22.12.2023.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848#Pidm46651395700096xxxxx>.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 927/2020. Viitattu 22.12.2023.

<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200927>.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. Viitattu 22.12.2023.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>.

Zhang, Y., Anvari-Moghaddam, A., Peyghami, S., Dragicevic, T., Li, Y., & Blaabjerg, F. 2022. Optimal Sizing of Behind -the-Meter BESS for Providing Stackable Services. Conference Paper. Conference: 2022 IEEE 13th international Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG). October 2022 at Kiel, Germany. Viitattu 1.12. 2023.

https://www.researchgate.net/publication/364734439_Optimal_Sizing_of_Behind-the-Meter_BEES_for_Providing_Stackable_Services. (DOI: 10.1109/PEDG54999.2022.9923222.).

LIITTEET

Liite 1. Lyhennelmät keskeisimmistä akkupohjaisia energiavarastoja koskevista EU-direktiiveistä

Liite 2. Lyhennelmät keskeisimmistä akkupohjaisiin energiavarastoihin liittyvistä kansallisista laeista ja valtioneuvoston asetuksista

Liite 3. Lyhennelmät keskeisimmistä sähköturvallisuus- ja sähkötyöturvallisuusstandardeista 2023

Liite 4. Esimerkkejä keskeisimmistä standardeista, jotka liittyvät akkupohjaisiin energiavarastoihin.

Liite 5. Lyhennelmät keskeisimmistä Yhdysvalloissa käytössä olevista akkujen turvallisuuteen liittyvistä standardeista.

Liite 1. Lyhennelmät keskeisimmistä akkupohjaisia energiavarastoja koskevista EU-direktiiveistä

Direktiivi 2014/35/EU	Pienjännite direktiivi. Direktiivi käsittää sähkölaitteiden olennaisia turvallisuusvaatimuksia, vaatimuksen mukaisuuden arviointimenettelyä ja teknisiä asiakirjoja, EU:n vaatimuksenmukaisuus vakuutuksen sekä sähkölaitteiden vaatimuksenmukaisuus oletettaman antavia standardeja, sekä standardien soveltamisjärjestyksen. Direktiivin tavoitteena on varmistaa markkinoilla olevien sähkölaitteiden turvallisuus omaisuudelle, ihmisille sekä kotieläimille. Sähkölaitteen valmistaja vastaa pienjännitedirektiivin vaatimusten noudattamisesta. ((Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/35/EU)
Direktiivi 2014/30/EU	EMC-direktiivi sähkölaitteiden ja laitteistojen sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevista olennaisista vaatimuksista, vaatimuksen mukaisuuden arviointimenettelystä, teknisistä asiakirjoista, EU:n vaatimuksen mukaisuus vakuutuksesta ja merkinnöistä. Akkupohjaiset energia varastot (BESS) sisältävät sähköisiä elektronisia komponentteja, joiden on noudatettava tätä direktiiviä sähkömagneettisen yhteensopivuuden varmistamiseksi. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/30/EU)
Direktiivi, 2006/66/EY	Paristo ja akkudirektiivi. Käsittelee akkujen markkinointia ja kierrätystä EU:n markkinoilla. Direktiivi kattaa paristojen merkitsemisen, keräyksen, käsittelyn sekä kierrätyksen. Direktiivi keskittyy pääasiassa paristojen ja akkujen ympäristönäkökohtiin. Direktiivi koskettaa akustoja sisältävien energianvarastoja (BESS), koska BESS järjestelmät pitävät sisällään suuria akustoja. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/66/EY)
Direktiivi 2014/34/EU	ATEX-direktiivi, käsittelee räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävien laitteiden ja suojajärjestelmien vaatimuksenmukaisuuden osoittamista. Direktiivin tarkoitus on

