

Akkuvarastojen taloudelliset hyödyt asuinrakennuksissa

Viljami Liimatainen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

LIIMATAINEN, VILJAMI:
Akkuvarastojen taloudelliset hyödyt asuinrakennuksissa

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2025

Suomessa sähköenergiantuotanto on muuttunut suuntaan, jossa tuotannossa on lisätty uusiutuvien energianlähteiden käyttöä. Samalla on lisääntynyt tarve varastoida tuotettua energiaa, koska tuotanto on epävakampaa kuin fossiilisilla energianlähteillä tuotettu energia. Muutos on valtakunnallinen, joka on näkynyt kuluttajatasolle asti. Kuluttajat hankkivat uusiutuvaa energiantuotantoa, pääosin aurinkosähköjärjestelmiä, asuinrakennuksiinsa. Jotta omatuotantojärjestelmien käyttöastetta voidaan lisätä, on markkinoille tullut erilaisia akkuvarastoratkaisuja. Akkuvarastojen hankintaan liittyy paljon kysymyksiä, kuten mitä akkuvarastolla pystyy toteuttamaan ja mitä hyötyä siitä on.

Opinnäytetyössä tutustuttiin akkuvarastojen taloudellisiin käyttömahdollisuuksiin asuinrakennuksissa, selvitettiin akkuvarastojen markkinatilannetta Suomessa vuonna 2025 sekä tarkasteltiin akkuvarastosopimuksien hyötyjä kuluttajalle. Työ toteutettiin asiantuntijahaastattelulla, joissa haastateltiin yritysten edustajia, jotka työskentelevät akkuvarastojen markkinassa. Työssä perehdyttiin myös tutkimustietoon.

Suomessa vuonna 2025 akkuvarastojen markkina on nosteessa ja vakiinnuttamassa paikkansa osana kiinteistöjen omatuotantojärjestelmän kokonaisuutta. Vakiintumisen syyksi nähtiin taloudelliset hyödyt. Suurimpana hyötynä koettiin reservimarkkinat, joista kuluttajat saavat reservimarkkinakorvauksia, joilla parantaa investoinnin takaisinmaksuaikaa. Jotta voi osallistua kaupantekoon reservimarkkinoilla, tehdään sopimus aggregoivan yrityksen kanssa. Muita syitä hankinnalle oli tehoerusteisten sähkölaskujen pienentäminen, spot-hinnan mukainen toiminta, varavoima sekä omatuotannon maksimointi, joka aikaisemmin oli hankinnan suurin hyödyke. Tulevaisuudessa akkuvarastojen oletetaan kuuluvan vakiiona omatuotannonjärjestelmiin. On todennäköistä, että järjestelmän taloudelliset hyödyntämismahdollisuudet muuttuvat, koska tehoerusteiset laskutusmallit yleistyvät ja säätö- ja reservimarkkinoiden kapasiteetintarve pienentyy.

Asiasanat: akkuvarasto, käyttömahdollisuudet, markkina, akkuvarastosopimus, reservimarkkina

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical systems

LIIMATAINEN, VILJAMI:
The Economic Benefits of Battery Storage for Residential Buildings

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 3 pages
May 2025

The purpose of the thesis was to explore the economical possibilities of using battery storage in residential buildings, to investigate the battery storage market in Finland in 2025, and to examine the benefits of battery storage agreements for consumers.

The study was carried out through expert interviews with representatives of companies working in the battery storage market and a literature review of previously researched information on battery storage.

As a result of this thesis, it was found that in Finland in 2025, the battery storage market is on the rise and establishing itself as a part of the overall self-production system of properties. The reason for this establishment is seen as economic benefits. The biggest benefit is the reserve markets, where consumers receive reserve market compensation to improve the payback period of the investment. To participate in the reserve markets, an agreement must be made with an aggregating company that takes care of the trading. Other reasons for acquisition include reducing power-based electricity bills, operating according to spot prices, backup power, and maximizing self-production, which was previously the biggest benefit of the acquisition.

In the future, battery storage is expected to be standard in self-production systems, and the impact of economic opportunities on acquisitions is expected to change as power-based billing models become more common, and the need for capacity in adjustment and reserve markets decreases.

Key words: battery storage, applications, market, battery storage agreement, reserve market

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AKKUVARASTO	8
2.1	Yleistä akkuvarannoista	8
2.2	Erlaisia akkutyyppiejä.....	11
2.2.1	Litiumioniakku.....	11
2.2.2	Lyijyakku.....	13
2.3	Akkuvarraston kytkentä kiinteistöön	15
2.3.1	On-Grid -järjestelmä	15
2.3.2	Off-Grid -järjestelmä	16
2.3.3	Saarekekäyttö.....	17
2.4	Akkuvarraston käyttömahdollisuuksia	19
2.4.1	Omatuotannon maksimointi.....	20
2.4.2	Kulutushuippujen tasaus	21
2.4.3	Kulutuksen siirto halvempaan hetkeen	22
2.4.4	Reservimarkkina.....	23
2.4.5	Varavoima	27
3	TUTKIMUSMENETELMÄT	29
3.1	Haastattelut.....	29
3.2	Kirjallisuuskatsaus.....	30
4	TUTKIMUSTULOKSET.....	31
4.1	Haastattelut.....	31
4.1.1	Akkuvarrastojen markkinatilanne	31
4.1.2	Akkuvarraston käyttömahdollisuuksia.....	33
4.1.3	Akkuvarrastosopimukset.....	34
4.2	Kirjallisuuskatsaus.....	35
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	38
5.1	Akkuvarrastojen markkinatilanne.....	38
5.2	Akkuvarrastosopimukset	39
5.3	Huomiot työstä	39
5.4	Jatkotutkimuskysymykset.....	40
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	47
	Liite 1. Haastattelukysymykset 1 (3).....	47

LYHENTEET JA TERMIT

AC	Alternating Current, Vaihtovirta
BESS	Battery Energy Storage System, Akkuenergiavarasto
BMS	Battery Management System, Akunhallintajärjestelmä
DC	Direct Current, Tasavirta
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive, Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi
EU	European Union, Euroopan Unioni
IEA	International Energy Agency, Kansainvälinen Energiajärjestö
RED	Renewable Energy Directive, Uusiutuvan energian direktiivi

1 JOHDANTO

Euroopassa ja Suomessa energiantuotanto on murroksessa, jossa fossiilisten energianlähteiden käyttöä vähennetään ja uusiutuvien energianlähteiden käyttöä lisätään. Tästä murroksesta kertoo kansainvälisen energiajärjestön, IEA:n Renewables 2024 -raportti, jonka ennustuksen mukaan sähkön, lämmön ja liikenteen aloilla uusiutuvan energian käyttö lisääntyy 60 % maailmanlaajuisesti vuosien 2024–2030 aikana. (IEA. 2024).

Euroopassa tätä energiamurrosta ohjaa halukkuus olla hiilineutraali sekä poliittiset kannusteet. Euroopan unioni on laatinut ilmasto- ja energiapaketin Fit for 55, jonka tavoitteena on vähentää EU:n kasvihuonepäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasosta. Tämä on osa EU:n tavoitetta olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. (European Council. 2025.) Energiamurrokselle on myös pakotteita. Venäjän hyökkäys Ukrainaan on kiihdyttänyt EU:n siirtymistä uusiutuvien energianlähteiden käyttöön. (Turun Yliopisto. 2024). Siirtymistä varten on perustettu EU:n toimesta REPowerEU-ohjelma, jossa lopetetaan asteittain Venäjän fossiilisten polttoaineiden tuonti. Samalla ohjelma auttaa EU:ta säästämään energiaa, monipuolistamaan energianlähteitä sekä tuottamaan puhdasta energiaa. (European Commission. 2024.)

Osana EU:n Fit for 55-pakettia on uusiutuvan energian direktiivi (RED III) ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD). RED III-direktiivin keskeisin tavoite on korottaa uusiutuvan energian käyttöä koko EU:n alueella 32 %:sta 42,5 %:iin. Aikaisemmassa uusiutuvan energian direktiivissä (RED II) on asetettu tavoitteet, toimenpiteet ja yleiset puitteet, joilla edistetään uusiutuvan energian tuotantoa ja kulutusta. (Työ- ja elinkeinoministeriö. 2023.) EPBD-direktiivin keskeisiä tavoitteita on rakennusten kasvihuonepäästöjen ja energian loppukulutuksen vähentäminen vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi direktiivissä on aurinkoenergiaa koskeva lisäartikla, jossa aurinkopaneelit tuodaan pakollisiksi uusiin rakennuksiin, jos tämä on mahdollista. (Ympäristöministeriö. 2024.)

EU:n direktiivit ohjaavat Suomen lainsäädäntöä ja Suomi on ilmoittanut tavoittelevansa vähintään 51 % uusiutuvan energian osuutta 2030. (Uusiutuvan energian

RED... 2025). Tämä on yksi ajuri, jonka vuoksi tuuli- ja aurinkovoiman käyttö energiantuotannossa on lisääntynyt valtavasti Suomessa. Tuulivoimalla tuotettiin vuonna 2024 Suomen sähköstä 25 % ja sen tuotantokapasiteetti kasvoi 20 % vuoden aikana. Myös aurinkovoimalla tuotettu osuus kohosi 1,5 %:iin vuonna 2024 (Sähkön vuosi 2024: ... 2025.) Vuonna 2023 aurinkovoiman tuotanto kasvoi 65 %, mutta osuus Suomen kokonaissähköntuotannosta oli n. 1 % luokkaa. (Sähkövuosi 2023: ... 2024). Suomen sääriippuvaisen sähköntuotannon osuus on muutamassa vuodessa kasvanut alle 10 %:sta yli 20 %:iin. (Energiankäytössä ja -tuotannossa on... 2024).

Tämä Suomen energiatuotannon muutos on nostattanut kuluttajissa mielenkiintoa sekä halukkuutta osallistua lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä kotitalouksissa, joka näkyy siinä, että aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet paljon viime vuosina. Pientuotannon käyttöpaikkoja onkin Suomessa jo 110 000 kappaletta. (Energiankäytössä ja -tuotannossa on... 2024.)

Kuluttajien pientuotanto on yleensä sää- ja aikariippuvaista aurinkovoimaa. Näiden riippuvaisuuksien takia energiantuotanto on epäsäännöllistä. Lisäksi aurinkovoimassa energiantuotanto määrällisesti osuu pääosin päivälle, jolloin kuluttaja ei ole käyttämässä tuotettua energiaa. Tätä omatuotettua energiaa kannattaa siis varastoida.

Varastointia varten on tuotu markkinoille akkuvalmistajien toimesta akkuvarasto. Akkuvarasto on suuren kapasiteetin akku, johon pystytään varastoimaan omatuotannosta ylijäämäenergiaa. Akkuvarastojen hinnat ovat laskusuunnassa, joka on lisännyt näiden määrää kuluttajakäytössä. (Energiankäytössä ja -tuotannossa on... 2024.) Lisäksi akkuvarastolla on paljon muitakin käyttömahdollisuuksia, joista kuluttaja voi hyötyä taloudellisesti. Näitä käyttömahdollisuuksia tarjotaan kuluttajille erilaisten akkusopimuksien muodossa.

Tämän opinnäytetyön tavoite on tutustua asuinrakennuksiin tulevien akkuvarastojen erilaisiin taloudellisiin käyttömahdollisuuksiin. Lisäksi selvittää niiden markkinatilannetta Suomessa vuonna 2025 sekä tarkastella kuluttajille tarjottavia akkusopimuksia hyötyineen. Nykyhetken tavoitteita tutkitaan asiantuntijahaastatteluilla sekä aiemmin tutkittua kirjallisuuskatsauksella.

2 AKKUVARASTO

Tässä luvussa tutustutaan akkuvarastojen toimintaan ja rakenteeseen, erilaisiin akkutyyppeihin sekä akkuvarastojen kytkentätapoihin asuinrakennuksissa. Lisäksi luvussa käsitellään akkuvarastojen erilaisia käyttömahdollisuuksia kuluttajille.

