

Kukka Leppänen

# SÄHKÖNJAKELUVERKKOON LIITTYVÄT SAAREKEKÄYTÖT, KÄYTTÖTAPAUKSET JA NIIDEN KANNATTAVUUDEN PERUSTEET

Diplomityö  
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Pertti Järventausta  
Sami Repo  
Lokakuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Kukka Leppänen: Sähkönjakeluverkkoon liittyvät saarekekäytöt, käyttötapaukset ja niiden kannattavuuden perusteet

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Sähkötekniikka

Lokakuu 2023

Energian hintojen nousun, kasvavan energiantarpeen ja ilmastonmuutoksen myötä hajautettujen energioresurssien käyttö yleistyy. Hajautetut energioresurssit voivat olla uusiutuvia tai uusiutumattomia energiateknologioita hyödyntäviä tuotantolaitoksia tai energiavarastoja. Hajautetut energioresurssit mahdollistavat sähkönjakeluverkkoon liittyvät saarekekäytöt, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi toimitusvarmuuden parantamisessa ja energiakustannusten leikkaamisessa. Saarekekäyttöön tarvitaan energioresurssien lisäksi kuormia sekä verkon- tai energianhallintajärjestelmä.

Diplomityön tarkoituksena oli tutkia sähkönjakeluverkkoon liittyviä saarekeverkkoja, niiden saarekekäyttöä, käyttökohteita sekä selvittää saarekekäytön taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Työssä oli tarkoituksena selvittää saarekekäytön nykytilaa Suomessa kyselytutkimuksen avulla, tarkastella saarekekäytön taloudellista kannattavuutta esimerkiverkossa sekä luoda toimenpide-ehdotuksia edistämään saarekekäytön laajempaa hyödyntämistä.

Kyselytutkimuksen perusteella yleisimmin käytössä oli polttoainekäyttöisiä varavoimalaitteistoja, jotka otettiin käyttöön manuaalisesti ohjaten lyhyen katkon kautta. Akkupohjaisia ratkaisuja käytettiin vain yksittäisissä tapauksissa. Siirrettävät varavoimalaitteistot olivat yleisempi ratkaisu, koska niillä on enemmän käyttökohteita kuin kiinteillä varavoimalaitteistoilla. Varavoimalaitteistoilla oli varauduttu useita päiviä tai viikkoja kestäviin sähkönjakelun häiriöihin.

Sähköverkkoyhtiöt hyödyntävät saarekeratkaisuja yleisimmin keskeytyskustannusten pienentämiseen vikakeskeytyksissä tai suunnitelluissa keskeytyksissä. Nykyisen verkkoliiketoiminnan valvontamallin näkökulmasta maakaapelointi on saarekekäyttöä kustannustehokkaampi vaihtoehto verkon toimitusvarmuuden kehittämiseen.

Loppukäyttäjät hyödyntävät saarekeratkaisuja energiakustannuksissa säästämiseen tai välttääkseen sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuvia haittoja. Maatilayrittäjillä on oltava eläintensuojelumääräysten ja erilaisten tukien velvoittamana varavoimalaitteisto turvaamaan eläinten hyvinvointia ylläpitävien laitteistojen toiminta. Varavoimalaitteistoja käytetään myös estämään tuotteiden pilaantumista pitkien sähkökatkojen aikana.

Kyselyn perusteella jakeluverkkoyhtiöt ja maatilayrittäjät olisivat valmiita kehittämään toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluita, jos niiden kustannukset olisivat kummallekin osapuolelle liiketaloudellisesti kannattavia ja toteutus teknisesti toimiva. Tarkasteltaessa saarekekäytön taloudellista kannattavuutta jakeluverkkoyhtiön kannalta huomattiin, että ostamalla saarekekäyttö palveluna maatilalta esimerkiverkon tapauksessa palvelun hinnan perustuessa kulutetun polttoaineen hintaan oli mahdollisuus kustannussäästöihin. Keskeytystilanteessa loppukäyttäjän kannattaa aina siirtyä saarekekäyttöön haittojen minimoimiseksi. Korkean sähkön hinnan aikaan saarekekäytön todettiin olevan loppukäyttäjälle kannattavaa sähkön hinnan ollessa yli 50–80 snt/kWh riippuen polttoaineen hinnasta ja varavoimalaitteiston polttoaineenkulutuksesta.

Saarekekäytön laajempi hyödyntäminen vaatii vielä tarkennuksia asiaa koskeviin valtakunnallisiin säädöksiin. Lisäksi jakeluverkkoyhtiöiden, saarekeratkaisuiden omistajien ja ulkoisten palveluntarjoajien on kehitettävä liiketoiminta- ja palvelumalleja saarekekäytölle, joustopalveluille ja energiayhteisöille. Myös jakeluverkkoyhtiöiden ja loppukäyttäjien välisiin toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluihin liittyviä sopimus-, omistajuus- ja vastuunjakokysymyksiä tulee selvittää. Eri toimijoiden tulisi osallistua saarekekäyttöjen kehittämiseen sekä varautua sähkökatkoihin varavoimalaitteistoilla tukeakseen yhteiskunnan toimintaa. Saarekekäyttömahdollisuus sekä hajautetut energioresurssit on huomioitava laajemmin osana rakennusten suunnittelua ja energioresursseihin, saarekekäyttöön sekä energiayhteisöihin liittyvää tiedotusta sekä neuvontaa tulee lisätä.

Avainsanat: saarekekäyttö, mikroverkko, hajautetut energioresurssit, varavoima

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Kukka Leppänen: Island operation in the electricity distribution network, use cases and fundamentals of their profitability  
Master of Science Thesis  
Tampere University  
Electrical Engineering  
October 2023

---

Because of rising energy prices, increase in electricity demand and climate change, the use of distributed energy resources is becoming more common. Distributed energy resources can be electricity generation facilities using renewable or nonrenewable sources of energy or electrical energy storages. Distributed energy resources enable intended island operation in the distribution network, which can be used to improve the security of supply and reduce energy costs. In addition to energy resources, islanding requires loads and a grid or energy management system.

The purpose of this thesis was to study microgrids in the distribution network, their island operation, applications, and factors affecting the financial viability of island operation. The objective of the study was to investigate the current state of island operation in Finland through a survey, examine the commercial viability of island operation in an example network and create proposals for measures to promote the use of island operation.

According to the survey, the most common type of backup power systems was fuel-fired, which was manually activated via a short outage. Battery-based backup systems were used only in individual cases. Mobile backup power systems were a more common solution because they have more applications than fixed solutions. Backup power systems were designed to supply power in electricity supply interruptions lasting from several days to several weeks.

Microgrid solutions are most commonly used by distribution network operators to reduce outage costs in case of fault outages or planned outages. From the perspective of the current regulatory methods of the distribution prices of electricity, underground cabling is a more cost-effective option than islanding for developing network security of supply.

End-users use microgrids to reduce electricity costs or to avoid the damage caused by outages. Farmers are required by animal welfare regulations and various subsidies to have a backup power system to ensure the operation of equipment to maintain animal welfare. Backup power systems are also used to prevent spoilage of products during long power outages.

The survey showed that distribution network operators would be willing to use, and farmers would be willing to offer security of supply and capacity flexibility services if the solution would be commercially viable for both parties and the implementation was technically feasible.

When examining the economic viability of islanding from the perspective of distribution network operators, it was found that by purchasing islanding as a service from the farm in the case of the example network, there was the potential for cost savings when the price of the service was based on the price of the fuel consumed. From the end-user's point of view, it is always worthwhile to switch to island mode in the event of an outage, as this avoids the harm caused by an outage. However, islanding in times of high electricity prices was profitable for end-user only when the electricity price was above 50-80 cents/kWh depending on the fuel prices and the fuel consumption of the backup power system.

More extensive use of intended island operation will require further clarification of the relevant national regulations. In addition, distribution network companies, microgrid owners and service providers need to develop business and service models for island operation, flexibility services and energy communities. Contract, ownership and responsibility issues for security of supply and capacity flexibility services between DSOs and end-users also need to be further clarified. Various parties involved should contribute to the development of island operation and to the provision of back-up power in case of power outages in order to support the functioning of society. The possibility of island operation and distributed energy resources should be more widely considered in construction, and information and consultation on energy resources, island operation and energy communities should be increased.