	<p>suojella ihmisten ja työntekijöiden turvallisuutta ja terveyttä. Direktiivi kattaa myös kotieläinten ja omaisuuden suojelun vaatimukset. Valitun akkuteknologian mukaan, direktiivi voi tulla kysymykseen akkupohjaisten energia varastojen (BESS) kohdalla, mikäli järjestelmässä olevassa akustossa tapahtuu vikatilanteessa prosessi, jossa vapautuu syttyviä tai räjähdysherkkiä kaasuja. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/34/EU)</p>
EU asetus (EU) 2023/1542	<p>Paristo- ja akkudirektiivin 2006/66/EU korvaava akkuasetus, jonka soveltaminen alkaa 18.2.2024. jaottelee akustot ja paristot eri luokkiin käyttötarkoituksen perusteella. Rajoittaa elohopean, kadmiumin ja lyijyn käyttöä akustoissa, asettaa uusia merkintävaatimuksia mm. CE-merkinnästä sekä vaadittavasta EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta (Euroopan komissio 2023c)</p>
Direktiivi 2014/53/EU	<p>Radiolaitedirektiivi. Käsittelee vaatimuksia radiolaitteiden, mukaan lukien akkukäyttöisten ja langattomia viestintä rajapintoja käyttävien laitteiden myyntiin ja käyttöön Euroopan unionin alueella. Akkupohjaiset energiavarastot (BESS) voivat sisältää langattomia viestintärajapintoja, jotka voivat kuulua tämän direktiivin soveltamisalaan. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/53/EU)</p>

Liite 2. Lyhennelmät keskeisimmistä akkupohjaisiin energiavarastoihin liittyvistä kansallisista laeista ja valtioneuvoston asetuksista

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016	Sähköturvallisuuslain 1135/2016 tehtävänä on varmistaa sähkölaitteen tai -laitteiston käytön turvallisuus. Lain tarkoitus on turvata sähkölaitteiden vapaa liikkuvuus ja laitteistojen vaatimuksen mukaisuus. Laissa määritellään sähkölaitteelle ja -laitteistolle asetetut vaatimukset, vaatimusten osoittaminen ja valvonta. Laki käsittelee asetetut vaatimukset liittyen sähköalan työhön, sen valvontaan sekä sähkölaitteen tai -laitteiston haltijan vahingonkorvausvelvollisuudesta (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016)
Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016	Asetus 1434/2016 säätää Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2014/30/EU eli EMC direktiivin käyttöönotosta. Asetus käsittelee soveltamisalaan kuuluvien sähkölaitteiden ja laitteistojen sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevia olennaisia vaatimuksia, vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä, vaadittavia teknisiä asiakirjoja ja vaadittavan EU vaatimustenmukaisuus vakuutusta ja laitteistoon tehtäviä merkintöjä. (Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016)
Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 520/2014	<p>Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 520/2014 perustuu Euroopan Parlamentin ja neuvoston direktiiveihin 2006/66/EY, 2008/103/EY ja 2013/56/EU sekä komission päätökseen 2008/763/EY</p> <p>Valtioneuvoston asetus 520/2014 kattaa paristojen merkitsemisen, keräyksen, käsittelyn sekä kierrätyksen. Asetuksen tarkoituksena on vähentää akkujen ja paristojen haitallisuutta sekä edistää käytöstä poistettujen akkujen kierrätystä. Asetusta sovelletaan paristoon tai akkuun sen tilavuudesta, muodosta, painosta, koostumuksesta tai käyttötarkoituksesta riippumatta. Valtio neuvoston asetus on merkityksellinen koska BESS järjestelmät pitävät sisällään suuria akustoja. (Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 520/2014)</p>