2.1 Yleistä akkuvarastoista

Akku on sähkökemiallinen energiavarasto, jossa sähköenergiaa varastoidaan akkuun kemiallisessa muodossa. Akkua ladatessa sähköenergia muuttuu kemialliseksi energiaksi ja akkua purkaessa kemiallinen energia muuttuu sähköenergiaksi. (Linja-aho, Pänkäläinen, Turpeinen, Stenbäck, & Orrberg. 2024, 7.) Akku koostuu negatiivisesta elektrodista, anodista ja positiivisesta elektrodista, kato-dista. Lisäksi akku koostuu myös ioneja johtavasta elektrolyytistä sekä erottimesta, joka eristää elektrodit toisistaan. (Ahoranta, 2016, 314.)

Akkuja usein verrataan ominaisuuksiltaan, ja keskeisimpiä vertailtavia ominaisuuksia ovat:

- kapasiteetti, joka kertoo kuinka paljon energiaa, pystytään varastoimaan akkuun.
- energiatiheys, joka kertoo, paljonko energiaa pystytään varastoimaan akkuun verrattuna sen fyysiseen kokoon.
- käyttöikä, jota akuilla mitataan lataus- ja purkaussykliä määrittäessä eli kuinka monta sykliä akku kestää ennen kuin akun kapasiteetti heikkenee merkittävästi alkuperäisestä.
- purkausvirta, joka kuvaa sitä, paljonko virtaa akku pystyy antamaan purkaushetkellä.
- hinta eli paljonko akku kustantaa.

Yksinkertaisimmillaan akkuvarasto koostuu akustosta ja invertteristä. (Sähkövarastot: Kaikki, mitä... 2024). Akusto on nimitys, jota käytetään monen akun kokonaisuudesta. Kiinteään sähköverkkoon kytkettyä akkua tai akustoa kutsutaan akkuenergiavarastoksi (BESS) tai sähkövarastoksi. (Linja-aho ym. 2024, 7.)

Akun rakenne koostuu yleensä akkukennoista, akun hallintajärjestelmästä ja suojakotelosta. Akunhallintajärjestelmän (BMS) tehtävä on varmistaa akun turvallinen toiminta. BMS-järjestelmä on siis akun ohjaus- ja hallintajärjestelmä, joka seuraa mm. kennojen lämpötilaa ja tasaa akkujen virtoja ja jännitteitä. (Linja-aho ym. 2024, 7.) Kuvassa (KUVA 1.) on esitetty akkuvaraston kokoonpano.



KUVA 1. Akkuvaraston kokoonpano. (Wirmax. 2024).

Jotta akkuvarastoja pystytään lataamaan, tarvitsee järjestelmä latauslaitteen, jota kutsutaan varaajaksi sekä verkkovaihtosuuntaajan eli invertterin. (Linja-aho ym. 2024, 7). Energianvarastointiratkaisuihin on tehty akkuinvertteri, jonka avulla

muunnetaan tasavirta vaihtovirraksi DC → AC ja vastaavasti toisin vaihtovirta tasavirraksi AC → DC. Sähköenergia varastoidaan akkuvarastoon tasavirtana ja kiinteistössä käytettävä sähkö on vaihtovirtaa. Akkuinvertterillä voidaan muuntaa sähköliittymästä tulevan sähkö varastointia varten tasavirraksi ja purkaessa tasavirta vaihtovirraksi.

Lisäksi on invertteri, joka yhdistää sähköenergian omatuotannon ja akkuvarastojärjestelmän yhteen. Tämä on hybridi-invertteri, joka muuntaa omatuotannosta tulevan tasavirran kiinteistön käyttöön sopivaksi vaihtovirraksi sekä lataa akkuvarastoa suoraan DC-puolelta ilman muunnosta, jolloin ei tapahdu energiahäviöitä, joita muunnoksissa tapahtuu. Hybridi-invertterit on sopivia erityisesti kiinteistöihin, joissa akkuvarasto asennetaan samassa yhteydessä omatuotantojärjestelmän kanssa. (Kotiakkujen invertterit. 2024.)

Lisäksi invertterillä voidaan mahdollistaa liitokset kuormien ohjauksiin, mittauksiin sekä älykkääseen käyttöön. Akkuvarastojärjestelmän kokonaisuuteen kuuluvat myös kaapeloinnit, maadoitukset, tarvittavat turvalaitteet sekä yhteydet muihin järjestelmiin. (Linja-aho ym. 2024, 7.)

2.2 Erilaisia akkutyypppejä

Tässä kappaleessa tutustutaan tarkemmin akkutyypppeihin. Akkutyypppeistä tarkastellaan niiden toimintaa sekä ominaisuuksia. Tarkasteltavat akkutyyppit ovat litiumioniakku sekä lyijyakku. Kiinteistöissä käytettävät akkuvarastot ovat yleensä tyyppiltään litiumioniakkuja ja varavoima-akustoissa lyijyakkuja, joihin myös litiumioniakut tekevät tuloaan. (Linja-aho ym. 2024, 13).

2.2.1 Litiumioniakku

Litiumioniakut eli Li-ion-akut ovat akkuperhe, joita käytetään monessa eri käyttötarkoituksessa. Litiumioniakku on vuonna 2025 käytännössä ainoa akkutyyppi, jota esiintyy kannettavassa elektroniikassa sekä sähköautoissa. Lisäksi niitä käytetään pääasiassa nykyisten kiinteistöjen akkuvarastojärjestelmissä. Litiumioniakkuja on myös alettu käyttää varavoimakäytössä, kuitenkin tässä käytössä lyijyakut ovat yleisin vaihtoehto. Tämä laaja-alainen litiumioniakkujen käyttö johtuu niiden ominaisuuksista sekä hintatason laskusta [€/kWh]. (Linja-aho ym. 2024, 13.)

Litiumioniakut ovat yleistyneet kaikilla aloilla, sillä ne tarjoavat nykyisistä akkutyypppeistä parhaan vaihtoehdon energiatihedeltään sekä hyötysuhteeltaan. Lisäksi litiumioniakku tarjoaa paremmat lataus- ja purkausominaisuudet kuin toiset akkutyyppit. (Pientalon sähkövarasto kannattaisi... 2025.)

Litiumioniakuissa sähkövirta syntyy litiumionien liikkeessa elektrodien, positiivisen anodin sekä negatiivisen katodin välillä. Akun purkautuessa litiumioni liikkuu anodista katodiin ja ladattaessa katodista anodiin. Kuitenkin akusta saatavat ominaisuudet riippuvat käytettävistä anodi- ja katodimateriaaleista sekä akun elektrolyytistä. (Linja-aho ym. 2024, 14.)

Erlaisia litiumioniakkutyyppejä on seuraavanlaisia:

- Litiumionipolymeeri (LiPO)
- Litiumkoolttioksidi (LiCoO_2)
- Litiummangaanioksidi (LiMn_2O_4)
- Litiumrautafosfaatti (LiFePO_4)
- Litiumnikkelimangaanikoolttioksidi (LiNiMnCoO_2)
- Litiumtinaatti ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Parhaiten kiinteistön akkuvarastoksi yllä olevista litiumioniakkutyypeistä sopii litiumrautafosfaatti (LiFePO_4). Litiumrautafosfaatilla on kiinteistöjen akkuvarastokäyttöön hyviä ominaisuuksia, joita ovat pitkä käyttöikä, turvallisuus, korkea lämpötilan kestävyys sekä ympäristöystävällisyys. (9 types of battery... 2024). Kuvassa (KUVA 2.) litiumrautafosfaattiakku, joita yhdistäessä syntyy akusto, joka soveltuu akkuvarastoksi.



KUVA 2. Litiumrautafosfaattiakku. (Battery Empire. n.d.).

Litiumrautafosfaatin ominaisuudet ovat tärkeitä akkuvarastolle, joka on tulossa kiinteistöön kuluttajan käyttöön. Pitkä käyttöikä takaa pidemmän hyödyn akkuvarastosta, kun akku kestää enemmän lataus- ja purkaussyklejä verrattuna muihin. Turvallisuus on tärkeä näkökulma erityisesti, kun akkuvarasto on tulossa kotitalouksiin. LiFePO_4 -akun tekee turvallisemmaksi se, että verrattuna muihin akku-

perheen tyyppeihin, sillä ei ole niin suurta riskiä ylikuumentumiseen taikka tulipalloon. Tätä tukee myös korkea lämpötilan kestävyys, sillä LiFePO₄-akulla on hyvä toimintakyky suurella lämpötila-alueella. Lisäksi LiFePO₄-akuissa on käytetty valmistuksessa vähemmän myrkyllisiä materiaaleja verrattuna muihin litiumioniakuihin. (Linja-aho ym. 2024, 14.)

2.2.2 Lyijyakku

Lyijyakku on perinteinen jo 1800-luvulla kehitetty akkuteknologia, joka on todettu todella luotettavaksi. Lyijyakkuja käytetään varavoima-akkuina, koska se on edullista ja koeteltua tekniikkaa. Lyijyakku ei myöskään tarvitse omaa BMS-järjestelmää, vaan sitä voidaan varata yksinkertaisella virtarajoitetulla vakiojännitteeseen perustuvalla laturilla. (Linja-aho ym. 2024, 13.)

Lyijyakun elektrolyyttinä käytetään rikkihappoa ja energia varastoituu positiiviseen levyn lyijyoksiidiin ja negatiivisen levyn lyijyyn. Lyijyakkutyyppejä on suljettuja ja avoimia. Avoimissa lyijyakuissa elektrolyytti on nestemäisessä muodossa. Avokennoissa kannet ovat aukollisia, ja aukkojen kautta elektrolyysin tai haihtumisen synnyttämät tuotteet vapautuvat ympäristöön. Avoimen lyijyakun (KUVA 3.) hyviä ominaisuuksia ovat pitkä käyttöikä sekä luotettavuus. Sen huonoja ominaisuuksia ovat se, että tarvitsee erillisen tilan sijoitukseen sekä säännöllistä huoltoa, joka on pääosin elektrolyytin lisäämistä. (Linja-aho ym. 2024, 7–8.)



KUVA 3. Avoin lyijyakku. (Ahlsell. n.d.).

Suljettujen lyijyakkujen elektrolyytit ovat geelimäisessä muodossa, ja akun kennojen kansissa on venttiilit, joista haihtumistuotteet poistuvat. Suljetuissa lyijyakuissa (KUVA 4.) hyviä ominaisuuksia ovat paremmat purkausominaisuudet suurella virralla kuormitettuna sekä vähäinen huollon tarve. Lisäksi suljettu akku ei tarvitse erillistä tilaa asennukselle. Heikompia ominaisuuksia on lyhyempi käyttöikä kuin avoimessa. (Linja-aho ym. 2024, 8.)



KUVA 4. Suljettu lyijyakku. (Sonepar. n.d.).

Yleisesti lyijyakut ovat suorituskyvyltään heikompia kuin litiumioniakut. Näitä ominaisuuksia ovat heikko energiatiheys eli lyijyakut ovat painavia ja suuria sekä syklikestoisuus eli lyijyakku ei kestä tuhansia lataus- ja purkaussyklejä. Näistä ominaisuuksista kumpikaan ei haittaa lyijyakun toimimista varavoima käytössä, jossa akku purkaantuu vain tarvittaessa. (Linja-aho ym. 2024, 18).