Keywords: island operation, microgrid, distributed energy resources, backup power

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Tampereen yliopistolle osana Sähkötutkimuspoolin sekä Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskuksen (STEK) rahoittamaa Sähkönjake-luverkon saarekekäyttöratkaisut -projektia vuoden 2023 aikana. Työn ohjaajana ja tarkastajana toimi Tampereen yliopiston Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunnan sähkötekniikan yksikön professori Pertti Järventausta. Työn toisena tarkastajana toimi Tampereen yliopiston Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunnan sähkötekniikan yksikön professori Sami Repo.

Haluan kiittää Pertti Järventaustaa loistavasta ohjauksesta, kiinnostavan diplomityöaiheen tarjoamisesta ja idearikkaista pohdinnoista ohjaustapaamisissa. Lisäksi haluan kiittää projektissa mukana ollutta Tampereen yliopiston ja ammattikorkeakoulun tiimiä sekä muita projektiin osallistuneita avusta kyselytutkimuksen toteuttamisessa. Kiitokset ovat ansainneet myös kaikki kyselytutkimukseen vastanneet: kiitos vastauksista sekä hyvistä pohdinnoista ja uusista näkökulmista.

Kiitos myös läheisille hauskoista hetkistä opiskelujen lomassa ja äidille oikeinkirjoituksen tarkastamisesta.

Tampereella, 2.10.2023

Kukka Leppänen

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. SÄHKÖNJAKELUVERKKOON LIITTYVÄT SAAREKEKÄYTÖT .....	3
2.1 Sähköverkon saarekkeen energiaresurssit ja kuormat .....	4
2.1.1 Dieselgeneraattori .....	5
2.1.2 Aurinkovoimala .....	6
2.1.3 Polttokenno .....	7
2.1.4 Energiavarastot .....	7
2.1.5 Saarekeverkon kuormat .....	9
2.2 Saarekekäyttö .....	9
2.3 Saarekeratkaisujen sijainti .....	11
2.4 Saarekkeen käyttö- ja hyödyntämistavat .....	12
2.5 Saarekekäyttö verkkoliiketoiminnan valvonnan näkökulmasta .....	14
2.6 Esimerkkejä sähkönjakeluverkon saarekkeista .....	17
3. SÄHKÖVERKON SAAREKKEET JA ENERGIAYHTEISÖT .....	20
4. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTON HANKINTA .....	23
4.1 Kyselytutkimus tutkimusmenetelmänä .....	23
4.2 Kyselytutkimuksen kohderyhmät .....	25
4.3 Kyselytutkimuksen toteutus .....	26
5. KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET JA ANALYYSI .....	31
5.1 Sähköverkkoyhtiöille teetetyn kyselyn tulokset .....	32
5.1.1 Verkkoyhtiön omat saarekeratkaisut .....	32
5.1.2 Asiakkaiden saarekekäytöt verkkoyhtiön verkkoalueella .....	36
5.1.3 Saarekekäytön kehitystarpeet ja mahdollisuudet .....	39
5.2 Maatilayrittäjille teetetyn kyselyn tulokset .....	40
5.3 Yhteenveto kyselytutkimuksen tuloksista .....	55
6. SAAREKEKÄYTÖN TALOUDELLISEN KANNATTAVUUDEN PERUSTEET .....	60
6.1 Saarekekäytön taloudellisen kannattavuuden arviointi .....	60
6.2 Käyttötapausten taloudellisen kannattavuuden arviointi esimerkkiverkossa .....	62
7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET .....	74
8. YHTEENVETO .....	81
LÄHTEET .....	85
LIITE A: KYSELY JAKELUVERKKOYHTIÖILLE .....	90
LIITE B: KYSELY MAATILAYRITTÄJILLE .....	94
LIITE C: KYSELY KAUPAN ALAN YRITYKSILLE JA HUOLTOASEMILLE .....	98

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

AC	Alternating current, vaihtovirta
AJK	Aikajälleenkytkentä
CHP	Combined heat and power, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto
DC	Direct current, tasavirta
FCR-N	Frequency Containment Reserve – Normal, taajuusohjattu käyttöreservi
KAH	Keskeytyksestä aiheutunut haitta
KJ	Keskijännite, pääjännite 20 kV
MTK	Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto
PEM	Proton Exchange Membrane, protonien vaihto membraani
PJ	Pienjännite, pääjännite 0,4 kV
PJK	Pikajälleenkytkentä
SOFC	Solid oxide fuel cell, kiinteäoksidikemno
UPS	Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön virransyöttö
V2G	Vehicle-to-Grid, sähkönsyöttö ajoneuvosta sähköverkkoon
V2H	Vehicle-to-Home, sähkönsyöttö ajoneuvosta kotitalouteen

# 1. JOHDANTO

Hajautettu sähköenergian tuotanto on yleistynyt viime vuosina. Energian hinnan nousu, kasvava energiatarve sekä ilmaston muutos ovat hajautettujen energiaressien lisääntyvän käytön taustalla. Myös loppukäyttäjillä on käytössä aiempaa enemmän omia hajautettuja energiaressseja. Hajautetuilla energiaressseilla tarkoitetaan energiantuotantolaitoksia tai energiavarastoja, jotka ovat usein kapasiteetiltaan pienempikokoisia ja sijaitsevat hajautetusti liitettynä jakeluverkkoon lähellä kulutusta. (IEEE Std 2030.9–2019) Niiden tuottamaa energiaa pyritään hyödyntämään paikallisesti. Hajautetut energiaressit mahdollistavat sähköjakeluverkkoon liittyvät saarekekäytöt.

Sähköverkon saarekekäytöstä voi olla hyötyä sekä jakeluverkkoyhtiöille että loppukäyttäjille. Sähköverkon saarekkeita ja varavoimalaitteita on perinteisesti käytetty varavoimana sähköjakelun häiriöiden aikana suojaamaan kriittisiä toimintoja ja kuormia, kuten sairaaloita, teollisuuslaitoksia ja suurmaataloutta. Sähköverkon saarekekäytöllä voidaan kuitenkin muissakin tilanteissa parantaa toimitusvarmuutta sekä pienentää sähkökatkoista ja korkeista sähköhinnoista aiheutuvia kustannuksia. (Soshinskaya et al. 2014) Esimerkiksi sähköpulan, vikatilanteiden tai sähköjakeluverkon huoltokatkojen aikana saarekekäytöllä voidaan mahdollistaa sähköjakelun jatkuminen saarekkeessa oleville loppukäyttäjille. Saarekekäytössä voidaan hyödyntää sähköverkkoyhtiöiden resurssien lisäksi loppukäyttäjien omistamia energiaressseja. Helpottaakseen energiaressien hankintaa loppukäyttäjät voivat hankkia yhdessä energiaressseja esimerkiksi energia-yhteisöiden avulla.

Tämän diplomityön tavoite on kartoittaa saarekekäytön nykytilaa Suomessa sekä luoda toimenpide-ehdotuksia, joiden avulla saarekekäyttö voisi yleistyä. Työssä käsitellään sähköjakeluverkkoon liittyviä AC-saarekeverkkoja ja niiden suunniteltuja saarekekäyttöjä. Työssä pyritään saamaan vastaus seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Tutkimuskysymys 1: Mitä sähköjakeluverkon saarekekäytöllä tarkoitetaan ja mitä saarekeverkolta vaaditaan?
- Tutkimuskysymys 2: Millaisia saarekekäyttöjä jakeluverkkoyhtiöillä ja heidän asiakkaillaan Suomessa on käytössä tai suunnitteilla?
- Tutkimuskysymys 3: Mitkä tekijät vaikuttavat saarekekäytön taloudelliseen kannattavuuteen?

- Tutkimuskysymys 4: Minkälaisia toimenpiteitä vaaditaan, ja miten saarekekäyttöä pitää kehittää, jotta saarekekäyttö yleistyisi?

Tutkimuksessa käytetään tutkimusmenetelminä kirjallisuuskatsausta ja kyselytutkimusta. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastataan luvussa 2, jossa selvitetään kirjallisuuskatsauksen avulla käsitettä saarekekäyttö, edellytyksiä saarekekäytölle, erilaisia käyttötapauksia sekä millaisia sähköverkon saarekkeita Suomessa on. Tämän jälkeen diplomityössä käsitellään luvussa 3 erilaisia energiayhteisöjä, sekä sitä, miten energiayhteisöjä ja saarekeverkkoja voidaan hyödyntää yhdessä.