<p>Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta 1437/2016</p>	<p>Pitää sisällään Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2014/35/EU, eli ns. pienjännittdirektiiviin vaatimukset. Merkittävänä kohtana on asetuksen 7 § ja 8 §, jossa käsitellään vaatimuksenmukaisuus oletettaman täyttymistä tapauksessa, jossa tarvittavia yhdenmukaistettuja standardeja ei ole vielä laadittu, tai julkaistu. Tällöin sähkölaitteen katsotaan täyttävän sähköturvallisuus lain 12 §:n mikäli sähkölaite on kansainvälisen standardoimisjärjestön (IEC) vahvistamien kansainvälisten standardien turvallisuus säännösten mukainen, tai se on valmistettu ETA-sopimuksen sopimuspuolena olevassa valtiossa, ja valmistuksessa on noudatettu sellaisia valmistaja maassa olevia standardeja, jolla taataan vastaava turvallisuuden taso, mitä Suomessa vaaditaan. (Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta 1437/2016)</p>
<p>Laki eräiden tuotteiden markkinavalvonnasta 1137/2016</p>	<p>Laki erityisten tuotteiden markkinavalvonnasta. Lailla valvotaan markkinoille saatettujen ja laitteiden vaatimuksen mukaisuutta. Laki on merkityksellinen tarkasteltaessa akkupohjaisia energiavarastoja (BESS), koska laki koskettaa laitteita, jotka ovat mittauslaitelain (707/2011), räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojajärjestelmien vaatimusten mukaisuudesta annetun lain (1139/2016) ja sähköturvallisuuslain (1135/2016) alaisia. (Laki eräiden tuotteiden markkinavalvonnasta 1137/2016)</p>
<p>Valmiuslaki 1552/2011</p>	<p>Valmiuslain tarkoituksena on poikkeusoloissa turvata väestön toimentulo, maan talouselämä, turvata oikeusjärjestelmän toiminta, turvata kansalaisten perusoikeudet ja ihmisoikeudet samalla huolehtien alueellisesta koskemattomuudesta ja itsenäisyydestä. Akkupohjaiset energiavarastot ovat osa sähköverkon kriittistä infrastruktuuria. Akkupohjaisia energiavarastoja voidaan käyttää eri yhteiskunnan kriittisten järjestelmien toiminnan turvaamiseen, siksi järjestelmien käytöllä voidaan varautua valmiuslain määrittelemiin poikkeustilanteisiin. (Valmiuslaki 1552/2011)</p>
<p>Maankäyttö ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) 132/1999)</p>	<p>Määrittelee rakentamiseen liittyvät säädökset. Laki ohjaa kunnat edelleen ohjeistamaan rakentamista asemakaavoilla, rakennusjärjestyksellä ja rakennustapaohjeilla. Maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa kuntien rakennusjärjestyksiä, joissa edelleen määritellään, milloin rakentamiseen tarvitaan rakentamis- tai</p>

	toimenpidelupa (Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) 132/1999)
Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999)	Käsittelee rakentamiseen liittyvää maankäytön suunnittelua, alueen kaavoituksen suunnitelman laadintaa sekä kaavoituksen voimaansaatto prosessia. Asetus käsittelee mm. rakentamisen luvan varainsuutta, lupa- ja valitusmenettelyä, rakennustyön suorittamisen valvontaa, sekä luvan poikkeusmenettelyä. (Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999)
Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 927/2020)	Käsittelee rakennuksen paloluokituksen määrittelyä käyttötarkoituksen ja palokuorman perusteella. Asetus käsittelee vaatimuksia tulipalon estämiseen, rajoittamiseen, palon leviämisen estämiseen ja tiloissa olevien henkilöiden suojaamiseen ja poistumisen mahdollistamiseen tulipalon sattuessa. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017; Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 927/2020)
Ympäristönsuojelulaki 527/2014	Lain tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista, vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumista aiheuttavia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja turvaten terveellinen, viihtyisä sekä luonnon taloudellisesti kestävä monimuotoinen ympäristö. Ympäristönsuojelulaki asettaa säännökset ympäristönsuojelulle, ottaen huomioon jätehuollon sekä vaarallisten aineiden käsittelyn. Laki on merkityksellinen akkupohjaisten energiavarastojen (BESS) akustojen kierrätyksen osalta niiden käyttöänsä päätyttyä, sekä suunniteltaessa akkupohjaisen energiavaraston (BESS) fyysistä sijoittamista ja alueen viemäröintiä tilanteessa, jossa järjestelmässä tapahtuu vakava toimintahäiriö, jolloin joudutaan tarvittaessa käyttämään suuria määriä vettä akuston lämpökarkaamisprosessin tai tulipalon pysäyttämiseen. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014)
Pelastuslaki 379/2011 Laki pelastuslain muuttamisesta 436/2023	Lain tavoitteena on parantaa kansalaisten turvallisuutta ja vähentää onnettomuuksia. Laki ohjaa ihmisten pelastamiseen, yhteiskunnalle tärkeiden toimintojen turvaamiseen samalla minimoiden ympäristölle, ihmisille ja omaisuudelle aiheutuvaa haittaa. Laki määrää tarkastuksia sammutus-, pelastus- ja torjuntakalustolle, palonilmaisuihin, hälytys- sekä muille vaaraa