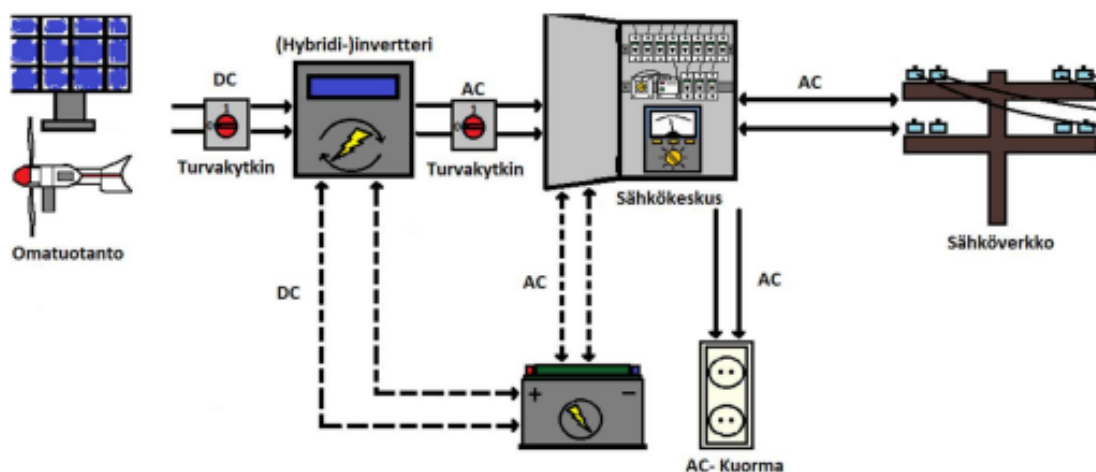
2.3 Akkuvaraston kytkentä kiinteistöön

Akkuvarasto on laitteisto, joka hankitaan yleensä kiinteistöön tukemaan omatuotantojärjestelmän toimintaa. Omatuotantojärjestelmällä varustetut kiinteistöt, voidaan luokitella kahteen ryhmään: Sähköverkkoon liitetty On-Grid -järjestelmä, jossa akkuvarasto toimii verkon kanssa rinnan sekä itsenäisesti saarekekäytössä toimivat Off-Grid -järjestelmä, jossa ei ole fyysistä yhteyttä sähköverkkoon. (Aurinkosähköjärjestelmät. n.d.).

2.3.1 On-Grid -järjestelmä

On-Grid -järjestelmässä akkuvarasto liitetään osaksi kiinteistön sähköverkkoa ja tätä kautta osaksi julkista sähköverkkoa. Tässä kytkentätavassa akkuvarasto tulee sähköliittymän rinnalle kiinteistössä. Kun akkuvarasto on liittymän rinnalla, saadaan siitä paras potentiaali irti. Potentiaalilla tarkoitetaan niitä käyttömahdollisuuksia, joita akkuvarasto luo kiinteistöön. Käyttömahdollisuuksia käsitellään seuraavassa luvussa (2.4) tarkemmin.

On-Grid -järjestelmässä sähkökeskukseen asennetaan invertterin virtamittarit, jotka mittaavat keskuksessa sähköliittymää. Sähköliittymästä virtamittarit mittaavat liittymän virran kulutusta ja mittaustulosten perusteella invertteri tekee tarvittavia ohjattuja toimintoja. Toimintoja ovat akkuvaraston lataaminen ja purkaminen. Kuvassa (KUVA 5.) on esitetty On-Grid -järjestelmän periaatekuva, jossa akkuvarasto on yhteydessä sähkökeskukseen sekä hybridi-invertteriin. Lisäksi järjestelmässä on omatuotantoa sekä akkuvarasto on sähköliittymän rinnalla syöttämässä sähkökeskusta. Tällaisessa järjestelmässä akkuvarastoa voidaan ladata omatuotannon energialla tasavirta puolelta tai sähköliittymästä vaihtovirtapuolelta sekä purkaa kiinteistön käyttöön.

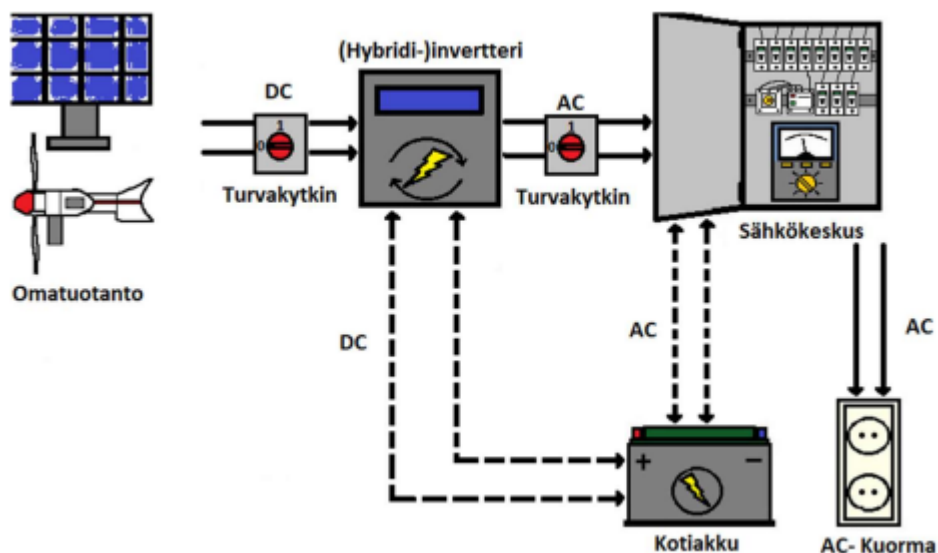


KUVA 5. On-Grid -järjestelmän periaatekuva. (Veilamo. 2022, 17).

On-Grid -järjestelmässä on asioita, joita täytyy huomioida ennen omatuotantojärjestelmän sekä akkuvaraston käyttöönottoa. Koska laitteisto tullaan liittämään sähköverkkoon, tarvitaan jakeluverkon haltijalta tähän kytkentälupa. Kytkentäluvan saamiseksi tehdään jakeluverkon haltijalle lupapyyntö tuotantolaitoksen liittamisestä. Jotta kytkentäluvan saa täytyy pystyä esittämään, että verkkoon syötetylle energialle on ostaja. Ostaja osoitetaan verkkoyhtiölle lupalomakkeessa muiden tietojen mukana. (Tuotantolaitteiston liittäminen sähköverkkoon. n.d.)

2.3.2 Off-Grid -järjestelmä

Off-Grid -järjestelmä on kytkentätapa, jossa järjestelmä johon akkuvarasto kuuluu, on täysin itsenäinen kokonaisuus ilman yhteyttä yleiseen sähköverkkoon. Tällaisia ratkaisuja voidaan käyttää paikoissa, joissa ei ole mahdollista liittyä verkkoon kuten syrjäseudulla tai sähköverkko ei ole luotettava pitkien etäisyyksien takia. Akkuvarasto on keskeinen osa Off-Grid -järjestelmää, koska se varastoi omatuotantojärjestelmällä tuotetun energian myöhempää käyttöä varten. Lisäksi järjestelmä tarvitsee invertterin, jotta paneeleilla tuotettu tasavirta voidaan muuntaa vaihtovirraksi. (Andersen, Heikkilä, Kortetmäki, Lehto, Nikander, Orrberg, & Ylinen 2023, 59.) Kuvassa (KUVA 6.) on esitetty Off-Grid -järjestelmän periaatekuva, jossa järjestelmällä ei ole yhteyttä yleiseen sähköverkkoon ja järjestelmän energia tuotetaan omatuotannolla.



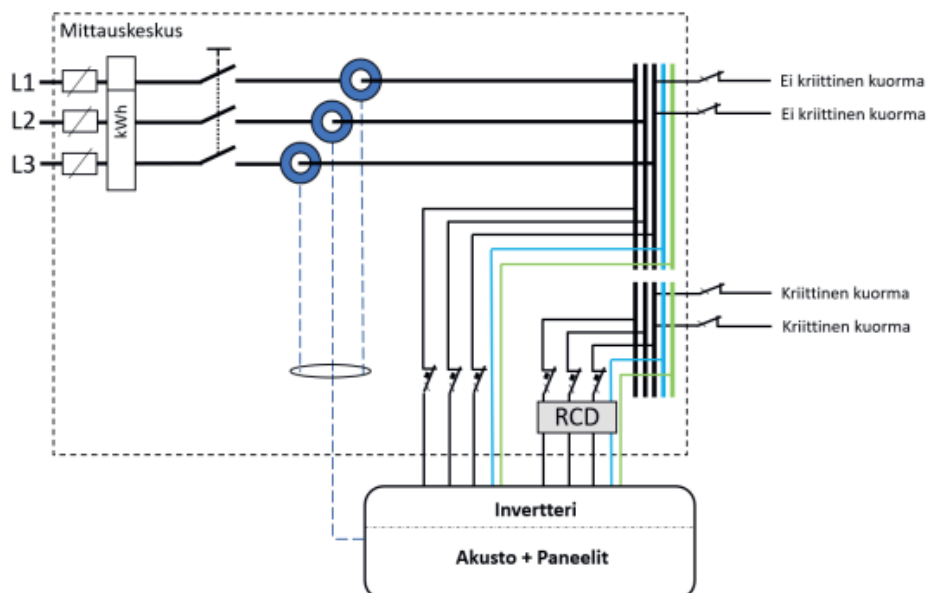
KUVA 6. Off-Grid -järjestelmän periaatekuva. (Veilamo. 2022, 18).

2.3.3 Saarekekäyttö

Akkuvarastojärjestelmän kytkentä kiinteistöön on joko On-Grid -järjestelmä, jossa akkuvarasto on sähköliittymän rinnalla tai Off-Grid -järjestelmä. Yleisesti kytkentä on On-Grid -järjestelmä. Järjestelmässä voi olla saarekekäyttö ominaisuus, jolla tarkoitetaan sähkölaitteistoa, joka on jännitteinen, mutta ei ole osa yleistä sähkönjakeluverkkoa. Saarekekäytössä laitteisto on siis osa sähköverkkoa, mutta laitteisto erotetaan verkosta itsenäisesti toimivaksi kokonaisuudeksi. (Linja-aho ym. 2024, 29.)

Akkuvaraston kytkentä saarekekäyttöön on melko samanlainen kuin kytkentä On-Grid -järjestelmään. Eron kytkentöihin tekee se, että On-Grid -järjestelmässä ei ole erotus mahdollisuutta sähköverkosta, jolloin sähkökatkon tullessa sähköt katoavat kiinteistöstä. Esimerkki saarekekäytöstä on kiinteistön sähkökatkotilanne. Tässä tilanteessa kiinteistö voi erottautua verkosta, jos kiinteistön järjestelmään on tehty tarvittavat toimenpiteet. Näillä toimenpiteillä varmistetaan, että tuotantojärjestelmä ei syötä sähköä jakeluverkkoon ja aiheuta vaaratilanteita. (Andersen ym. 2023, 57.)

Erotuksen voi tehdä esim. invertterillä, joka seuraa virtamittareilla sähköliittymän toimintaa. Jos sähköliittymässä tulee häiriöitä tai sähköverkko häviää, invertteri osaa erottaa itsensä syöttävästä verkosta ja siirtyä saarekekäyttöön, jossa akkuvarasto purkaa varastoitua sähköenergiaansa kiinteistön tarpeisiin. (Andersen ym. 2023, 57.)



KUVA 7. Havainnointikuva saarekekäyttöön soveltuvasta invertteriratkaisusta. (Andersen ym. 2023, 58).

2.4 Akkuvaraston käyttömahdollisuuksia

Akkuvaraston hankinta kotitalouteen tuo kuluttajalle monia erilaisia taloudellisia käyttömahdollisuuksia. (Sähkövarastot: Kaikki, mitä... 2024). Akkuvarasto tarjoaa kuluttajalle mahdollisuuden:

- maksimoida kiinteistön omatuotannosta saatavan energian eli omatuotannon ylijäämän talteenoton.
- säästää sähkölaskuissa tasaamalla sähkönkulutushuippuja, kun tehoperusteiset sähkölaskut ovat yleistymässä.
- hyödyntää sähkömarkkinoiden hintavaihteluita lataamalla akkuvarastoon sähköenergiaa halvoilla tunneilla ja käyttää tätä kalliimmilla tunneilla.
- osallistua Fingridin reservimarkkinoille saaden reservimarkkinakorvauksia.
- lisäksi toimia kiinteistön varavoimanlähteenä sähkökatkon aikana ylläpitämällä kiinteistön sähköjärjestelmiä.