Työn soveltava osuus koostuu kyselytutkimuksesta sekä tarkasteluista, joilla selvitetään sähkönjakeluverkossa sijaitsevan saarekekäytön taloudellista kannattavuutta erilaisissa käyttötapauksissa.

Luvussa 4 kuvataan kyselytutkimusta tutkimusmenetelmänä, kyselyn vastaajajoukon valintaperusteita ja kyselytutkimuksen toteutusta. Kyselytutkimuksessa kartoitetaan jakeluverkkoyhtiöiden omia saarekeratkaisuja sekä yhtiöiden verkkoalueella olevia asiakkaiden saarekeratkaisuja, niiden käyttöä, mahdollisia käytössä havaittuja haasteita sekä hyödyntämistä tulevaisuudessa. Lisäksi erillisillä kyselyillä kartoitetaan kaupan alan yrityksillä ja huoltoasemilla sekä maatiloilla käytössä olevia varavoimalaitteistoja, niiden saarekekäyttömahdollisuuksia, käytössä havaittuja haasteita sekä hyödyntämistä tulevaisuudessa. Tutkimuskysymykseen 2 vastataan luvussa 5, jossa käydään läpi kyselytutkimuksen tuloksia.

Tutkimuskysymykseen 3 vastataan luvussa 6, jossa tarkastellaan erilaisten käyttötapauksen vaikutusta saarekekäytön taloudelliseen kannattavuuteen. Luvussa muodostetaan kokonaiskuva kirjallisuuskatsausta hyödyntäen erilaisten tekijöiden vaikutuksesta saarekekäytön kannattavuuteen. Tämän jälkeen tarkastellaan saarekekäytön taloudellista kannattavuutta kyselytutkimuksessa ilmenneiden käyttötapauksen perusteella.

Luvussa 7 esitetään kirjallisuuskatsauksen, kyselytutkimuksen ja kannattavuustarkastelujen pohjalta johtopäätöksiä saarekekäytöstä ja sen hyödyntämispotentiaalista. Tutkimuskysymykseen 4 vastataan muodostamalla kyselyn vastausten, kirjallisuuskatsauksen ja luvun 6 päätelmien perusteella toimenpide-ehdotuksia, jotka auttaisivat lisäämään saarekekäytön hyödyntämistä tulevaisuudessa.



## 2. SÄHKÖNJAKELUVERKKOON LIITTYVÄT SAAREKEKÄYTÖT

Sähköverkon saarekekäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa rajattu osa sähköverkkoa toimii suunnitellusti erillisenä osana muusta sähköverkosta, eli saarekkeena. Sähköverkon saarekettä voidaan kutsua myös mikroverkoksi. Saarekkeessa sähkönjakelua voidaan jatkaa hajautettujen energiaresurssien avulla. (Planas et al. 2015) Sähköverkon saarekeita voi olla pien- tai keskijänniteverkossa.

Saarekeverkossa on saarekekäytön mahdollistamiseksi oltava hajautettuja energiaresursseja, kuormia sekä verkon- tai energianhallintajärjestelmä (Faure et al. 2017). Saarekeverkon toteutus kuitenkin vaihtelee tapauskohtaisesti taloudellisten seikkojen ja saarekeverkon rakentamisen taustalla olevien syiden mukaan (Hirsch et al. 2018). Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva saarekeverkosta energiaresursseineen ja kuormineen.



**Kuva 1.** Yleisen jakeluverkon osana toimivan saarekeverkon periaatekuva (Faure et al. 2017, muokattu).

Sähköverkon saareke voi olla kokonaan muusta sähköverkosta irrallinen oma saarekeverkkonsa tai se voi toimia osana sähkönjakeluverkkoa, josta se voidaan tarvittaessa irrottaa saarekekäyttöön. Normaalitylessä saarekekäyttöön kykenevä verkon osa on liitettyneenä muuhun verkkoon liittymiskohdan kautta, ja se siirtyy saarekekäyttöön esimerkiksi syöttävässä verkossa tapahtuneen vian seurauksena (Faure et al. 2017).

Saarekeverkko voi olla vaihtovirta- eli AC-verkko tai tasavirta- eli DC-verkko (Planas et al. 2015). Tässä työssä käsitellään osana sähkönjakeluverkkoa toimivia AC-saarekeverkkoja. Seuraavaksi kuitenkin lyhyt kuvaus esimerkkinä DC-saarekeverkosta. Suommenniemessä sijaitsee energiayhtiö Suur-Savon Sähkön omistama kokeiluverkko, jota voidaan käyttää saarekkeena akuston avulla. Pienjännitteinen kokeiluverkko on liitetty verkkoyhtiö Järvi-Suomen Energian keskijänniteverkkoon. (Nuutinen et al. 2013) Akusto

syöttää pienjänniteverkkoa, johon kuuluu neljä asiakasta. Tasajänniteverkkoon on liitettyä lisäksi aurinkosähköjärjestelmä sekä kulutusjouston mahdollistavaa lämmitystä. (Partanen 2018)

Järjestelmä siirtyy saarekekäyttöön, kun keskijänniteverkossa on vikatilanne. Takaisin keskijänniteverkkoon liitytään, kun akusto ei pysty enää ylläpitämään tarvittavaa jännitetasoa tai vikatilanteen ollessa ohi. (Lana et al. 2017) Järjestelmää on käytetty saarekkeena useita kertoja, ja se pystyy ylläpitämään saarekettä useita tunteja. Suur-Savon Sähkö hyödyntää akustoa verkon normaalissa käyttötilanteessa FCR-N-markkinoilla (Frequency Containment Reserve) eli taajuusohjatuilla käyttöreservimarkkinoilla sekä loistehon kompensoinnissa. (Partanen 2018)

DC-saarekeverkkojen toiminta ja standardisointi eivät ole vielä yhtä kehittyneellä tasolla kuin AC-saarekkeiden, ja siksi DC-saarekeverkkoja on vähemmän. DC-saarekkeet ovat kannattavia erityisesti tapauksissa, joissa saarekkeessa on DC-kuormia. Tällöin kuormien liittymiseksi DC-verkkoon ei tarvita suuntaajia. DC-verkon hyötyihin kuuluvat muun muassa pienemmät tehohäviöt sekä pienempi jännitteenalenema. Lisäksi DC-verkon siirtokapasiteetti on AC-verkkoa suurempi samankokoisilla johtimilla. (Planas et al. 2015)

Seuraavissa luvuissa kerrotaan saarekeverkon edellytyksistä ja toiminnasta sekä käydään läpi erilaisia saarekekäytön hyödyntämistapoja. Lopuksi esitellään joitain esimerkkejä Suomessa sijaitsevista sähköverkon saarekkeista.

## 2.1 Sähköverkon saarekkeen energiaressit ja kuormat

Saarekeverkossa on oltava ainakin yhtä paljon paikallista tuotantokapasiteettia, kuin mikä on saarekekäytön aikainen kuorma. Lisäksi saarekeverkkoon sähköä tuottavien laitteiden on pystyttävä tuottamaan energiaa tarpeeksi luotettavasti. (Abu-Sharkh et al. 2006) Saarekeverkkoon liitetyt hajautetut energiaressit voivat olla sähköntuotantolaitoksia tai energiavarastoja. Ne voivat olla siirrettäviä tai kiinteitä. (Antikainen et al. 2009) Tuotantolaitokset voivat olla kapasiteetiltaan erikokoisia, ja ne voivat tuottaa sähköä uusiutuvasti tai uusiutumattomasti. (Hirsch et al. 2018) Tuotantolaitokset voidaan luokitella käyttötavan ja syöttöjärjestelyjen mukaan seuraavasti:

- Luokka 1: Aina yleisestä jakeluverkosta erossa toimivat tuotantolaitokset.
- Luokka 2: Yleiselle jakeluverkolle vaihtoehtona toimivat tuotantolaitokset, jotka on toteutettu automaattisella tai manuaalisella syötönvaihdolla.
- Luokka 3: Yleisen jakeluverkon kanssa rinnan toimivat tuotantolaitokset, joilla tuotettua sähköä ei siirretä yleiseen verkkoon.