	<p>ilmaiseville laitteille, rakennuksissa oleville poistumisreittien opasteille ja valaistukselle. Varavoimajärjestelmä turvaa yllä mainittujen järjestelmien toimintaa, jolloin laki asettaa velvoitteita myös varavoimajärjestelmän huolloille ja ylläpidolle. (Pelastuslaki 379/2011;</p> <p>Laki pelastuslain muuttamisesta 436/2023</p>
<p>Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista 629/2010</p> <p>Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista annetun lain muuttamisesta 720/2021</p>	<p>Laki käsittää laitteiden turvallista käyttöä, vaadittua laitteistojen ohjeistusta, laitteistojen säätöä, ylläpitoa ja huoltoa, jotka tulee suorittaa valmistajan ohjeistuksen mukaisesti.</p> <p>Varavoimajärjestelmä turvaa potilaan, potilasta hoitavan terveydenhuollon ammattilaisen ja terveydenhuollossa käytettävien laitteistojen toimintaa, näin turvaten laitteistojen oikeellista ja turvallista käyttöä potilaiden kanssa. (Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista 629/2010; Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista annetun lain muuttamisesta 720/2021)</p>
<p>Sähkömarkkinalaki 588/2013</p> <p>Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta 497/2023</p>	<p>Sähkömarkkinalain tarkoituksena on varmistaa edellytykset tehokkaasti, varmasti ja kestävästi toimiville kansallisille alueellisille sähkömarkkinoille, turvaten hyvä sähkön toimitusvarmuus, kilpailukykyinen sähkön hinta ja kohtuulliset palvelueriaatteet loppukäyttäjille. Sähkömarkkinalaki käsittelee sähköverkkotoiminnan luvanvaraisuutta, sähköverkkojen rakentamista, kantaverkkoa ja kantaverkon haltijaa koskevia säännöksiä, jakeluverkkoa ja jakeluverkon haltijaa koskevia säännökset, sähkömarkkinoilla toimivien tahojen velvollisuuksia, ja sähkösopimuksia. Laki tarkastelee Suomen sähkömarkkinoita sisältäen sähköntuotantoa, -siirtoa, -jakelua ja -toimitusta koskevat määräykset.</p> <p>Akkupohjaisen energiavarastojen (BESS) kannalta merkityksellinen laki sähkömarkkinalain muuttamisesta 497/2023 loi mahdollisuuden uusien toimijoiden pääsyyllä säätöreservi markkinoille, jolloin sähköverkkoon liitettyä akkupohjaista energiavarastoa (BESS) on mahdollista käyttää esimerkiksi nopeana säätöreservin toimittajana.</p> <p>Sähkömarkkinalaki määrittelee akkupohjaisen energiavarastoille (BESS) asetetut vaatimukset koskien rekisteröintiä sähköntuottajaksi tai -jakelijaksi, sekä verkon liittymisvaatimukset ja lupavelvoitteet. (Sähkömarkkinalaki 588/2013; Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta 497/2023)</p>

Liite 3. Lyhennelmät keskeisimmistä sähköturvallisuus- ja sähkötyöturvallisuusstandardeista 2023