KUVA 8. Akkuvarastolla on monia käyttömahdollisuuksia. (Sähkövarastot: kaikki, mitä... 2024).

2.4.1 Omatuotannon maksimointi

Akkuvaraston yleisin käyttömahdollisuus on itse tuotetun energian varastointi. Varastointi tulee tarpeeseen erityisesti kiinteistöissä, joissa on sähkön omatuotantoa. Yleisiä energian tuotantomuotoja asuinkiinteistöissä ovat aurinko- sekä tuulivoimalat. Näissä tuotantomuodoissa on haasteensa, koska energianlähteet ovat sää- ja aikariippuvaisia. Yleisesti ne tuottavat eniten energiaa päivällä, jolloin kiinteistöissä ei ole energiankulutusta yhtä paljon kuin on energiantuotantoa. Tämä ylituotettu energia täytyisi myydä sähköyhtiölle ilman energianvarastointi mahdollisuutta.

Akkuvarasto siis maksimoi omatuotannon osuuden kiinteistön käyttöön eli varastoi tuottamansa energian ja purkaa energiaa tarvittaessa. Varastoinnilla vähennetään verkosta ostettavan sähkön osuutta, josta maksetaan sähköenergian lisäksi myös verot ja sähkösiirtomaksut, joita ei omatuotannosta saatavaan sähköön sisälly. Pientuottajan verkkoon myytävästä sähköstä saatavaan myyntituloon ei sisälly verojen tai sähkönsiirron osuutta, jolloin saatava tulo on hankintahintaa pienempi, koska myytävästä energiasta maksetaan vain markkinahinnan verran. (Ylijäämänsähkön myynti. 2024.) Kuviossa (KUVIO 1.) on esitetty sähkön ostoon ja myyntiin hintoihin vaikuttavat tekijät.



KUVIO 1. Sähkön ostosta ja myynnistä saatavat hyödyt. (Ylijäämänsähkön myynti. 2024).

2.4.2 Kulutushuippujen tasaus

Akkuvarastoilla on mahdollista tasata kulutushuippujen suuruutta käyttämällä näihin varastoitua sähköenergiaa. Kulutushuipuilla tarkoitetaan sähkönkulutuksen huippuarvoja, joita kiinteistössä hetkellisesti tapahtuu eri järjestelmiä käytettäessä. (Linja-aho ym. 2024, 10–11).

Kiinteistön huipputuntitehon arvo vaikuttaa kiinteistön sähköliittymän mitoittamiseen ja yleensä pientaloliittymiä suuremmilla sähköliittymillä myös laskutukseen. Tätä huipputehoon perustuvaa laskutusta on myös pientaloille joillakin verkkoyhtiöillä. (Linja-aho ym. 2024, 11). Tämä tehotariffi laskutusmalli on oletettavasti yleistymässä myös pienasiakkaille.

Mitattuun huipputehoon perustuvassa laskutustavassa on ollut eri sähköyhtiöillä erilaisia perusteita, joilla he ovat kuluttajia laskuttaneet. Tämä on yksi asia, jonka takia hallitus on tehnyt esityksen eduskunnalle, jossa muutettaisiin sähkömarkkinalakia sekä sähköntoimitussopimusten vertailuvälineestä annettua lakia.

Esityksen päätavoitteena on toimeenpanna työ- ja elinkeinoministeriön asettaman älyverkkotyöryhmän loppuraportissaan esittämiä toimia, joilla älykäs sähköjärjestelmä voi palvella asiakkaiden mahdollisuuksia osallistua aktiivisesti sähkömarkkinoille ja edistää toimitusvarmuuden ylläpitoa. Näihin toimiin lukeutuvat ehdotettu yhteislaskutus, jakeluverkkomaksujen rakenteiden harmonisointi sekä markkinapohjainen loppukäyttäjän kuormanohjaus. (Hallituksen esitys eduskunnalle... 2024.)

Sähköverkkoyhtiöt ovat saaneet määrittää tehomaksun perusteista itse. Perusteet ovat voineet olla esim. kuukauden keskiteho, kuukauden huipputehoon tai kolmen suurimman toteutuneen huipputehon keskiarvoon. Lakimuutoksen jälkeen tehomaksun laskutustapa harmonisoidaan ja tulee perustumaan Energiaviraston määräykseen. Energiavirasto tulee antamaan myöhemmin tämän määräyksen, jossa kerrotaan sähkösiirron hinnoittelurakenteeseen tehtävät muutokset. Määräys valmistellaan vuoden 2025 aikana. (Sähkösiirtolaskutukseen valmistellaan... 2025.)

Akkuvarastolla voidaan siis pienentää kulutushuippuja, joiden perusteella sähköverkkoyhtiöiden sähkölaskutus on siirtymässä. Kulutushuipun tasaamisessa akkuvarasto purkaa varastoimaansa sähköenergiaa sähköliittymän rinnalla. Tällainen kulutushuipputilanne voisi olla asuinrakennuksessa sähköauton lataaminen samalla kun kiinteistössä on muutakin kulutusta, jolloin akkuvaraston purkaminen verkon rinnalla pienentää verkosta tarvittavan sähköenergian määrää. Tällöin voidaan välttää myös mahdolliset sähköliittymän kasvattamiset, jos kulutushuipputilanteet saadaan pienemmiksi akkuvaraston avulla.

2.4.3 Kulutuksen siirto halvempaan hetkeen

Suomen energiantuotannossa yleistyvät uusiutuvat energianlähteet sisältävät omat haasteensa, koska ne ovat sääriippuvaisia. Riippuvuuden takia energiantuotanto on määrällisesti vaihtelevaa sekä vaikeammin ennustettavaa kuin fossiililla energianlähteillä tuotettu energia. Kuitenkin sähköenergiaa on tuotettava joka hetki yhtä paljon kuin sitä kulutetaan. (Miten sähkön hinta... n.d.)

Esimerkiksi koko Suomen mittakaavassa yhden päivän sähkönkulutus voi nousta 15 000 MW kylmänä talviarkipäivänä, jolloin energiaa käytetään paljon rakennuksien lämmitykseen, kun taas lämpimänä kesäyönä sähkönkulutus voi olla vain 6 000 MW, koska lämmityksen tarve on pienempi. (Miten sähkön hinta... n.d.). Molemmissa tilanteissa tuotannon täytyy vastata kulutusta. Kun kulutuksen määrä on vähäistä, pystytään lähes kaikki sähkö tuottamaan edullisilla perusvoimalaitoksilla. Kulutuksen taas ollessa korkealla, joudutaan käyttämään kustannuksiltaan kalliimpia energiantuotantomuotoja, joka näkyy suoraan myytävän sähkön hinnassa. (miten sähkön hinta... n.d.).

Sähkön pörssihinta muodostuu siten, että sähkön myyntiyhtiöt ja suuret teollisuusyritykset ilmoittavat ennustuksensa Nord Pool Spotin ja Epexin järjestelmiin siitä, kuinka paljon he tarvitsevat seuraavana päivänä sähköä ja millä hinnalla he ovat valmiita sitä ostamaan. Sähköntuottajat taas ilmoittavat paljonko sähköä he voivat myydä ja millä hinnalla. (miten sähkön hinta... n.d.)

Nord Pool Spot on Pohjois-Euroopan sähköpörssi. Se on maailman ensimmäinen monikansallinen sähköpörssi, jossa käydään kauppaa sähkön tukkumarkkinoilla. (Nord Pool. n.d.). Epex eli European Power Exchange on Keski-Euroopan sähköpörssi, jossa myös käydään kauppaa sähkön tukkumarkkinoilla. (Europex. 2025). Molemmat sähköpörssit tarjoavat päivä- ja tuntikohtaisia markkinoita, joissa sähköpörssit ilmoittavat tarjoukset muille eurooppalaisille sähköpörssille, joiden pohjalta muodostetaan yksi sähkön pörssihinta, jokaiselle vuorokauden tunnille, jokaiselle tarjousalueelle. Suomi on yksi tarjousalue, jonne pörssihinta muodostuu siihen hintaan, missä kysyntä ja tarjonta kohtaavat. (miten sähkön hinta... n.d.)

Sähkön pörssihinta vaihtelee tällä hetkellä tunneittain. Akkuvarastolla voidaan seurata pörssihinnan vaihteluita sekä varastoida sähköenergiaa verkosta, kun sähkö on halpaa ja purkaa sitä kiinteistön käyttöön, kun sähkön hinta on kallista. Tätä varten akkuvarasto tarvitsee sähkön pörssihinnan seuraamiseen automaatiota sekä ohjelmointia. Akkuvarastoja tarjoavilla yrityksillä on tarjolla erilaisia ratkaisuja akkuvaraston käyttämiseen pörssihinnan mukaan.

Sähkön pörssihinnan vaihtelut ovat siirtymässä tunnin tasosta varttitunnin tasolle, jolloin sähkön pörssihinta vaihtuu 15 minuutin välein. Tällä sähkömarkkinamallin päivityksellä tavoitellaan yhteensopivuutta uuden sähkömarkkinan tuotantora-kenteen kanssa, joka koostuu määrällisesti vaihtelevasta uusiutuvasta energiasta. Päivityksellä energian tuotannon ja kulutuksen tasapainotus toimii luotettavasti markkinahintojen ohjaamana. (Varttitase eli 15... n.d.) Hintojen vaihteluvälin tihentyminen oletettavasti tarkoittaa automaation tarpeen lisääntymistä kiinteistöissä.

2.4.4 Reservimarkkina

Fingridin, Suomen kantaverkkoyhtiön reservimarkkinat on yksi tärkeä osa Suomen sähköjärjestelmän tasapainottamisessa. Reservi- ja säätösähköllä ylläpidetään valtakunnallisesti sähkönkulutuksen ja -tuotannon tasapainoa. Tasapainotamista tarvitaan, jotta sähköverkon sähköntuotanto ja -kulutus pysyvät tasapainossa. (Reservimarkkinat. n.d.).

Tasapainoasemasta indikoi sähköverkon taajuus, joka on tasapainotilassa 50 Hz. Reservit voivat olla voimalaitoksia, kulutuspisteitä tai akkuvarastoja, jotka nostavat tai laskevat tehoaan sähköverkon tarpeen mukaan. Taajuuden heittelyyn vaikuttaa sähkönkulutuksen ja -tuotannon vaihtelut, joita ei pysty ennalta tasapainottamaan. Suurimpia taajuuspoikkeamia aiheuttaa vikatilanteet sähköjärjestelmässä, joita ovat suuren voimalaitoksen tai sähkönsiirrossa tapahtuva vikaantuminen. Näitä taajuuden vaihteluita reservit tasapainottavat. (Miksi sähköjärjestelmän vakaa... 2023.) Jos taajuus poikkeaa liikaa tasapainoasemasta, voimalaitoksia täytyy irrottaa sähköverkosta, jotta ne eivät vahingoittuisi. Pahimmassa tapauksessa taajuuspoikkeamasta syntyisi dominoefekti, joka kaataisi koko sähköverkon. (Miksi sähköjärjestelmän vakaa... 2023.)

Reservimarkkinassa on erilaisia reservituotteita, jotka voidaan jakaa käyttötarkoituksensa perusteella kolmeen eri ryhmään: (Linja-aho ym. 2024, 10).

- taajuuden vakautusreservit jatkuvaan taajuuden hallintaan.
- taajuuden palautusreservit taajuuden palauttamiseen normaalialueelle.
- korvaavat reservit häiriötilanteiden jälkeisiin mahdollisiin uusiin vikatilanteisiin varautumiseksi.

Kotitalouden akkuvarastolla on mahdollista osallistua Fingridin reservimarkkinoille, jos se täyttää tietyt Fingridin asettamat tekniset vaatimukset. (Linja-aho ym. 2024, 10). Reservimarkkinoille osallistumisen minimitarjouskoko on 100 tai 1000 kW, riippuen reservimarkkinalajista, jolloin yksittäinen kotitalous ei ole kykenevä suoraan osallistumaan yksittäisenä tekijänä reservimarkkinoille. (Kotitaloudet sähköön reservimarkkinoilla. n.d.).