- Luokka 4: Yleisen jakeluverkon kanssa rinnan toimivat tuotantolaitokset, joilla tuotettu sähkö voidaan siirtää osittain tai kokonaan yleiseen verkkoon. (Sener 2001)

Seuraavissa luvuissa esitellään erilaisia energioresursseja, joita saattaa esiintyä saarekeverkossa. Saarekeverkossa voidaan tuottaa sähköä esimerkiksi aurinkopaneeleilla, polttokennoilla sekä varavoimalaitteistoilla, kuten dieselgeneraattorilla. Energiavarastoina voivat toimia esimerkiksi akustot. Lisäksi kerrotaan saarekeverkossa esiintyvien kuormien vaikutuksesta saarekekäyttöön.

### 2.1.1 Dieselgeneraattori

Dieselgeneraattori on yleisesti käytetty varavoimalaitteisto sen säätömahdollisuuden ja hyvän hyötysuhteen takia (Soshinskaya et al. 2014). Dieselgeneraattori koostuu dieselmoottorista, generaattorista, voimansiirrosta moottorin ja generaattorin välillä, käyntitärinän eristimistä sekä runkorakenteesta. Järjestelmään kuuluu lisäksi ohjaus- ja valvontakoneisto sekä apujärjestelmiä, kuten käynnistysakku generaattorin magnetointia varten. (Hakanen et al. 2019) Dieselgeneraattoreita on saatavilla erilaisilla teholuokituksilla. Bensiini- tai dieselmoottorin avulla sähköä tuottavaa sähkövoimakonetta kutsutaan myös sähköaggregaatiksi. Aggregaatti viittaa usein teholtaan pienempään varavoimalaitteistoon kuin generaattori. Aggregaatin tuottaman sähkön laatu voi olla laitteesta riippuen huonolaatuista. Jos aggregaatilla on tarkoitus syöttää herkkiä sähkölaitteita kuten tietokonetta tai televisiota, kannattaa hankkia invertterin kanssa toimiva aggregaatti. Tällöin aggregaatin tuottama sähkö on sinimuotoista, eikä sisällä yliaaltoja.

Dieselgeneraattori voi käynnistyä automaattisesti tai se voidaan käynnistää manuaalisesti. Automaattisesti käynnistyvä dieselgeneraattori käynnistyy, kun verkon jännite poikkeaa ennalta asetetun prosenttiosuuden nimellisestä jännitteestä noin 2 sekunnin ajan. Tällöin varavoimalaitteiston automatiikka avaa verkkokatkaisijan sekä sulkee generaattorikatkaisijan, kun generaattorin jännite ja taajuus ovat vakiintuneet hyväksytylle tasolle. Varavoimalaitteisto palauttaa automaattisesti syötön verkolle, kun verkon jännite on ollut palautuneena normaaliksi ennalta määritellyn ajan. Tyypillisesti tämä aika on 10–20 minuuttia. Kytkeytyminen takaisin syöttävään verkkoon voi tapahtua katkolla tai ilman katkoa riippuen siitä onko varavoimalaitteisto tahdistuva. Manuaalisesti käynnistettäessä käyttäjä käynnistää ja sammuttaa laitteiston sen ohjauspaneelistä, ohjaa generaattori- ja verkkokatkaisijoita sekä asettelee laitteiston tuottaman jännitteen ja taajuuden. (Hakanen et al. 2019)

Dieselgeneraattori on liitetty sähköverkkoon yleensä verkonvaihtokytkimen kautta. Verkonvaihtokytkimellä estetään sähkönsyöttö ulkoiseen verkkoon saarekekäytön aikana. Verkonvaihtokytkimessä on oma asentonsa ulkoiselle verkolle, auki-asennolle, jossa kytkin katkaisee kolme vaihetta ja nollan, sekä varavoimalaitteistolle. Verkonvaihtokytkin voi toimia manuaalisesti tai paikallisautomaatiolla.

## 2.1.2 Aurinkovoimala

Auringon säteilyenergiaa voidaan muuntaa sähköenergiaksi aurinkopaneeleilla valosähköisen ilmiön kautta. Aurinkopaneelit koostuvat sarjaan sekä rinnan kytketyistä aurinkokennoista. Kennot puolestaan koostuvat puolijohdemateriaaleista sekä niiden välisestä liitoksesta. Yleisimpiä aurinkokennotyyppejä ovat yksi- tai monikiteiset piikennot sekä ohutkalvokennot. Aurinkosähköjärjestelmään kuuluu lisäksi invertteri, joka muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi. Aurinkopaneeleja voidaan asentaa maan tasalle asennustelineiden avulla tai rakennusten katoille sekä julkisivuille. (Abu-Sharkh et al. 2006)

Aurinkopaneelien tuottaman tehon määrä vaihtelee olosuhteiden mukaan. Tuotettuun tehoon vaikuttavat muun muassa auringon säteilyn intensiteetti sekä ympäristön lämpötila. Paneeliin osuvan säteilyn määrä riippuu esimerkiksi auringon säteilyn suunnasta, pilvisyydestä, pölystä sekä mahdollisista varjostavista rakennuksista tai kasveista. Lämpötila vaikuttaa paneelien tehontuotantoon käänteisesti, jolloin paneelien tuottama teho on suurempi matalammassa lämpötilassa. (Rajesh & Carolin Mabel 2015)

Aurinkopaneelien tuottama suurin teho saadaan paneelin maksimitehopisteessä, jossa paneelin virran ja jännitteen tulo on suurimmillaan paneelin virta-jännitekäyrällä. Aurinkosähköjärjestelmän invertterissä on usein ohjausjärjestelmä, joka seuraa aurinkopaneelien maksimitehopistettä. (Abu-Sharkh et al. 2006) Ohjausjärjestelmän avulla varmistetaan, että paneelit tuottavat mahdollisimman paljon tehoa muuttuvissa olosuhteissa.

Saarekekäytön aikana aurinkosähköjärjestelmän invertterin kannattaa toimia jännitelähteenä, jolloin invertterin toiminta jäljittelee tahtigeneraattoria. Tällöin saarekkeen sähkön laatu voi olla parempi. (IEEE Std 1547.4–2011) Aurinkopaneelien tuottamaa sähköä saadaan hyödynnettyä tehokkaammin, jos aurinkopaneelien tuottamaa ylijäämäenergiaa voidaan varastoida energiavarastoon myöhempää käyttöä varten.

### 2.1.3 Polttokenno

Polttokenno tuottaa sähköä kaasumaisen polttoaineen ja hapettimen välisen sähkökemiallisen reaktion seurauksena. Polttokenno koostuu anodista ja katodista, joiden välissä on elektrolyytti. Sähkökemiallisen reaktion seurauksena syntyvät elektronit kulkeutuvat ulkoisen piirin kautta anodilta katodille. Kennoista voidaan sarjaan kytkemällä rakentaa kennostoja, joilla on yksittäistä kennoa suurempi jännite. (Mikkonen 2020)

Polttokennot voidaan jakaa niiden toimintalämpötilan mukaan korkealämpötilakennoihin ja matalalämpötilakennoihin. Lisäksi kennoja voidaan luokitella niissä käytetyn elektrolyytin mukaan. Esimerkiksi kiinteäoksidikenno eli SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) on korkealämpötilakenno, ja PEM-polttokenno (Proton Exchange Membrane) eli kiinteä polymeerikenno on matalalämpötilakenno. Korkealämpötilakennojen kuumia ulostulokaasuja voidaan hyödyntää myös sähköntuotannossa. Polttokennoissa voidaan käyttää polttoaineena vetyä tai hiilimonoksidia polttokennotyypistä riippuen. Polttokennolla voi olla vedyn valmistamista varten kennon sisäinen tai ulkoinen reformointiyksikkö. Lisäksi polttokennojärjestelmään kuuluu muun muassa polttoainesäiliö sekä erilaisia pumppuja ja puhaltimia kierrättämään polttoainetta ja ilmaa. (Mikkonen 2020)