SFS 6000 (2022)	Pienjännitesähköasennukset, koostuu standardi sarjasta pitäen sisällään 41kpl erillistä standardia. Akkupohjaisiin energia varastoihin liittyen sähköteknisistä standardeista tärkeimpinä nousee esiin Standardisarja SFS 6000, pienjänniteasetukset 2022 (SESKO-Sähkötekniset standardit Suomessa 2023b.)
SFS 6001 (2018a)	Suurjänniteasennukset (Suomen Standardoimisliitto SFS Ry 2018a)
SFS-EN 60079-14 (2015) + AC (2016)	Räjähdyksvaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen
SFS-käsikirja 604-2 (2021) Luku 3	Räjähdyksvaaralliset tilat. Osa 2: Sähköasennukset, tarkastus ja huolto, Luku 3: Räjähdetilat
SFS-EN IEC 62485-2 (2018)	Akkujen ja akkuasennusten turvallisuus vaatimukset. Osa 2: Paikallisakut (Vastaa tekniseltä sisällöltään standardia SFS-EN 50272-2, 2001)
SFS-EN 50191 (2011)	Sähköisten testausjärjestelmien asennus ja käyttö
SFS 6002 (2015) + A1 (2018)	Sähkötyöturvallisuus vaatimukset
SFS-EN-IEC 62619:2022	Standardit sisältää yleiset turvallisuusvaatimukset ja testausmenetelmät sekundäärisille litiumioni kennoille ja akuille teollisissa sovelluksissa. Standardi kattaa esimerkiksi kennostojen tai akustojen sähkö turvallisuuden, ympäristö testauksen, suorituskykyvaatimukset sekä vaatimukset mekaanisen eheyden osalta. Standardi kattaa akusto, joita käytetään kiinteissä asennuksissa, esimerkiksi keskeytymättömiä virtalähteissä (UPS), energian varastointijärjestelmissä, hätävirran syöttöjärjestelmissä sekä muissa vastaavissa sovelluksissa.

(Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2023b.)

Liite 4. Esimerkkejä keskisimmistä standardeista, jotka liittyvät akkupohjaisiin energiavarastoihin.

SFS-EN IEC 61000-6-1:2019	Standardi koskee sähkö- ja elektroniikkalaitteita, jotka ovat tarkoitettu käytettäväksi kaupallisessa, kevyenteollisuuden tai asuinympäristössä. Standardi kattaa suojaus häiriön suojaus vaatimukset sähkö- tai elektroniikkalaitteistoille, jotka toimivat taajuus alueella 0Hz - 400GHz. Tätä yleistä EMC- standardia voidaan soveltaa, mikäli erityistä tuotetta tai muuta perhettä ei ole katettu toisella kohdistetulla standardilla. (SFS Suomen standardit ry 2019)
IEC 62133-2:2017	Standardi määrittelee valmistajille litiumioniakkukkenojen testauksen, erilaisia kennostojen käyttövirheitä, poikkeamia, tai ulkoista rasitusta tai vauriota kohtaan. Standardi yksinkertaistaa vaatimuksia valmistajien vientiin ja markkinoille saatettavien menevien litiumioni akkukkenojen kennojen testaamiseen.
IEC 62933-1:2018	Standardi määrittelee energian varastointijärjestelmissä (BESS) käytettävän terminologian, symbolit, lyhenteet sekä määrittelmät. Standardi kattaa akkupohjaisten energia varastojen (BESS) määrittelyn testauksen, suunnittelun, asennukset, turvallisuuden ja ympäristö näkökulman. Standardin tarkoituksena on tarjota yhteinen kieli ja kehys energian varastointijärjestelmiä mukaan lukien, energia varastoissa käytettäviä litiumioni akustoja koskien.(International Electrotechnical Commission 2018.)
IEC 61427-1:2013 ja IEC 61427-2:1015	Nämä standardit kattavat verkkoon liitetyn aurinko energian järjestelmän yhteydessä käytetyn energiavaraston akustojärjestelmän suunnittelun, rakentamisen, testauksen ja järjestelmässä käytettävän akuston suorituskyvyn arvioinnin. Standardit kattavat kaiken tyyppiset