Kotitalouksien akkuvarastoja täytyy koota suuremmaksi kokonaisuudeksi, jota voidaan tarjota reservimarkkinoille. Tämä on reservikohteiden aggregointia. Aggregointia tekevä yritys siis solmii sopimuksen kotitalouksien kanssa laitteiston säätökyvystä, ja tarjoaa tätä koottua säätökykyä Fingridin reservimarkkinoille. (Kotitaloudet sähköön reservimarkkinoilla. n.d.)

Yleisesti akkuvarastot osallistuvat reservimarkkinoilla aggregoivan yrityksen avulla nopeaan taajuusreserviin (FFR), taajuusohjattuun häiriöreserviin (FCR-D) tai taajuusohjattuun käyttöreserviin (FCR-N). Näistä reservituotteista Fingrid maksaa aggregoivalle yritykselle reservimarkkinakorvauksen, joka taas tilittää kuluttajalle korvauksen. Fingrid ei ole sopimussuhteessa kuluttajan kanssa. (Kotitaloudet sähkön reservimarkkinoilla. 2024.)

Reservimarkkinoille liittyminen on prosessi, jossa todennetaan reservimarkkinoille liitettävän kohteen soveltuvuus reservituotteille. Liittymisprosessi alkaa tutustumisella sähköjärjestelmien reservien ja reservimarkkinoiden toimintaan sekä yhteydenotolla Fingridin reservimarkkinapalveluun ja myöhemmin teknisiin asiantuntijoihin. Lisäksi selvitetään tietoliikenneyhteyksiä Fingridin suuntaan ja valitaan palveluntarjoaja olemaan yhteydessä Fingridin kanssa. (Kuinka osallistua reservimarkkinoille. n.d.)

Liittymisprosessiin sisältyy säätökokeet, joilla todennetaan kohteen soveltuvuus reservikohteisiin. Osana prosessia on järjestelmätyöt ja sopimukset, jossa säätökokeiden jälkeen allekirjoitetaan reservisopimukset tuotteittain ja testataan tiedonvaihtoa ja luodaan käyttäjätunnukset kaupankäyntiä varten sekä kaupankäynnin aloitus, jolloin voidaan toimia reservimarkkinoilla. (Kuinka osallistua reservimarkkinoille. n.d.) Kuvassa (KUVA 9.) on esitetty liittymisprosessi reservimarkkinoille.



KUVA 9. Reservimarkkinoille liittyminen yksinkertaistettuna. (Kuinka osallistua reservimarkkinoille. n.d.).

Säätökokeilla todennetaan, että kohteen säätö on reservituotteen vaatimusten mukainen. Reservituotteiden teknisiä vaatimuksia on reservin aktivointinopeus, yhtäjaksoisen aktivoinnin ajallinen kesto ja palautumisajan kesto. Kokeiden tekeminen on pakollista kaikille FFR-, FCR- ja aFFR-reservikohteille. (Kuinka osallistua reservimarkkinoille. n.d.) Kuvassa (KUVA 10.) on esitetty FFR- ja FCR-säätökoeprosessi.



KUVA 10. Reservimarkkinoille liittyessä FFR- ja FCR-säätökoeprosessi. (Kuinka osallistua reservimarkkinoille. n.d.).

aFFR-säätökoeprosessi eroaa muiden reservikohteiden säätökohteesta, koska aFFR-reservikohde on Fingridin ohjaama, jossa reservikohde aktivoituu lähetyksestä aktivointisignaalista. Reservitoimijan on tämän vuoksi rakennettava reaaliaikaiset tiedonvaihtoyhteydet Fingridin kanssa ennen säätökokeiden suorittamista, jotta aktivointisignaali pystytään lähettämään säätökokeen aikana kohteelle. Tämän reservikohteen säätökokeet tehdään yhdessä Fingridin edustajan kanssa. (Kuinka osallistua reservimarkkinoille. n.d.) Kuvassa (KUVA 11.) aFFR-säätökoeprosessi.



KUVA 11. Reservimarkkinoille liittyessä aFFR-säätökoeprosessi. (Kuinka osallistua reservimarkkinoille. n.d.).

Reservimarkkinoille osallistuminen on tällä hetkellä akkuvarastojen hankinnassa luultavasti suurin houkutin, varsinkin sieltä saatavien reservimarkkinakorvauksien takia. Kuitenkin investoinnissa on pohdittavaa, joita kannattaa miettiä. Hankinnassa kannattaa ottaa selvää akkuvarastoa myyvän sekä operoivan yrityksen taustoista sekä tarkastaa, että yritys on Fingridin reservimarkkinatoimijoiden virallisella listalla. Lisäksi kannattaa selvittää, kuinka suuren osuuden kuluttaja saa reservimarkkinakorvauksista sekä kuinka akkuvarasto vaikuttaa kotitalouden vakuutuksiin. (Kettunen, 2024.)

Suomessa tapahtuvan sähköntuotannon muutoksen takia reservien tarve tulee kasvamaan valtavasti. Tämä johtuu siitä, että säätävää kapasiteettia on poistunut sähköjärjestelmästä, kun sääriippuvaisia tuotantomuotoja on lisätty järjestelmään. Fingrid arvioi reservikapasiteetin kasvavan seuraavan viiden vuoden aikana 134 %. (Reservien tarve kasvaa... 2024).

Tämä tarvittava reservikapasiteetti tulee näkymään reservimarkkinoilta akkuvarastoilla saatavien reservikorvauksien määrässä, jota on vaikeaa ennustaa, koska reservimarkkinakorvaus vaihtelee markkinatilanteen mukaan. (Kettunen, 2024). Lisäksi ennustettavuus on vaikeaa, koska Fingrid ei anna reservimarkkinasta saatavasta korvauksesta hintatakuuta tai -ennustetta eikä aikaisemmin toteutuneet markkinahinnat kerro tulevista hintatasoista. (Kotitaloudet sähkön reservimarkkinoilla. 2024).

2.4.5 Varavoima

Varavoimalla tarkoitetaan kiinteistön olemassa olevaa sähköntuotantokapasiteettia tilanteessa, jossa sähkönjakelu äkillisesti keskeytyy tai keskeytetään. Julkisissa kiinteistöissä varavoimaa tarvitaan esimerkiksi ilmanvaihdon, valaistuksen tai sähköisten turvajärjestelmien sähkönsyötön varmistamiseksi, jotta rakennuksesta olisi turvallista poistua sähkökatkoksen aikana. Pienikiinteistöissä, kuten omakotitaloissa ja mökeillä varavoimalla ylläpidetään sähköjärjestelmien toimintaa sähkökatkosten aikana. (Linja-aho ym. 2024, 11).

Akkuvarastoissa on usein mahdollisuus varavoiman saamiseksi yksittäisille ryhmille tai koko jakelulle riippuen akkuvaraston koosta sekä laitevalinnoista. Markkinoilla on useita akkuvarastoja saatavilla, joissa on valmiina optio varavoimakäytölle. Tällöin akkuvarastoon lisätään syötön vaihtolaitteisto saarekekäyttöä varten. (Linja-aho ym. 2024, 11).

Akkuvaraston käyttö varavoimana on sen käyttömahdollisuuksista taloudellisesta näkökulmasta tuottamattomin. Kuitenkin varavoiman käytöllä voidaan säästää suuria summia, kun järjestelmiä ei tarvitse korjata tai uusia sähkökatkon aiheuttamilta vaurioilta eikä kiinteistön toiminta keskeydy. Tällaisia kiinteistöjä on esimerkiksi sairaalat sekä tuotantolaitokset, joissa varavoiman tarpeellisuus on ehdotonta. (Linja-aho ym. 2024, 11.)

Varavoima ominaisuus luo kiinteistön käyttäjälle turvallisuuden tunteen, kun kiinteistö on huoltovarmempi ja ei ole täysin riippuvainen sähköverkon toiminnallisuudesta. Käyttäjä voi itse valita, mitä laitteita varavoimaan kytketään mahdollisten sähkökatkojen osalta. (Pientalon sähkövarasto kannattaisi... 2025.).

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä työssä tavoitteena on selvittää akkuvarastojen markkinatilannetta Suomessa vuonna 2025, tarkastella kuluttajille tarjottavia akkusopimuksia ja tutustua akkuvarastojen erilaisiin käyttömahdollisuuksiin. Tutkimusta tehdään kahdella eri tavalla. Pääpainoisena tutkimusmuotona on asiantuntijahaastattelut, joissa haastatellaan akkuvarastojärjestelmien markkinassa toimivien yritysten edustajia. Nämä yritykset tarjoavat myös muita uusiutuvan energian ratkaisuja, kuten aurinkosähköjärjestelmiä. Toisena tutkimusmuotona on kirjallisuuskatsaus, jossa selvitetään, mitä aikaisempia tutkimuksia on tehty akkuvarastojärjestelmistä koskien markkinatilannetta sekä käyttömahdollisuuksia.

3.1 Haastattelut

Työssä haastatellaan asiantuntijoita, jotka työskentelevät yrityksissä, jotka toimivat akkuvarastojärjestelmien parissa. Yrityksien liiketoiminta markkinassa voi olla toimiminen palveluntarjoajana, tukkurina tai laitevalmistajana. Haastattelupyynnöt lähetettiin noin kymmenelle eri yritykselle, joista kolmesta osallistuttiin haastatteluun.

Haastateltavista asiantuntijoista kaksi työskenteli yrityksissä, jotka toimivat akkuvarastojärjestelmien palveluntarjoajina sekä yksi työskenteli aurinkosähköjärjestelmien laitevalmistajalla, jonka tarjonnassa oli akkuvarastoja. Haastattelupyynnöt yrityksille ja viestintä haastatteluun osallistuvien kanssa tehtiin sähköpostiviesteillä sekä haastattelut toteutettiin Teams -kokouksilla. Asiantuntijahaastateluissa haastateltiin seuraavia yrityksiä ja toimihenkilöitä:

Wirmax Solar Oy:n liiketoiminnanjohtaja – Pasi Savola
Energio Finland Oy:n myyntijohtaja – Vesa Robertsson
SunGrow Oy:n Partner Success Manager – Kalle Salli

Näiltä yrityksistä edustavilta toimihenkilöiltä kerätään haastattelemalla tietoa siitä, että minkälainen on akkuvarastojen markkinatilanne vuonna 2025 ja miltä se näyttäisi tulevaisuudessa, minkälaisia ovat heidän tarjoamien akkuvarastojen käyttömahdollisuudet, millaisilla motiiveilla akkuvarastoja hankitaan ja minkälaisiin kohteisiin.

Asiantuntijahaastatteluissa selvitetään myös akkuvarastosopimukseen liittyviä kysymyksiä, joita ovat: mitä on aggregointi tai yhteistyö aggregoivan yrityksen kanssa, miten aggregoinnissa huolehditaan akkuvaraston kapasiteetin käyttämisestä kuluttajan ja reservimarkkinan välillä, miten raha liikkuu kuluttajan näkökulmasta, minkälaisia kannusteita ja motiiveja kuluttajalla on hankkia akkuvarasto sekä millaisia hyötyjä akkuvarastoilla pystyy todellisuudessa luomaan ja mitä ei. Haastattelukysymykset ovat tarkemmin esitettynä liitteissä (Liite 1).

3.2 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksessa tutustutaan aikaisempaan tutkittuun akkuvarastojärjestelmien markkinasta ja käyttömahdollisuuksista. Tietoa etsitään aikaisemmista tieteellisistä tutkimuksista sekä opinnäytetöistä. Tällä luodaan kokonaiskäsitys siitä, että miten akkuvarastojärjestelmien markkinatilanne ja käyttömahdollisuudet ovat kehittyneet aikaisemmasta. Lisäksi kirjallisuuskatsauksella hankitaan asiantuntijahaastattelukysymyksien vastauksille vertailtavaa tietoa.