Polttokennoja voidaan hyödyntää hajautettuina energioresursseina saarekeverkoissa. Niiden etuihin kuuluvat järjestelmän korkea hyötysuhde, jota voidaan edelleen kasvattaa käyttämällä korkealämpötilakennoja sekä sähkön että lämmön tuotannossa. Lisäksi kennostojen rakenne on yksinkertainen, ne ovat lähes äänettäviä, eivätkä ne aiheuta käytössä suuria päästöjä. Lisäksi energiaa voidaan vedyn avulla varastoida ja siirtää. Esimerkiksi vetyinfrastruktuurin puuttuminen kuitenkin hidastaa teknologian laajempaa hyödyntämistä. Vedyn valmistaminen valmistustavasta riippuen voi myös aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. (Mikkonen 2020)

### 2.1.4 Energiavarastot

Saarekekäytön aikana sähköntuotannon ja -kulutuksen vaihteluita voidaan tasata energiavarastojen avulla. Energiavarastoja voidaan käyttää myös saarekeverkon ainoana saarekekäytön aikaisina energioresursseina. Energiavarasto voi olla keskitetty tai hajautettu. Keskitetyt energiavarastot ovat usein kapasiteetiltaan suurempia kuin hajautetut energiavarastot. Hajautetut energiavarastot voivat sijaita joko sähköntuotantolaitosten tai kuormien yhteydessä. (Gao 2015) Energiavaraston mitoitus riippuu saarekeverkossa olevien generaattoreiden ja kuormien suuruudesta sekä saarekkeen topologiasta (Abu-Sharkh et al. 2006).

Saarekeverkossa voidaan hyödyntää monenlaisia energian varastointiteknologioita riippuen saarekeverkon toteuttamistavasta. Varastointiteknologian valintaan vaikuttavat energiavaraston ominaisuuksista muun muassa energiavaraston energia- ja tehotehiys, reagoimisaika sekä käyttöikä. Saarekeverkoissa käytetään usein energiavarastona akustoja niiden suuren energiatiheyden ja nopean reagoimisajan takia. (Gao 2015)

Akkua ladattaessa sähköenergiaa varastoituu kemialliseksi energiaksi sähkökemiallisten reaktioiden seurauksena. Vastaavasti akkua purettaessa kemiallinen energia muuntuu sähköenergiaksi. Akkukenno koostuu kahden elektrodin muodostamasta sähköparista sekä niiden välissä olevasta elektrolyytistä. Akustoon kuuluu lisäksi akunhallintajärjestelmä, joka seuraa akuston lämpötilaa, jännitettä ja virtaa sekä kommunikoi muiden saarekeverkon laitteiden kanssa. Akkukennoista voidaan rakentaa sarjaan tai rinnan kytkemällä akkumoduuleita. Erilaisilla kombinaatioilla sarjaan ja rinnan kytkettyjä akkumoduuleita saadaan rakennettua akusto, jossa on halutunlainen jännite ja kapasiteetti. (Gao 2015)

Sähkönjakeluverkossa käytettyjä akkuteknologioita ovat muun muassa lyijyakut, litiumioniakut ja natrium-rikkiakut. Lyijyakkuja on ollut käytössä jo pitkään ja ne ovat halpoja. Lyijy on kuitenkin ympäristölle haitallinen raskasmetalli. Litiumioniakun etuihin kuuluu nopea reagoimisaika ja suuri tehotehiys. Lisäksi litiumioniakut ovat kevyitä. Kallis hinta ja turvallisuusongelmat kuitenkin hidastavat litiumioniakkujen yleistymistä. Natrium-rikkiakkujen etuna on niiden suuri tehotehiys, pitkä käyttöikä ja hyvä hyötysuhde. Natrium-rikkiakkujen hyödyntämistä vaikeuttaa kuitenkin niiden vaatima korkea käyttölämpötila. Lisäksi sula natrium on vaarallista, jos se joutuu kontaktiin veden kanssa. (Gao 2015)

Kun saarekeverkko toimii osana valtakunnallista sähköverkkoa, energiavarastoja voidaan hyödyntää esimerkiksi säätösähkömarkkinoilla. Lisäksi energiavarastoa voidaan käyttää vähentämään syöttävästä verkosta otettua sähköä. Energiavarastoja voidaan ladata sähkön hintojen ollessa halvempia vähäisemmän kulutuksen aikaan. Kun sähkön hinnat ovat kalliimpia kulutuksen ollessa suurempaa, sähköä voidaan käyttää energiavarastosta syöttävän verkon sijaan. Tällä tavalla on mahdollista säästää energiakustannuksissa.

Energiavarastoja voidaan hyödyntää myös keskeytymätön virransyöttö eli UPS-laitteistoina (Uninterruptible Power Supply) esimerkiksi siirryttäessä saarekekäyttöön. (Gao 2015) UPS-laitteistoa voidaan hyödyntää esimerkiksi polttoaineella toimivan varavoimalaitteiston kanssa siten, että UPS-laitteisto huolehtii sähkönsyötöstä, sillä välin, kun varavoimalaitteisto käynnistyy.

### 2.1.5 Saarekeverkon kuormat

Saarekeverkon alueella olevat loppukäyttäjät voivat olla esimerkiksi teollisuuden toimijoita, kaupallisia toimijoita tai asuinkiinteistöjä. Kuormien käyttöajankohdat vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Erilaisilla kuormilla voidaan tasapainottaa saarekekäytön aikaisia kulutuksen vaihteluita, jolloin saarekeverkon tuotanto ja kulutus saadaan paremmin vastaamaan toisiaan (Abu-Sharkh et al. 2006).

Saarekeverkon kuormat voidaan jakaa kriittisiin ja ei-kriittisiin kuormiin. Saarekeverkkoon liitetyt kuormia on ohjattava siten, että saarekkeen tuotanto ja kulutus ovat tasapainossa. Jos saarekeverkossa ei ole tarpeeksi tuotantokapasiteettia kaikille saarekeverkkoon liittyneille kuormille saarekekäytön aikana, kytkemällä ohjattavia ei-kriittisiä kuormia irti on mahdollista saavuttaa tehotasapaino. (IEEE Std 1547.4–2011)

Kuormat saattavat aiheuttaa saarekekäytössä enemmän häiriöitä kuin saarekeverkon ollessa liittyneenä ulkoiseen verkkoon, koska suurempi järjestelmä on jäykempi eli sen oikosulkuteho on suurempi. Lisäksi suurempi määrä erilaisia verkkoon kytkeytyneitä kuormia voi tasapainottaa toisiaan ja siten hillitä kuormituksen vaihteluita. (IEEE Std 1547.4–2011)

Mahdollisuus ohjata kuormia saarekekäytön aikana tuo joustoa ja mahdollisuuden hallita saarekekäytön kestoa ja laajuutta. Saarekeverkossa voidaan hyödyntää myös kysyntäjoustoa, jotta saarekkeessa tuotettu ja kulutettu energia saadaan vastaamaan toisiaan saarekekäytön aikana. (Abu-Sharkh et al. 2006) Kysyntäjousto tarkoittaa sähkönkäytön siirtämistä tai muuttamista korkean kulutuksen ja hinnan ajankohdalta edullisemmille tunneille.

## 2.2 Saarekekäyttö

Saarekeverkossa on oltava verkon- tai energianhallintajärjestelmä tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseksi sekä ohjaamaan mikroverkon toimintaa saarekekäytössä. Lisäksi hallintajärjestelmä voi myös toimia yhteydessä jakeluverkon laajemman verkon- tai energianhallintajärjestelmän kanssa. (Kumpulainen et al. 2006) Saarekeverkon toiminta ja saarekekäyttö määritellään tapauskohtaisesti, mutta joitain yleisiä periaatteita voidaan nimetä.