	akustot, mukaan lukien litiumioni akustot. (International Electrotechnical Commission 2013)
SFS-EN IEC 62477-1:2023	Standardi käsittelee tehoelektronikalla toteutettuja sähkön muunnin järjestelmiä eli Power Electronics Converter Systems (PECS) järjestelmiä. Järjestelmien käyttämiä kaikkia lisävarusteita sekä järjestelmiä, joita käytetään elektroniseen tehonmuunnokseen tai kytkentään, Standardi kattaa ohjausjärjestelmät, suojausvaatimukset, toiminnan valvonnan ja mittauksen, koskien myös järjestelmiä, joissa käytetään radioaaltoja viestintää järjestelmän toimintaa varten. Standardi koskettaa kaikkia elektronisia muuntojärjestelmiä, joiden nimellijännite ei ylitä 1000 VAC tai 1500 VDC. Standardi on relevantti akkupohjaisissa energia varastoissa (BESS) käytetyn kaksisuuntaisen muuntimen Power Conversion System (PCS) vuoksi, joka muuntaa akuston tasajännitteen vaihtojännitteeksi järjestelmän luovuttaessa energiaa verkkoon ja takaisin vaihtojännitteestä tasajännitteeksi, kun energia varasto akustoa ladataan. (SFS Suomen standardit Ry 2023a)
SFS-IEC 62443-2-1:2013	IEC 62443 standardi sarja käsittelee automaatio ja ohjausjärjestelmissä tarvittavaa tietoturvallisuus ohjelman luomista. Standardi on jaettu osiin ja se kuvaa kyberturvallisuuteen liittyviä teknisiä ja prosessiin liittyviä näkökohtia, mukaan lukien operaattori, toiminnan integrointi ja ylläpitopalveluiden tarjoajat sekä tietoliikenne verkkojen, ohjelmistojen, fyysisten komponenttien järjestelmien valmistajat sekä palvelujen tarjoajat. Standardin tarkoituksena on luoda lähestymistapa turvallisuus riskinen ehkäisemiseksi ja hallitsemiseksi omassa toiminnassaan. Standardi sarja on relevantti akkupohjaisten energiavarastojen (BESS) tapauksessa, koska se tarjoaa ohjeita verkkojärjestelmien ja viestirajapintojen turvaamiseen käytettäessä internettiä tiedonsiirrossa. (SFS Suomen standardit Ry 2023)

SFS-EN 50549-1:2019	Standardi käsittää pienjännitejakeluverkon rinnalle kytkettyjen sähköntuotantolaitosten tekniset vaatimukset toimintaparametreille ja suojaustoiminnoille. Standardi koskettaa kaikkia laitoksia, jotka muuttavat energian vaihtosähköksi riippumatta primäärienergian lähteestä tai paikallisesta kuormasta, kun laitos on kytketty toimimaan pienjänniteverkon rinnalla. (SESKO- Sähkötekniset standardit Suomessa 2023a)
SFS-EN 50549-2:2019	Standardi esittää vaatimukset keskijänniteverkon rinnalle kytkettyjen sähköntuotantolaitosten tekniset vaatimukset toimintaparametreille ja suojaustoiminnoille. Standardi koskettaa kaikkia laitoksia, jotka muuttavat energian vaihtosähköksi riippumatta primäärienergian lähteestä tai paikallisesta kuormasta, kun laitos on kytketty toimimaan pienjänniteverkon rinnalla. (SESKO- Sähkötekniset standardit Suomessa 2023a)
SFS-EN 50160:2022	Standardi määrittelee jakeluverkkoon kytkettävien sähköntuottajien jakelujännitteen laatuvaatimuksia. Kyseinen standardi on merkityksellinen koska BESS järjestelmään syöttämän verkkojännitteen on täytettävä verkkojännitteelle asetetut laatuvaatimukset. (SESKO- Sähkötekniset standardit Suomessa 2023c)
SFS-EN 50600-2-4:2023	Standardi käsittelee datakeskusten Standardin 50173–5 mukaisen tietoliikenne verkkojen kaapeloinnin rekenne ja suunnitteluperiaatteita, paikoissa, joissa on otettava standardin EN 50600-1 mukainen fyysinen suojaus ja käytettävyyden luokitukset. Standardi on sovellettavissa Akkupohjaisiin energiavarastoihin koska se käsittää tietoliikenne kaapeloinnin, joilla valvotaan ja hallitaan tehonsyöttöä, ympäristö olosuhteita ja fyysistä turvallisuutta. Standardi käsittää tietoliikenne kaapeloinnin infrastruktuurin, johdotuksen, johtotieturvallisuuden, tilojen ja koteloinnin toteutukseen liittyvät vaatimukset. tietoliikenne