4 TUTKIMUSTULOKSET

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen tulokset, joita saatiin asiantuntijahaastattelusta sekä kirjallisuuskatsauksesta. Asiantuntijahaastatteluiden tulokset esitellään kategorioihin jaoteltuna sekä kirjallisuuskatsauksen tulokset esitellään löydetyin vastauksen mukaan.

4.1 Haastattelut

Haastattelukysymyksissä on kategorioita, joiden mukaan tulokset esitetään. Kolmen asiantuntijahaastattelun vastausten pohjalta on muodostettu yhteenveto jokaisesta kategoriasta, joita ovat akkuvarastojen markkinatilanne, akkuvarastojen käyttömahdollisuudet sekä akkuvarastosopimukset.

4.1.1 Akkuvarastojen markkinatilanne

Akkuvarastojärjestelmien nykyinen markkinatilanne on asiantuntijoiden mukaan nosteessa ja vakiinnuttamassa paikkaansa osana kiinteistön omatuotannon kokonaisuutta. Markkinan nostetta voidaan verrata samanlaiseksi kuin aurinkosähköjärjestelmien yleistymistä, johon on vaikuttanut lisääntynyt kilpailu ja tarjonta sekä median uutisointi aiheesta. Akkuvarastojärjestelmien vakiintumisen huomaa Sallin mukaan siitä, että akkuvarastot eivät ole enää harvinaisuus vaan enemmän jo keskusteluissa vakiintunut, että aina kun puhutaan aurinkosähköjärjestelmästä, niin puhutaan myös akkuvarastosta. Määrällisesti Sallin mukaan akkuvarastojärjestelmiä on asennettu asuinrakennuksiin useita satoja ehkä jopa tuhansia.

Asiantuntijoiden mielestä suurin houkutteleva ominaisuus akkuvarastoissa on mahdollisuus osallistua reservimarkkinoille. Tämä on herättänyt paljon kiinnostusta niin kuluttajissa, yrityksissä ja taloyhtiöissä, koska reservimarkkinasta saatavilla korvauksilla nopeutetaan tällä hetkellä investoinnin takaisinmaksuaikaa.

Jokaisessa haastattelussa nousi esiin kuluttajien varovaisuus tehdä investointipäätös koskien akkuvarastojärjestelmää. Tähän varovaisuuteen vaikutti ihmisten tietoisuus siitä, että hankinta on arvokkaampi nosteessa eli kysynnän noustessa hintakin nousee sekä nykyhetken korkotasot.

Asiantuntijat uskoivat, että akkuvarastojärjestelmien markkinatilanne tulee olemaan vielä enemmän vakiintunut tulevaisuudessa. Kun kiinteistöön asennetaan aurinkosähköjärjestelmä, tulee samalla myös akkuvarasto. Tätä Salli pohjusti uskonnalla, että kiinteistöpuolella tapahtuu kehitystä, jolloin kiinteistöautomaatiolla on parempi kyvykyys huomioida akkuvarasto, jolloin kuormien optimointi paranee. Lisäksi akkuvarastojen kWh-hintojen uskotaan laskevan, joka puoltaa vakiintumista.

Lisäksi Savola sekä Robertsson nostivat esille Fingridin kasvavan reservitarpeen, joka vaikuttaa akkuvarastojärjestelmien markkinatilanteeseen tulevaisuudessa. He uskoivat, että suuren reservitarpeen takia reservimarkkinakorvaukset tulevat pysymään pidemmän aikaa hyvinä huolimatta kasvavasta tarjonnasta. Kuitenkin reservimarkkinoilla tarvittavan kapasiteetin pienentyessä myös saatavat reservimarkkinakorvaukset tulisivat pienentymään markkinan saturoidessa eli markkinoille tulisi ylitarjontaa kapasiteetista. Tällöin akkuvarastojen investointien takaisinmaksuajat suurenevät, kun korvaukset pienenevät.

Asiantuntijoiden mielestä uusiutuvien energianmuotojen käytöllä asuinrakennuksissa on vaikutusta akkuvarastojen markkinaan. Suurin kysyntä akkuvarastoille tulee tahoilta, joilla on jo olemassa oleva aurinkovoimala. Näissä tapauksissa hankittavalla akkuvarastolla halutaan maksimoida aurinkovoimalan omatuotanto. Aikaisemmin kun aurinkosähköjärjestelmät olivat kovassa nosteessa, aurinkovoimaloista tehtiin isompia kuin mitä kiinteistö kulutti, jolloin ylijäämä energia myytiin verkkoon hyvällä hinnalla. Tätä ennen myytyä sähköä halutaan maksimoida nyt omaan käyttöön, koska sähkön myynnistä saatava markkinahinta ei ole niin korkea kuin aurinkosähköjärjestelmien nosteen aikana, jolloin myydystä sähköstä sai korkean tuoton.

4.1.2 Akkuvaraston käyttömahdollisuuksia

Asiantuntijahaastatteluissa käytiin läpi käyttömahdollisuudet, joihin akkuvarastoa voi käyttää. Heidän mukaansa akkuvarastot ja ohjelmistot mahdollistavat omatuotannon varastoinnin, spot-hinnalla halvalla lataamisen ja kalliilla purkamisen, reservimarkkinat, tehopiikkien leikkauksen ja varavoima käytön. Heidän yrityksillensä oli tarjonnassa akkuvarastoja, jotka kykenivät tekemään näitä kaikkia käyttömahdollisuuksia ja ohjelmisto, joka kykeni ohjaamaan käyttömahdollisuuksia

Näistä käyttömahdollisuuksista asiantuntijat näkevät kuluttajille akkuvarasto hankinnan suurimmaksi motiiviksi osallistumisen reservimarkkinoille. Mahdollisiksi motiiveiksi nostettiin omatuotannon varastointi sekä pörssisähköä seuraavan halvan lataamisen ja kalliilla purkamisen.

Suurena motiivina hankinnalle nähtiin tehopiikkien leikkaus, joka korostui haastatteluissa. Tätä perusteltiin liikenteen sähköistymisellä, jolloin kiinteistöjen sähkönkulutus lisääntyy sähköautojen latauksella. Tällöin kiinteistön huipputehon tarve nousee ja parhaillaan on yleistymässä verkkoyhtiöiden tehoerusteiset sähkölaskut. Akkuvarastolla pystytään kompensoimaan tehopiikkejä pienemmäksi, joka näkyy sähkölaskun suuruudessa.

Akkuvarastoille on myös kysyntää kohteissa, joissa ei ole sähköenergian omatuotantoa. Tällöinkin hankinnan motiiveina uskottiin olevan ensisijaisesti reservimarkkinakorvaukset, jolloin uskotaan, että nykyisillä saatavilla korvauksilla voidaan kompensoida omatuotannon puuttuminen sekä huipputehojen leikkaus. Lisäksi mahdolliseksi motiiviksi hankkia akkuvarasto mainittiin varavoimakäyttö. Tähän lisättiin, että aurinkovoimalla pystyy kuitenkin lisäämään akkuvaraston kannattavuutta.

Kuitenkin Savola muistutti, että akkuvarastolla ei pysty tekemään kaikkia käyttömahdollisuuksia samanaikaisesti. Tehomaksun leikkaaminen ja reservimarkkinan hyödyntäminen yhtäaikaisesti on haastavaa. Reservimarkkinakorvaukset perustuvat siihen, kuinka suurella teholla akkuvarasto purkaa verkkoon, jolloin

tarvitaan iso sähköliittymä. Tällöin tehomaksuun perustuvia sähkölaskuja on vaikeaa leikata, koska jos rajoittaa purkaustehoa niin pienentää saatavia korvauksia reservimarkkinoilta.

4.1.3 Akkuvarastosopimukset

Haastattelukysymyksiin akkuvarastosopimuksista vastasivat Savola sekä Robertsson. He edustavat yrityksiä, jotka tekevät akkuvarastojärjestelmille palveluntarjontaa. Lisäksi Salli vastasi aggregoinnista laitevalmistajan näkökulmasta. Molempien asiantuntijoiden edustamat yritykset, tekevät yhteistyötä aggregoivien yritysten kanssa. Tässä yhteistyössä aggregoiva yritys hallinnoi akkuvarastoa kuluttajan puolesta Fingridin suuntaan ja huolehtii akkuvaraston ohjaamisesta, purkamisesta, lataamisesta ja kaupankäynnistä reservimarkkinoille. Palveluntarjontaa tekevät yritykset toimittavat sekä asentavat akkuvarastoja.

Aggregoiva yritys huolehtii, että akkuvaraston kapasiteetti jakautuu kuluttajan ja reservimarkkinan käyttöön. Savolan ja Robertssonin mukaan se, miten akkuvaraston kapasiteetti jakautuu, riippuu aggregoivasta yrityksestä ja akkuvarastosta. Kapasiteetin jakautumisessa he korostivat mahdollisia kokonaispaketteja, jossa aggregoiva yritys valmistaa akut sekä hallinnoi niitä omalla ohjelmistolla. Tällaisilla kokonaispaketeilla aggregoiva yritys pystyy lupaamaan esimerkiksi 15 kW akkuvarastosta kuluttajalle käyttöön koko-aika 10 kW, jolloin 5kW on reservimarkkinakäytössä. Tällaiset ratkaisut ovat heidän mielestään helpoimpia hallinnoida.

Salli lisäsi laitetoimittajan näkökulmasta, että laitevalmistajana halutaan olla mahdollisimman yhteensopiva monien toimijoiden kanssa. Asiantuntijoiden mukaan kokonaispakettien lisäksi on olemassa ratkaisuja, joissa otetaan aggregoivaksi yritykseksi kolmas osapuoli, joka hallinnoi akkuvarastoa omalla sovelluksella, mutta akun on valmistanut toinen taho. Tällaisissa ratkaisuisissa on haasteensa siitä, miten aggregoiva yritys lupaa kuluttajalle sekä Fingridille tietyn kapasiteetin akusta sekä Fingridille tietyn purkaustehon, joka tarvitaan reservimarkkinan tuotteeseen. Tämän takia Fingrid vaatii säätökokeet ennen osallistumista kaupanteeseen reservimarkkinoilla.

Investoinnin tekevä akkuvaraston hankkija myös omistaa akkuvaraston. Hän muodostaa sopimussuhteen aggregoivan yrityksen kanssa, jotta pääsee reservimarkkinaan. Savolan mukaan akkuvaraston omistaja voi myös halutessaan poistua reservimarkkinoilta, muttei avannut tarkemmin asiaa. Lisäksi reservimarkkinoilta mahdollisesti saatavat reservimarkkinakorvaukset jaetaan kuluttajan ja aggregoivan yrityksen välillä siten, että kuluttaja saa isomman osuuden korvauksista. Reservimarkkinakorvauksien jakautumisen suhdetta ei avattu tarkemmin. Reservimarkkinakorvaukset tilitetään kuluttajalle kuukauden välein.

Akkuvaraston hankkija voi maksaa investoinnin monella eri tavalla. Kuluttajalle maksutapoja voi olla kertainvestointi, rahoituksella maksaen lyhennyksiä tai mahdolliset sopimukset, joissa maksuaikaa tietyn verran. Lisäksi molemmilla oli yrityksille tarjolla akkuvarastoille leasing-sopimus mahdollisuuksia.

4.2 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin opinnäytetöitä, joissa on tutkittu akkuvarastojärjestelmien markkinatilannetta ja/tai käyttömahdollisuuksia. Näistä tutkimuksista saatuja tutkimustuloksia käytetään haastatteluvastauksien vertailemiseen ja muodostamaan kokonaiskäsitys akkuvarastojen markkinasta ja käyttömahdollisuuksista sekä näiden kehityksestä.

Akkuvarastojen markkinatilanteesta on tehty tutkimuksia, joista yksi on Christopher Veilamon AMK-opinnäytetyö nimeltään Kotiakut ja niiden markkinatilanne Suomessa. Tässä opinnäytetyössä on käsitelty kotiakkujen (akkuvarastojen) ominaisuuksia, kannattavuutta ja toimintaa sekä niiden markkinatilannetta Suomessa vuonna 2022. (Veilamo. 2022, 2).