Saarekekäyttö on suunniteltava tarkasti, jotta vaaratilanteilta ja laitevaurioilta voidaan välttyä (Antikainen et al. 2009). Ennen saarekekäyttöön siirtymistä on syytä tietää käytävissä olevat energiaressurssit, verkon kuormitus tilanne, järjestelmän jännitteet sekä suojalaitteiden tila, jotta saarekekäyttö voidaan suunnitella etukäteen. Saarekekäyttöön

voidaan siirtyä yllättäen esimerkiksi vian seurauksena tai suunniteltujen tapahtumien seurauksena, kuten esimerkiksi suunnitellun käyttökeskeytyksen yhteydessä. Tällöin saarekekäytön alku- ja loppuajankohdat ovat selvillä etukäteen. (IEEE Std 1547.4–2011)

Saarekekäyttöön voidaan siirtyä automaattisesti tai manuaalisesti. Manuaalisesti saarekekäyttöön voidaan siirtyä esimerkiksi tapauksessa, jossa saarekeverkon energiasurssina toimii varavoimalaitteisto, jonka käynnistys- ja ohjaustoimenpiteet tehdään manuaalisesti. (Hakanen et al. 2019) Lisäksi saarekekäyttöön voidaan siirtyä joko lyhyen sähkökatkon kautta tai ilman katkoa. Jos saarekekäyttöön siirrytään katkon kautta, jännitteettömään saarekeverkkoon liitetään ensin hajautetut energiasurssit ilman suurta kuormitusta. Tämän jälkeen saarekeverkon kuormat liitetään verkkoon porrastetusti. Jos saarekekäyttöön siirrytään ilman katkoa, tehovo vähennetään nolnaan saarekeverkon ja syöttävän verkon liittymispisteessä hallitsemalla saarekeverkon energiantuotantoa ja -kulutusta. (Antikainen et al. 2009)

Saarekekäytön aikana saarekeverkon jännitteen, taajuuden ja sähkön laadun on säilytettävä sallituissa rajoissa, jottei verkkoon kytkettyneille laitteille aiheudu haittaa eikä ihmisiä joudu vaaratilanteisiin (Soshinskaya et al. 2014). Saarekekäytön aikana saarekkeessa on oltava tarpeeksi energiasurssseja vastaamaan saarekeverkon kuormitusta (IEEE Std 1547.4–2011). Lisäksi saarekeverkon loistehoa ja pätötehon tuotantoa on pystyttävä säätelemään, jotta saarekeverkon taajuutta ja jännitettä voidaan hallita (Antikainen et al. 2009).

Saarekeverkon energiasurssien on kestettävä saarekekäytössä normaalia suurempia taajuuden sekä jännitteen vaihteluja irtoamatta verkosta (IEEE Std 1547.4–2011). Muutokset saarekeverkon kuormituksessa aiheuttavat vaihteluita verkon jännitteessä ja taajuudessa. Vaihteluiden suuruus riippuu kuormituksen muutoksen suuruudesta ja muutosnopeudesta, saarekeverkon jäykkyydestä sekä käytetyistä hajautetuista energiasurssseista. Pahimmillaan vaimentumattomat värähtelyt taajuudessa voivat aiheuttaa epästabiilin tilan verkossa. (Antikainen et al. 2009) Vaihtelut jännitteessä ja taajuudessa saattavat myös aiheuttaa laitevaurioita (IEEE Std 1547.4–2011).

Saarekeverkon suojauksen tulee toimia sekä saarekeverkon ollessa liittyneenä syöttävään verkkoon että saarekekäytön aikana. Saarekeverkon suojauksen tulee olla luotettava, valikoiva, herkkä ja nopea, jotta se poistaa verkossa esiintyvät viat. Suojauksen toteutus riippuu saarekeverkon koosta, jännitetasosta, maadoitustavasta ja saarekeverkon esiintyvän vikavirran suuruudesta. Lisäksi hajautettujen energiasurssien vaikutus vikavirtoihin ja sitä kautta suojalaitteiden toimintaan tulee huomioida. Saarekekäytön



aikana vikavirtojen suuruus ja suunta voivat olla erilaiset kuin saarekeverkon ollessa liit-  
tyneenä syöttävään verkkoon. Myös verkon rakenne, maadoitus ja oikosulkuvirta muut-  
tavat verkon ollessa saarekekäytössä. (IEEE Std 2030.9–2019) Lisäksi takasyöttö jän-  
nitteettömään ulkoiseen verkkoon saarekekäytön aikana on estettävä, jotta laitteille tai  
korjaushenkilökunnalle ei aiheudu haittoja (Antikainen et al. 2009).

Sähköverkon saareke on tilapäinen, ja se voi olla saarekekäytössä vain rajallisen ajan.  
(Faure et al. 2017) Saarekekäyttöä voidaan ylläpitää, kunnes mahdollinen vikatilanne  
muualla verkossa on poistunut tai, kunnes saarekekäyttöä ei voida enää ylläpitää esi-  
merkiksi akuston purkauduttua tyhjäksi tai varavoimalaitteen polttoaineen loputtua. Saa-  
rekeverkko voi liittyä takaisin syöttävään verkkoon katkolla tai ilman katkoa. Jos liittymi-  
nen tapahtuu katkon kautta, saarekeverkon kuormat kytketään ensin irti saarekever-  
kosta. Tämän jälkeen hajautetut energiareсурssit ajetaan alas, ja saareke liitetään takai-  
sin syöttävään verkkoon. Jos saarekeverkko liitetään takaisin syöttävään verkkoon ilman  
katkoa, saarekeverkko on ensin tahdistettava syöttävän verkon kanssa. Saarekeverkon  
ja syöttävän verkon liittämiskohdan jännitteiden, taajuuksien ja vaihekulmien on oltava  
tarpeeksi lähellä toisiaan. Näin verkossa ei esiinny merkittäviä transienteja eikä jännit-  
teen tai taajuuden heilahteluja. (Antikainen et al. 2009)

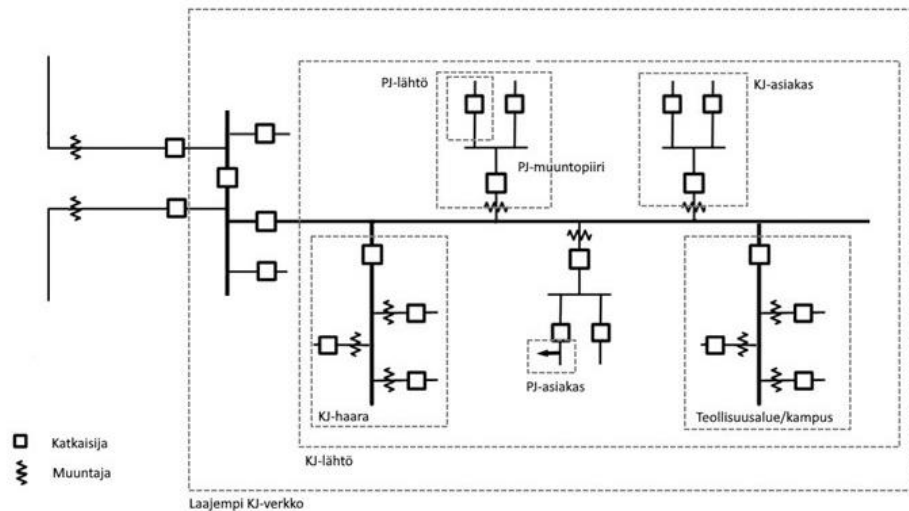
### **2.3 Saarekeratkaisujen sijainti**

Saarekeverkon maantieteellinen laajuus vaihtelee tapauskohtaisesti. Saarekekäytössä  
voi toimia esimerkiksi kaupunkikortteli, yliopistokampus tai pieni kylä. Myös yksittäisen  
rakennuksen voidaan ajatella toimivan saarekekäytössä, kun se toimii esimerkiksi vara-  
voimalaitteiston avulla erillään syöttävästä verkosta. (Abu-Sharkh et al. 2006)

Potentiaalinen paikka saarekeverkolle riippuu tapauskohtaisesti sähköverkon teknisistä  
rajoitteista sekä saarekkeesta saatavasta taloudellisesta hyödystä. Potentiaalisia paik-  
koja sähköverkon saarekkeelle ovat alueet, joilla tapahtuu suuri määrä sähkökatkoja,  
katkot ovat pitkäkestoisia sekä sähkökatkoista aiheutuu suuret keskeytyskustannukset.  
Lisäksi saarekkeen muodostamiseen kuluva aika vaikuttaa saarekeratkaisun kannatta-  
vuuteen. (Antikainen et al. 2009)

Saarekeratkaisu voi olla jakeluverkkoyhtiön oman verkon saarekekäyttö tai asiakkaan  
saarekeratkaisu. Verkkoyhtiöiden on erityisen kannattavaa rakentaa saarekekäyttömah-  
dollisuus alueille, joilta aiheutuisi suuret keskeytyskustannukset tai alueille, joilla on säh-  
könjakelun keskeytymättömyyden kannalta erityisen tärkeitä asiakkaita (Repo 2019).  
Verkkoyhtiön saarekeratkaisut voivat sijaita keskijännite- eli KJ-verkossa tai pienjännite-  
eli PJ-verkossa. KJ-verkon saarekekäyttö voi kattaa yksittäisen KJ-lähdön, KJ-haaran tai

laajemman osan KJ-verkkoa. Lisäksi jakeluverkkoyhtiöllä voi olla PJ-muuntopiirin tai yksittäisen PJ-lähdön saarekekäyttömahdollisuus. (IEEE Std 1547.4–2011) Kuvassa 2 on esitetty erilaisia saarekeratkaisuja.