	<p>verkkojen turvallisuuteen liittyvät vaatimukset tai EMC-suojaukset eivät kuulu standardin piiriin. Standardi on relevantti akkupohjaisten energia varastojen (BESS) kohdalla, koska niiden toimintaa valvotaan, ohjataan ja järjestelmien osa komponentteja päivitetään tietoliikenneverkon kautta. (SFS Suomen standardit Ry 2023)</p>
IEC-61850	<p>Standardi IEC 61850 tehtävänä on yhdenmukaistaa ja luoda sähkön jakelujärjestelmässä toimiville älylaitteille yhteinen kommunikaatio kieli, joka mahdollistaa laitteiden yksinkertaistetun asennukseen, nimeämiseen samalla luoden käytännöt data- ja tiedonsiirto palveluille standardoitu mallilla, joilla voidaan varmistaa eri laitevalmistajien laitteiden yhteen sopivuus. IEC 61850 perustuu Ethernet teknologiaan, jossa järjestelmän arkkitehtuuri on avoin ja sovellettavissa erilaisiin tarpeisiin sähköasemien automatisointia varten. Standardissa huomioidut turvallisuus näkökohdat ovat suunniteltuja sähkönjakelu verkkoa silmällä pitäen, koskettavat ne näin myös verkkoon kytkettyjä BESS-järjestelmiä. (ABB 2024)</p>
IEC 62351 Standardi sarja	<p>IEC 62351 standardi sarja antaa yksityiskohtaisia neuvoja, kuinka suojata energian hallinta järjestelmien sähköisen viestinnän turvallisuus käyttäen yleisesti käytettyjä tiedonsiirto protokollia. Standardi käsittelee myös järjestelmä arkkitehtuuria sekä tuo esiin joukon tehokkaita vastatoimia, joita voidaan soveltaa tietojen luottamuksellisuuden, eheyden ja saatavuuden turvaamiseksi käytettäessä eri tiedonsiirto protokollia.</p> <p>Akkupohjaisten energiavarastojen (BESS) ohjaus ja valvonta tapahtuu internetin välityksellä, jolloin tiedonsiirto eheys, saatavuus ja luottamuksellisuus BESS järjestelmän ja järjestelmää valvovan keskuksen välillä tulee olla taattua. (International Electrotechnical Commission 2023)</p>

IEC 62477-2:2018	<p>Standardi käsittelee tehoelekroniikalla toteutettuja sähkön muunnin järjestelmiä eli Power Electronics Converter Systems (PECS) järjestelmiä. Järjestelmien käyttämiä kaikkia lisävarusteita sekä järjestelmiä, joita käytetään elektroniseen tehonmuunnokseen tai kytkentään, Standardi kattaa ohjausjärjestelmät, suojausvaatimukset, toiminnan valvonnan ja mittauksen, Standardi koskettaa kaikkia elektronisia muuntojärjestelmiä, joiden nimellisjännite ei ylitä 1000 VAC tai 1500 VDC - 36kV AC tai 54 kV DC Standardi on relevantti akkupohjaisissa energia varastoissa (BESS) käytetyn kaksisuuntaisen muuntimen Power Conversion System (PCS) vuoksi, joka muuntaa akuston tasajännitteen vaihtojännitteeksi järjestelmän luovuttaessa energiaa verkkoon ja takaisin vaihtojännitteestä tasajännitteeksi, kun energia varasto akustoa ladataan. (SFS Suomen standardit Ry 2018)</p>
SFS-EN IEC-62443-3-3:2019	<p>Standardi antaa ohjeita kyberturvallisuus riskien arvioinnin tekemiseen teollisuuden automaatio ja ohjaus järjestelmille. Standardi antaa tekniset vaatimukset, kuinka on mahdollista vastata ja minimoida nykyiset, tai tulevaisuudessa esiin nousevat turvallisuus riskit käytössä oleville automaatio ja kontrolli järjestelmille. Standardissa esitettyjen periaatteiden käyttöönotto ja noudattaminen auttaa tunnistamaan ja vähentämään kyberturvallisuusriskejä, mukaan lukien akkupohjaisten energia varastojen (BESS) ohjaus ja kontrolli järjestelmät. (SFS Suomen Standardit 2019b)</p>

Liite 5. Lyhennelmät keskeisimmistä Yhdysvalloissa käytössä olevista akkujen turvallisuuteen liittyvistä standardeista.