Akkuvarastojen markkinatilanne vuonna 2022 Suomessa oli opinnäytetyön mukaan suhteellisen pieni, jossa arvion mukaan akkuvarastoja myytiin muutamia kymmeniä kappaleita. Tilanteeseen vaikutti kuluttajille liian korkeat hankintahinnat sekä huono kannattavuus rahallisesti. (Veilamo. 2022, 29). Tällöin markkinoilla olleet akkuvarastot olivat pääosin Off Grid -järjestelmää varten sekä markkinointiin ei panostettu suuresti. (Veilamo. 2022, 35).

Tulevaisuudesta opinnäytetyössä pohdittiin, että akkuvarastojen tulevaisuus on valoisa, jos akkuvarastojen hinta jatkaa kehitystään eli niiden hankinta muuttuu halvemmaksi. Aurinkosähköjärjestelmien lisääntymisen uskottiin myös lisäävän akkuvarastojen käyttöä, koska kuluttajat haluaisivat vaikuttaa sähkölaskuunsa. (Veilamo. 2022, 35–36.)

Vuonna 2022 akkuvaraston hankinnan päämotiiviksi nähtiin omatuotannon maksimointi eli varastointi. Toisena hankintamotiivina nähtiin akkuvaraston varavoimakäyttö, mikä nähtiin kuitenkin harvinaisempana vaihtoehtona. Yleisempänä hankintakohteena nähtiin omakotitalot, jotka olivat yhteydessä sähköverkkoon ja olivat asentaneet aurinkosähköjärjestelmän. (Veilamo. 2022, 36–37.) Muita akkuvarastojen käyttömahdollisuuksia, joita tunnistettiin vuonna 2022 olivat huipputehon rajoitus sekä spot-hinnalla akun ohjaus. (Veilamo. 2022, 23–25).

Kirjallisuuskatsaukseen toiseksi vertailukohteeksi valikoitui Antti Teliön YAMK-opinnäytetyön nimeltään Akkusähkövarastojen sovellukset, jossa luodaan työtoimeksiantajalle materiaali, jolla voi helposti kuvailla alan ulkopuolisille henkilöille akkusähkövarastojen sovelluksia ja toimeksiantajan tuotteiden soveltuvuutta niiden sovellusten tuottamiseen. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään akkusähkövarastojen teknologian vahvuuksia verrattuna muihin sähkövarastointiteknologioihin nähden. Opinnäytetyössä kuvataan akkuvarastojen käyttömahdollisuuksia sekä Suomen sähkömarkkinoita vuonna 2024. (Teliö. 2024, 2.)

Opinnäytetyö käsittelee akkuvarastojen sovelluksia laajemmassa mittakaavassa kuin asuinrakennukset, mutta tunnistetuista sovelluksista on yhtäläisyyksiä myös asuinrakennusten käyttömahdollisuuksiin. Yhtäläisiä tunnistettuja sovelluksia olivat: reservimarkkina, varavoima, kuorman tasaus sekä omatuotannon maksimointi. (Teliö. 2024, 66–73).

Opinnäytetyössä käsitellään akkuvarastojen markkinatilannetta vuonna 2024 tarkastelemalla akkuvarastojen markkinan kasvua kansallisella tasolla. (Teliö. 2024, 60). Opinnäytetyön mukaan akkuvarastomarkkina tulee kasvamaan merkittävästi globaalisti kuin myös Suomessa. Akkuvarastojen yleistymisen syyksi nähtiin eri-

tyisesti Suomessa säätö- ja reservimarkkinoiden kapasiteetin tarve, johon uskottiin tulevan 2024–2025 aikana uutta akkuvarastokapasiteettia yli 300 MW, jotka kytketään kantaverkkoon. (Teliö. 2024, 62.)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä luvussa käydään läpi työstä saadut tulokset akkuvarastojen markkinasta ja akkuvarastosopimuksista, pohditaan saatujen tuloksien merkitystä sekä työn aikana tehtyjä huomioita. Lisäksi esitetään työstä saatujen tuloksien ja huomioiden pohjalta jatkotutkimuskysymyksiä.

5.1 Akkuvarastojen markkinatilanne

Asiantuntijahaastatteluiden sekä kirjallisuuskatsauksen pohjalta muodostetun kokonaiskuvan perusteella voidaan todeta että, akkuvarastojen markkina on kehittynyt viimeisen parin vuoden aikana valtavasti ja vuonna 2025 Suomessa akkuvarastojen markkinatilanne on nosteessa ja vakiinnuttamassa omaa asemaansa osana kiinteistöjen omatuotantojärjestelmien kokonaisuutta. Markkinatilanteeseen on vaikuttanut muuttunut sähköntuotantorakenne ja akkuvarastoja kohtaan kasvanut mielenkiinto, joka on lisännyt kysyntää ja tarjontaa sekä uutisointia mediassa.

Suurimpina tekijöinä kuluttajien kasvavaan mielenkiintoon ja akkuvarastojen hankintamotiiveina asuinrakennuksiin nähtiin mahdollisuus osallistua reservimarkkinoille sekä sähkölaskuihin yleistyvässä teholaskutusmallissa tehopiikkien tasaus, jotka ovat taloudellisia käyttömahdollisuuksia akkuvarastolle. Muita akkuvaraston käyttömahdollisuuksia on spot-hinnan avulla halvalla lataus ja kalliilla purkaminen sekä varavoima.

Akkuvarastoja on arvion mukaan asennettu asuinrakennuksiin useita satoja, ellei jopa tuhansia. Näistä suurin osa menee kohteisiin, joissa on entuudestaan olemassa aurinkovoimala tai vastaavaa omatuotantoa. Tällöin hankintamotiiviksi nähtiin edellä mainittujen käyttömahdollisuuksien lisäksi omatuotannon maksimointi, jolla parannetaan omatuotantojärjestelmän käyttöastetta.

5.2 Akkuvarastosopimukset

Akkuvarastosopimukset ovat kuluttajan ja palveluntarjoajien välisiä sopimuksia, jossa sopimusosapuolista aggregoiva yritys hallinnoi akkuvarastoa kuluttajan puolesta Fingridin suuntaan ja huolehtii akkuvaraston ohjaamisesta, purkamisesta, lataamisesta ja kaupankäynnistä reservimarkkinoille. Palveluntarjontaa tekevät yritykset toimittavat sekä asentavat akkuvarastoja ja tarjoavat omaa ohjelmistoaan, jolla tehdä pörssiohjaukseen perustuvia ohjauksia. Kuluttaja tekee investoinnin ja täten omistaa akkuvaraston. Investoinnin pystyy maksamaan monella eri tavalla, kuten kertainvestoinnilla, rahoituksella tai maksuajallisilla sopimuksilla.

Aggregoiva yritys huolehtii akkuvaraston kapasiteetin jakautumisesta reservimarkkinan ja kuluttajan käytön välillä. Fingridin kanssa kaupankäyntiä tekee reservimarkkinoilla aggregoiva yritys, joka saa reservimarkkinakorvaukset ja tilittää kuluttajalle reservimarkkinakorvaukset kuukausittain. Saatavat korvaukset ovat markkinaehtoisia, joten ne vaihtelevat markkinatilanteen mukaan, kuitenkin akkuvaraston omistaja saa korvauksista suuremman osan. Korvauksien jakautumisen suhdetta ei avattu tarkemmin.

5.3 Huomiot työstä

Työn alussa asetettu tavoite oli tutustua asuinrakennuksiin tulevien akkuvarastojen erilaisiin taloudellisiin käyttömahdollisuuksiin sekä selvittää markkinatilannetta Suomessa vuonna 2025 ja tarkastella kuluttajille tarjottavia akkusopimuksia hyötyineen. Tähän tavoitteeseen pääsemiseksi alkuun tutustuttiin akkuvarastoihin ja niiden käyttömahdollisuuksiin. Tämä osoittautui haasteelliseksi, koska aiheen termistö oli laaja-alaista sekä ei yhtenäistä, ja sitä kautta myös tiedonetsintä oli haasteellisempaa.

Tutkimustuloksista voidaan todeta, että ne ovat oikeellisia, koska asiantuntija-haastatteluista pystytään huomamaan yhtäläisyyksiä nykyhetkestä, tulevaisuuden näkymistä sekä akkuvaraston taloudellisista käyttömahdollisuuksista. Kui-

tenkin tulosten kattavuus ei ole suuri, koska haastattelukysymyksiin vastanneiden asiantuntijoiden määrä oli pieni sekä tulokset ovat asioita, joita ei numeerisesti pysty mittaamaan. Lisäksi tiettyihin kysymyksiin ei saanut laajempaa vastausta, kuten aggregoinnista saatavaan tulovirran jakamiseen sopimusosapuolten välillä, mutta yritysten edustajat eivät avanneet vastauksia kunnolla, koska tarkempi tieto oli liikesalaisuus.

Asetettuun työn tavoitteeseen päästiin osittain, koska akkuvarastojen markkinasta ja akkuvarastosopimusten hyödyistä saatiin kerättyä tietoa niukasti, mutta kerätyllä tiedolla pystyttiin luomaan kokonaiskuva. Haastateltavilta tuli palautetta, että akkuvarastoista on hyvä tehdä tutkimusta, koska akkuvarastojen hankinta on noussut viimeisen vuoden aikana isoksi keskustelun aiheeksi kuluttajien keskuudessa. Tämä palaute pitää paikkaansa, koska akkuvarastojen tuleminen osaksi omatuotantojärjestelmän vakiota on työn aikana luodun ymmärryksen pohjalta jo tapahtumassa sekä energiantuotanto tarvitsee uutta varastointikapasiteettia, jota akkuvarastot tarjoavat.

5.4 Jatkotutkimuskysymykset

Työssä keskityttiin asuinrakennuksien näkökulmasta akkuvarastojen markkinatilanteeseen sekä taloudellisiin käyttömahdollisuuksiin, joista suurimpana houkuttimena nähtiin reservimarkkinoilta saatavat korvaukset. Myös muut käyttömahdollisuudet vaikuttavat akkuvaraston toimintaan ja kaikkia toimintoja ei pysty suorittamaan yhtäaikaisesti. Tämän tiedon perusteella jatkotutkimuskysymyksenä lähdetään selvittämään sitä, että miten akkuvaraston käyttömahdollisuuksista saadaan paras hyöty irti. Tämän voisi selvittää simuloimalla erilaisia tilanteita, joissa painotetaan enemmän toista käyttömahdollisuutta kuin toista.

Jatkotutkimuskysymyksenä akkuvarastojen tulevaisuudesta tutkitaan sitä, että millainen vaikutus tulee olemaan akkuvarastojen hankintaan asuinrakennuksissa, kun reservimarkkinoiden kapasiteettitarve on täytetty. Nouseeko jokin toinen käyttömahdollisuus selvästi ylitse muiden kiinnostavuudessaan. Tämä ei ole kuitenkaan hetkeen ajankohtainen asia.

Toisena tulevaisuuden jatkotutkimuskysymyksenä olisi se, että millainen tilanne akkuvarastoilla on osana omatuotantojärjestelmää. Tuleeko akkuvarasto huomioidua jo suunnitteluvaiheessa, koska aurinkosähköjärjestelmät tulevat olemaan jokaisessa uudessa rakennuksessa, kun tulevaisuudessa se on teknisesti mahdollista.