**Kuva 2.** Erilaisia jakeluverkkoyhtiöiden ja asiakkaiden saarekeratkaisuja.

Verkkoyhtiöiden asiakkailta voi olla omia energiareсурseja, jotka mahdollistavat saarekekäytön. Jos saarekekäytön avulla on tarkoitus suojata kriittisiä kuormia sähköjakelun keskeytyksiltä, suurin hyöty saarekekäytöstä saadaan siirtymällä saarekekäyttöön ilman katkoa (IEEE Std 1547.4–2011).

KJ-verkkoon liittynyt asiakas, jolla on mahdollisuus saarekekäyttöön, voi olla esimerkiksi teollisuuslaitos. Tällöin saarekeverkko käsittää koko PJ-muuntopiirin, jossa asiakkaalla on usein laitoksensa alueella tarpeeksi energiareсурseja turvaamaan laitoksen energiantarve saarekekäytön ajan. (IEEE Std 1547.4–2011) Myös teollisuusalueella tai kampuksen alueella voi olla saarekeverkko, joka koostuu KJ-verkon haarasta. PJ-asiakkaan saarekeverkko voi olla esimerkiksi PJ-verkkoon liittynyt kerrostalo, omakotitalo tai maatila, jossa on energiareсурseja asiakkaan käytössä.

## 2.4 Saarekkeen käyttö- ja hyödyntämistavat

Saarekeverkot ja mahdollisuus saarekekäyttöön hyödyttävät sekä sähköverkkoyhtiöitä että alueen loppukäyttäjää. Sähkömarkkina-alueella on 2010-luvun alun myrskyjen aiheuttamien vakavien sähkökatkojen takia määritelty sähköjakelun maksimikeskeytysaika yksittäisessä lumikuorman tai myrskytilanteen aiheuttamassa keskeytyksessä. Maksimikeskeytysajaksi on taajamissa määritelty 6 tuntia ja haja-asutusalueilla 36 tuntia. Verk-

koyhtiöiden on vuoteen 2036 mennessä uudistettava verkkoaluettaan siten, että maksimikeskeytysaika ei ylitä verkkoyhtiöiden sähköverkossa. (Partanen et al. 2020) Saarekekäyttömahdollisuudesta voi olla hyötyä sekä taajamissa että haja-asutusalueilla.

Saarekekäyttöä voidaan hyödyntää suunnitelluissa käytönkeskeytyksissä tai muualla verkossa tapahtuvien vikojen aikana. Saarekkeen muodostamiseen on kuluttava vähemmän aikaa kuin mitä normaalin sähköjakelun palauttamiseen menee, jotta saarekekäytöstä saadaan mahdollisimman paljon hyötyä. (Antikainen et al. 2009) Lisäksi saarekekäyttöä voidaan hyödyntää ennaltaehkäisevästi sääolosuhteiden takia (IEEE Std 1547.4–2011).

Saarekekäyttöä voidaan hyödyntää sähköverkon toimitusvarmuuden parantamisessa muiden verkon kehitystoimien rinnalla. Esimerkiksi varayhteyden rakentamisen sijaan voidaan hyödyntää mahdollisuutta saarekekäyttöön. Loppukäyttäjien kannalta saarekekäyttömahdollisuus parantaa alueen toimitusvarmuutta ja sähkön laatua. Loppukäyttäjien kokemat pitkäkestoiset sähkökatkot vähenevät ja sähkökatkojen kesto lyhenee, jos saarekekäytön avulla voidaan jatkaa sähkön jakelua loppukäyttäjille. (Soshinskaya et al. 2014) Jakeluverkkoyhtiön kannalta mahdollisuus saarekekäyttöön pienentää keskeytyskustannuksia, jotka kuvaavat keskeytyksistä asiakkaille aiheutunutta haittaa. Tämä vaikuttaa yhtiön sallittuun liikevaihtoon. Saarekekäytön vaikutusta keskeytyskustannuksiin käsitellään tarkemmin luvussa 6.

Mahdollisuus saarekekäyttöön on hyödyllinen haja-asutusalueilla, joissa suuri määrä loppukäyttäjää on liittynyt samaan sähköverkon haaraan. Jos aluetta syöttävällä sähköjohtolla tapahtuu häiriö, loppukäyttäjät vikapaikasta eteenpäin kokevat sähköjakelun keskeytyksen. Keskeytys voi kestää pidempään kuin keskeytyksen aiheuttanut vika, jos alueella pitää sähköjakelun palauttamiseksi tehdä esimerkiksi jonkinlaisia korjaustoimenpiteitä. (Debusschere et al. 2018) Tällaisessa tilanteessa saarekekäyttö mahdollistaa sähköjakelun jatkamisen alueella vian jälkeen korjaustoimenpiteiden ajan.

Saarekekäytöstä voi olla hyötyä myös alueilla, joilla sähköverkko on kuormittunut. Saarekekäyttöä voidaan hyödyntää tällöin myös ennaltaehkäisevästi. (IEEE Std 1547.4–2011) Saarekeverkot voivat tarjota tukipalveluja, kuten mahdollisuuden ylikuormituksen hallintaan ja osallistua taajuusreserviin (Debusschere et al. 2018). Saarekekäyttöä voitaisiin hyödyntää myös sähköpulatilanteessa, jolloin tuotanto ja tuontisähkö eivät riitä kattamaan kulutusta. Tällöin loppukäyttäjät, joilla on omaa sähköntuotantoa, voisivat siirtymällä saarekekäyttöön vähentää valtakunnan verkon kuormitusta. Lisäksi sähköverkossa syntyviä häviöitä voidaan pienentää sijoittamalla tuotantoyksiköitä lähelle kulutusta ja siten vähentää sähköverkon kuormitusta (Soshinskaya et al. 2014).

Saarekekäyttöä voidaan hyödyntää taloudellisista syistä. Loppukäyttäjä voi vähentää energiantuotantolaitoksen tai energiavaraston avulla sähköverkosta ostettua energiaa tai siirtää kulutustaan sähkön hinnan mukaan. (Soshinskaya et al. 2014) Saarekekäyttöön voidaan siirtyä sähkön hinnan perusteella ulkoisen toimijan kehotuksesta tai automaattisesti. Lisäksi saarekekäyttöä voidaan hyödyntää taloudellisista syistä ennalta määrättyinä aikana esimerkiksi, kun tiedetään sähkön hinnan nousevan kulutushuippujen aikaan aamulla ja alkuillasta. (IEEE Std 1547.4–2011) Saarekekäytön taloudellista kannattavuutta selvitetään tarkemmin luvussa 6.