NFPA 855	Standardi sisältää kattavasti paikallaan olevien energian varastointijärjestelmien asentamisen, sijoittelun, muista järjestelmistä erottamisen, BESS-järjestelmän sammutus järjestelmät, tuuletus järjestelmät, merkitsemisen ja varoitusjärjestelmät, tulipalolta suojaamisen ja yhteistyön ja huomioitavat seikat pelastustoimeen liittyen. (National Fire Protection Association 2023)
UL 9540A	Standardi sisältää testausmetodin, joilla standardoidaan akku järjestelmien paloturvallisuus kenno tasolta aina järjestelmä tasolle saakka. Standardi mahdollistaa eri valmistajien akku järjestelmien yhdenmukaisen testaamisen. Testissä akkukennostoa rasitetaan ylikuumenemisella ja testataan paloturvallisuuden kannalta. Testaamisessa tarkastellaan järjestelmän valmistajien mahdollisuuksia rajoittaa akuston turvamekanismien pettämistä litiumioni kennosta kennoon tapahtuvana prosessina. Tutkimuksessa selvitetään sama prosessi myös akkumoduulista-akkumoduuliin, räkki ja aina järjestelmä tasolle. Testaamismetodi tuottaa paljon tietoa litium-ion akustojen ohjauksesta vastaavien BMS-järjestelmien kehitys, tutkimus ja viranomaisten käyttöön, ja tietoa voidaan käyttää myös rakennettaessa järjestelmiä spesifisiin paikkoihin, esimerkiksi tiivistä asuttuun kaupunki ympäristöön. (Brazis ym. 2018.)

	<p>Underwriters Laboratories Standardi on luotu akkupohjaisten energia järjestelmien luotettavuuden lisäämiseksi, ja järjestelmien suorituskyvyn turvaamiseksi eri käyttö sovelluksissa. Standardi on yhä enemmän eri akkuvalmistajien käytössä oleva, standardilla osoitetaan markkinoille tulevien akku moduulien turvallisuus aina kenno tasolta useita moduuleita sisältäviin akku kaapistoihin. Vaikka UL9540A ei ole IEC-standardi se on noussut tärkeäksi akkumoduulien ja kennojen valmistajien, paloviranomaisten ja vakuutusyhtiöiden asettamien vaatimusten kautta. (UL Solutions 2024)</p>
UL 9540	<p>Standardi liittyen energian varastointi järjestelmiin ja osa komponentteihin, Tulipalon leviämisen estämiseksi. Käsittää muun muassa varastointijärjestelmien maksimi koon ja niiden vaatiman turva etäisyyksien toisistaan. (Florence & Hopper 2020)</p>
UL 1973	<p>Standardi akustojen turvallisuus testaukseen liittyen, paikallaan olevissa ja liikkuvissa järjestelmissä. Kattaa aurinkosähkö järjestelmät, tuuli turbiinit, UPS-järjestelmät. Kun järjestelmät ovat asennettu NFPA 70, C22.1 standardin mukaan. (Underwriters Laboratories 2021; Underwriters Laboratories 2022.)</p>
UL1642	<p>Standardi liittyen Ladattaviin ja ei ladattaviin litium pattereihin ja akkuihin, Standardin tarkoituksena on estää tai vähentää riskiä tulipalosta tai räjähdyksistä liittyen litiumioniparistoihin tai akkuihin. (Underwriters Laboratories 2022; Shen 2022.)</p>
IEC 62619	<p>Standardi litiumioni akkujen turvallisuudesta ja käytöstä teollisissa ympäristössä liikkuvissa ja paikoillaan pysyvissä järjestelmissä. (International Electrotechnical Commission 2022; SFS Suomen Standardit ry 2022.)</p>