LÄHTEET

Ahlsell. n.d. Aurinko- ja tuulivoima-akku, ajovoima akku avoin Trojan. Viitattu 16.4.2025. <https://www.ahlsell.fi/products/sahko/tyo--ja-turvavaliineet-mittarit-ja-paristot-646787-1/87-paristot-ja-akut/akut/8745115>

Ahoranta, J. 2016. Sähkötekniikka. 15. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Andersen, M., Heikkilä, T., Kortetmäki, A., Lehto, I., Nikander, M. Orrberg, M. & Ylinen, M. 2023. ST-käsikirja 40. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Sähkötieto ry.
<https://severi-sahkoinfo-fi.libproxy.tuni.fi/item/6682?search=st%20kasi-kirja%2040>

Battery Empire. n.d. Green Cell LiFePO4 akku 100Ah 12.8V 1280Wh Litium-rauta-fosfaatti purjeveneisiin, aurinkosähköihin, matkailuvaunuihin. Viitattu 16.4.2025. <https://batteryempire.fi/lifepo4-akut/4098-2714088-akku-litium-rauta-fosfaatti-lifepo4-green-cell-12v-12-8v-125ah-aurinkosahkojarjestelmille-matkailuautoille-ja-veneille.html>

Cactos. 11.4.2024. Sähkövarastot: Kaikki, mitä sinun tulee tietää BESS-järjestelmästä. Viitattu 16.4.2025. <https://cactos.com/fi/artikkelit/sahkovarastot>

Cactos. 8.2.2024. Sähkön varastointi – Mitä se on ja milloin energian varastointi kannattaa? Viitattu 16.4.2025. <https://cactos.com/fi/artikkelit/sahkon-varastointi>

Caruna. n.d. Tuotantolaitteiston liittäminen sähköverkkoon. Viitattu 16.4.2025. <https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkontuo.tanto/tuotantolaitteiston-liittaminen>

Energiateollisuus. 11.1.2024. Sähkövuosi 2023: Puhdas sähköntuotanto kasvoi, päästöt ja hinnat romahtivat. Viitattu 16.4.2025. <https://energia.fi/tiedotteet/sahkokuusi-2023-puhdas-sahkontuotanto-kasvoi-paastot-ja-hinnat-romahtivat/>

Energiateollisuus. 15.1.2025. Sähkön vuosi 2024: päästöt vähenivät 25 %, hinta palautui normaalitasolle, sähkön tuotannossa uusia ennätyksiä. Viitattu 16.4.2025. <https://energia.fi/tiedotteet/sahkon-vuosi-2024-paastot-vahenivat-25-hinta-palautui-normaalitasolle-sahkon-tuotannossa-uusia-ennatyksia/>

Energiavirasto. 10.2.2025. Sähkön siirtolaskutukseen valmistellaan muutoksia – tehomaksu tasaamaan kulutusta. Viitattu 16.4.2025. <https://energiavirasto.fi/-/sahkon-siirtolaskutukseen-valmistellaan-muutoksia-tehomaksu-tasaamaan-kulutusta>

European Commission. 22.4.2024. REPowerEU. Viitattu 16.4.2025. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

European Council. 17.3.2025. Fit for 55. Viitattu 16.4.2025. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>

Europex. 2025. Who we are, Viitattu 16.4.2025. <https://www.europex.org/about/association/#mission>

Fingrid Oyj. n.d. Kotitaloudet sähkön reservimarkkinoille. Viitattu 16.4.2025. <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/kuluttajatietoa/kotitaloudet-sahkon-reservimarkkinoilla/>

Fingrid Oyj. n.d. Kuinka osallistua reservimarkkinoille. Viitattu 16.4.2025. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-markkinoille-osallistuminen/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/>

Fingrid Oyj. 5.10.2023. Miksi sähköjärjestelmän vakaa taajuus on tärkeää? Viitattu 16.4.2025. <https://www.fingridlehti.fi/miksi-sahkojarjestelman-vakaa-taajuus-on-tarkeaa/>

Fingrid Oyj. n.d. Miten sähkön hinta muodostuu? Viitattu 16.4.2025. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/miten-sahkon-hinta-muodostuu/>

Fingrid Oyj. 27.3.2024. Reservien tarve kasvaa kohisten. Viitattu 16.4.2025. <https://www.fingridlehti.fi/reservien-tarve-kasvaa-kohisten/>

Fingrid Oyj. n.d. Reservimarkkinat. Viitattu 16.4.2025. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservilajit>

Fingrid Oyj, n.d. Varttitase eli 15 minuutin taseselvitysjakso. Viitattu 16.4.2025. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pohjoismainen-tasehallinta/varttitase/#taustaa>

Finlex. 28.11.2024. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi sähkömarkkinalain ja sähköntoimitussopimusten vertailuvälineestä annetun lain muuttamisesta. Viitattu 16.4.2025. <https://www.finlex.fi/fi/hallituksen-esitykset/2024/197>

Gycx Solar. 2024. 9 types of battery – What are the best batteries for energy storage. Viitattu 16.4.2025. <https://gycxsolar.com/fi/9-types-of-battery-the-best-for-energy-storage/>

IEA. 2024. Renewables 2024. Viitattu 16.4.2025. <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>

Kettunen, T. 2024. Kuluttajille myytävät kotiakkusopimukset yleistymässä – kotitalouksien on syytä edetä hankinnassa varoen. Motiva Oy. Viitattu 16.4.2025. https://www.motiva.fi/ajankohtaista/uutiset/uutiset_2024/kuluttajille_myytavat_kotiakkujarjestelmat_yleistymassa_-_kotitalouksien_on_syyta_edeta_hankinnassa_harkiten.21745.news

Linja-aho, V., Pänkäläinen, M., Turpeinen, T., Stenbäck, L-M. & Orrberg, M. 2024. ST-Käsikirja 42. Akkuenergiavarastot. Sähkötieto ry. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/9339?search=st%20kasikirja%2042>

Motiva. 3.10.2024. Energiankäytössä ja -tuotannossa on siirrytty uuteen aikaan – uusia tapoja ja mahdollisuuksia myös kotitalouksille. Viitattu 16.4.2025.

https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2024/energiankaytossa_ja_-tuotannossa_on_siirrytty_uuteen_aikaan_-_uusialtapoja_ja_mahdollisuuksial_myo_s_kotalouksille.21589.news

Motiva. 2025. Uusiutuvan energian RED II-direktiivi. Viitattu 16.4.2025.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/uusiutuvan_energian_red_ii_-direktiivi

Motiva. 2024. Ylijäämä­sähkön myynti. Viitattu 16.4.2025. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

Nord Pool. n.d. About Us. Viitattu 16.4.2025.

<https://www.nordpoolgroup.com/en/About-us/our-business/>

RakentajaPRO. 2024. Pientalon sähkövarasto kannattaisi, jos takaisinmaksuaika lyhenisi. Viitattu 16.4.2025. <https://rakentaja.pro/artikkelit/pientalon-s%C3%A4hk%C3%B6varasto-kannattaisi-jos-takaisinmaksuaika-lyhenisi/>

<https://rakentaja.pro/artikkelit/pientalon-s%C3%A4hk%C3%B6varasto-kannattaisi-jos-takaisinmaksuaika-lyhenisi/>

Ralos. 26.9.2024. Kotiakkujen invertterit. Viitattu 16.4.2025. <https://ralos.fi/kotiakkujen-invertterit/>

<https://ralos.fi/kotiakkujen-invertterit/>

Sonepar. n.d. LEOCH - Akku lyijy suljettu - Leoch LPCG12-60A geeliakku T6+.

Viitattu 16.4.2025. <https://shop.sonepar.fi/catalog/fi-fi/products/leoch-akku-lyijy-suljettu-leoch-lpcg12-60a-geeliakku-t6--100117079>

<https://shop.sonepar.fi/catalog/fi-fi/products/leoch-akku-lyijy-suljettu-leoch-lpcg12-60a-geeliakku-t6--100117079>

Teliö, A. 2024. Akkusähkövarastojen sovellukset. Energiavarastointi YAMK. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/867223/Teli%C3%B6_Antti.pdf?sequence=2&isAllowed=y

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/867223/Teli%C3%B6_Antti.pdf?sequence=2&isAllowed=y

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/867223/Teli%C3%B6_Antti.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Tukes. n.d. Aurinkosähköjärjestelmät. Viitattu 16.4.2025.

<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat#d4989be1>

Turun Yliopisto. 18.6.2024. Venäjän hyökkäys kiihdyttää EU:n siirtymää uusiutuvaan energiaan. Viitattu 16.4.2025. <https://www.utu.fi/fi/ajankohtaista/uutinen/venajan-hyokkays-kiihdyttaa-eun-siirtymaa-uusiutuvaan-energiaan>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 3.11.2023. Uusiutuvan energian RED III -direktiivi voimaan marraskuussa – Työryhmä selvittämään bioenergian kestävyteen liittyvän lainsäädännön muutostarpeita. Viitattu 16.4.2025. <https://tem.fi/-/uusiutuvan-energian-red-iii-direktiivi-voimaan-marraskuussa-tyoryhma-selvittamaan-bio-energian-kestavyyteen-liittyvan-lainsaadannon-muutostarpeita>

Veilamo, C. 2022. Kotiakut ja niiden markkinatilanne Suomessa. Sähköisen talotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/749078/Veilamo_Christofer.pdf?sequence=2

Wirmax. 2024. Haluatko mukaan sähkön reservimarkkinaan? Viitattu 16.4.2025. <https://wirmax.fi/kotiakku/>

Ympäristöministeriö. 2024. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistus. Viitattu 16.4.2025. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus>

LIITTEET

Liite 1. Haastattelukysymykset 1 (3)

Yrityksestä

1. Kuinka kauan yrityksenne on toiminut energianvarastoinnin parissa?
2. Tarjoatteko muita energianvarastoinnin ratkaisuja akkuvarastojen lisäksi?
Jos tarjoatte, mitä ratkaisuja ne ovat?
3. Minkälaisia akkuvarastoja tarjoatte pientaloille ja omakotitaloille? Voitteko kertoa akkutyypin ja kapasiteettien yksityiskohdat?
4. Minkälaisia akkuvarastoja tarjoatte kerrostaloille? Voitteko kertoa akkutyypin ja kapasiteettien yksityiskohdat?

Akkuvarastojen markkinasta

5. Minkälainen on akkuvarastojen markkinatilanne tällä hetkellä?
6. Millaisena näette akkuvarastojen markkinan kehityksen seuraavien viiden vuoden aikana?
7. Onko akkuvarastojen yleistyminen lisännyt kilpailua energianvarastoinnin alalla?
8. Miten uusiutuvien energianmuotojen käyttö asuinrakennuksissa on vaikuttanut akkuvarastojen markkinaan?
9. Onko akkuvarastoille kysyntää ilman omatuotantoa? Jos on, mitkä tekijät motivoivat hankintaa?

Akkuvarastoista

10. Minkälaisia käyttömahdollisuuksia akkuvarastonne luo pientaloille ja omakotitaloille?
11. Minkälaisia käyttömahdollisuuksia akkuvarastonne luo kerrostaloille?
12. Minkälaisiin kohteisiin akkuvarastoja hankitaan eniten?
13. Minkälainen rooli akkuvarastolla on kiinteistön omatuotannossa?
14. Mikä on suurin motiivi kuluttajalla hankkia akkuvarasto?

Akkuvarastosopimuksista

15. Toimitteko aggregoivana yrityksenä tai teettekö yhteistyötä aggregoivan yrityksen kanssa? Jos kyllä, kuinka kauan olette toimineet alalla?
16. Minkälaisen tulevaisuuden näette aggregoiville yrityksille?
17. Minkälainen on strategianne aggregoivana yrityksenä?
18. Miten akkuvaraston käyttö aggregoinnissa jaetaan kuluttajan kanssa osallistuessaa reservimarkkinoille? Onko akkuvaraston kapasiteetista sovittuna kuluttajalle jokin tietty osuus, joka on aina hänen käytettävissä.
19. Miten aggregoinnista saatava mahdollinen tulovirta jaetaan kuluttajan kanssa?
20. Minkälaisella sopimuksella asiakas akkuvarastosta maksaa? (Esim. kuukausimaksu, osamaksu, kertainvestointi)

3 (3)

21. Mitä erilaisia motiiveja ja rahallisia kannusteita asiakkaalla on investoida akkuvarastoon? (Esim. omatuotannon maksimointi, sähkönostosopimus akkutoimittajalta, tehojen hallinta, varavoiman saanti sähkökatkoissa, ansainta aggregoinnista, jne.)
22. Minkälaisia toiminnallisuuksia edellä mainituista tarjoamillanne akuilla pystyy tekemään? Entä mitä ei pysty?