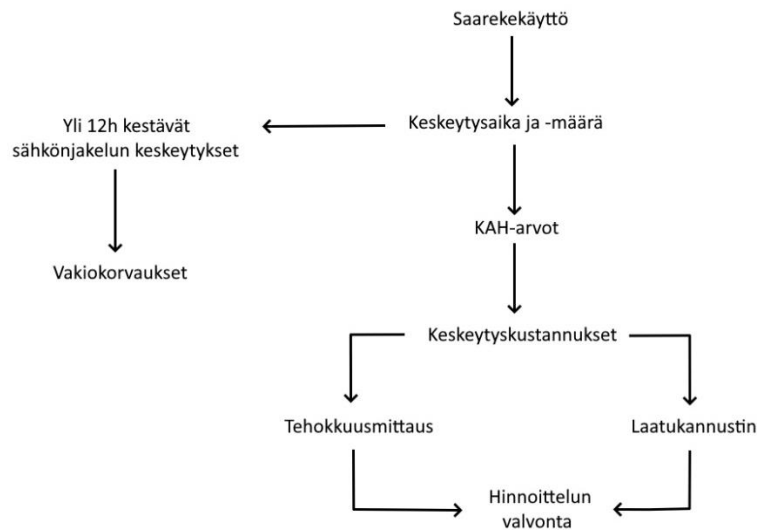
## **2.5 Saarekekäyttö verkkoliiketoiminnan valvonnan näkökulmasta**

Sähköverkkotoiminta on Suomessa luvanvaraista toimintaa, jonka myöntämisestä vastaa Energiavirasto. Suomessa on 77 jakeluverkonhaltijaa, jotka vastaavat yksinoikeudella jakeluverkon toiminnasta, sähkönjakelusta ja muista sähköverkon palveluista omalla verkkoalueellaan. Kilpailevien sähkönsiirtolinjojen rakentaminen ei ole kansantaloudellisesti kannattavaa, joten sähköverkkotoiminta on luonnollinen monopoli. Koska loppukäyttäjä ei voi valita sähkönjakelijaansa, Energiavirasto valvoo verkkoyhtiöiden sähkönsiirtohintoja. (Energiavirasto i.a.-a) Verkkopalvelumaksujen ja -ehtojen on oltava tasapuolisia ja syrjimättömiä. Lisäksi hinnoittelun on oltava kohtuullista ja vastattava verkkotoiminnan kustannuksia siten, että voitto on kohtuullinen. (Sähkömarkkinalaki 2013)

Valvontamalli koostuu neljä vuotta kestävästä valvontajaksoista, joille määritetään valvontamenetelmät ja -periaatteet etukäteen. Valvontajaksoa tarkastellaan kokonaisuutena, vaikka laskelmat tehdään vuosittain. Neljännellä (2016–2019) ja viidennellä (2020–2023) valvontajaksolla noudatetaan samansisältöistä valvontamallia. Nykyisessä valvontamallissa saarekekäyttö vaikuttaa keskeytyskustannusten kautta verkkoyhtiön sallittuun liikevaihtoon sekä vakiokorvauksiin. Kuvassa 3 on esitetty saarekekäytön vaikuttavat hinnoittelun valvontaan ja vakiokorvauksiin 4. ja 5. valvontajakson valvontamenetelmien mukaan.

Valvontamallin avulla lasketaan jakeluverkkoyhtiölle sallittu kohtuullinen tuotto ja toteutunut oikaistu tulos. Kohtuullinen tuotto määritetään kertomalla kohtuullinen tuottoaste verkkoyhtiön sähköverkkotoimintaan sitoutuneella oikaistulla pääomalla, johon sisältyvät muun muassa yhtiön verkkoinvestoinnit. Toteutunut oikaistu tulos lasketaan vähentämällä oikaistusta liikevoitosta tai -tappiosta eri kannustimet. Neljännellä ja viidennellä valvontajaksolla käytettäviä kannustimia ovat investointi-, laatu-, tehostamis- ja innovaa-

tiokannustin. Koko valvontajakson ajalta toteutuneista oikaistuista tuloksista vähennetään toteutuneet kohtuulliset tuotot, ja näin laskettu ali- tai ylijäämä kompensoidaan seuraavan valvontajakson siirtohinnoissa. (Energiavirasto 2021a)



**Kuva 3.** Saarekekäytön vaikutustavat hinnoittelun valvontaan ja vakiokorvauksiin.

Saarekekäyttöä voidaan hyödyntää keskeytystilanteissa turvaamaan asiakkaan sähkönsaanti sähkökatkon ajan, ja siten pienentää keskeytyskustannuksia. Keskeytyskustannukset vaikuttavat Energiaviraston valvontamallissa verkkoyhtiön sallittuun liikevaihtoon laatu-kannustimen kautta, jonka avulla arvioidaan verkon käyttövarmuutta (Partanen et al. 2020). Lisäksi keskeytyskustannukset ovat Energiaviraston valvontamallissa mukana tehostamiskannustimen määrittämisessä, jonka avulla kannustetaan verkkonhaltijoita kustannustehokkaaseen verkon kehittämiseen.

Verkkoyhtiön omalla varavoimalaitteella toteutettu saarekekäyttö vaikuttaa keskeytyskustannuksiin, jos loppukäyttäjille ei aiheudu rajoituksia sähkön kuluttamisessa tai tuotannossa. Saarekekäyttö ei kuitenkaan vaikuta keskeytyskustannusten suuruuteen tilanteessa, jossa saarekeratkaisu on loppukäyttäjän oma saarekeratkaisu eikä jakeluverkkoyhtiö ole osallistunut investointeihin. Jakeluverkkoyhtiö voi myös ostaa toimitusvarmuusjoustoja asiakkaalta. Tällaisen järjestelyn vaikutusta keskeytyskustannuksiin ei ole kuitenkaan määritelty selkeästi.

Joustopalveluiden hyödyntäminen jakeluverkon kehittämisessä ja käytössä tulee yleistyämään vuonna 2023 voimaan tulleen sähkömarkkinalain 52 a § myötä. Pykälän mukaan jakeluverkkoyhtiöiden on hyödynnettävä joustopalveluita jakeluverkon käytössä ja kehittämisessä niiden ollessa kustannustehokas vaihtoehto. Joustopalveluiden hankinnassa on noudatettava syrjimättömiä ja avoimia markkinapohjaisia periaatteita sekä ehtojen on

oltava julkisia. Palveluiden hankintaehdot on hyväksyttävä Energiavirastolla. Energiaviraston myöntämällä erikoisluvalla on kuitenkin mahdollista hankkia joustopalvelu esimerkiksi suoraan tietyltä palveluntarjoajalta. (Siukola 2023)

Saarekekäyttö ja toimitusvarmuusjoustopalvelut vaikuttavat jakeluverkkoyhtiöiden velvollisuuteen maksaa vakiokorvauksia, jotka määritettiin vuoden 2013 sähkömarkkina- laissa maksettaviksi loppukäyttäjille yli 12 h kestävästä sähkönjakelun keskeytyksistä. Jakeluverkkoyhtiön on maksettava vakiokorvaus, jonka suuruus määräytyy keskeytyksen keston mukaan määräytyvästä prosenttiosuudesta siirtopalvelumaksusta. Vakiokorvauksen suuruus kalenterivuonna voi kuitenkin olla yhdelle loppukäyttäjälle yhteensä 200 % vuotuisesta siirtopalvelumaksusta tai 2000 €. (Sähkömarkkinalaki 2013)

Jakeluverkkoyhtiön on maksettava vakiokorvaukset loppukäyttäjälle, vaikka asiakkaalla olisi oma saarekeratkaisu sähkönjakelun keskeytyksen aikana. Jos jakeluverkkoyhtiön omalla saarekekäytöllä voidaan lyhentää loppukäyttäjien kokema sähkönjakelun keskeytys alle 12 tuntiin ilman, että saarekeverkkoon liittyneiden loppukäyttäjien tarvitsee rajoittaa sähkön kulutusta tai tuotantoa, jakeluverkkoyhtiön ei tarvitse maksaa loppukäyttäjille vakiokorvauksia. Samoin, jos jakeluverkkoyhtiö järjestää laajemmalle osalle jakeluverkkoaan sähkönsyötön saarekekäytön avulla esimerkiksi ostamalla sen palveluna sähkövarasto-operaattorilta tai kyseisessä saarekkeessa olevalta loppukäyttäjältä sähkömarkkinalain 52 a § mukaisesti niin, etteivät saarekkeessa olevat asiakkaat koe yli 12 h kestävästä sähkönjakelun keskeytystä, vakiokorvauksia ei makseta. Kokonaisuudessaan loppukäyttäjän liittymän takana sijaitseva saarekekäyttö ja tällaisesta saarekekäytöstä maksettava toimitusvarmuusjoustopalvelu eivät kuitenkaan liity jakeluverkon toimintaan, ja siten palvelusta sopiminen ei kuulu 52 a § piiriin. Tällaisessa tapauksessa loppukäyttäjä ja jakeluverkkoyhtiö eivät sähkömarkkinalain mukaan saa sopia vakiokorvauksista. (Siukola 2023)

Nykyinen valvontamalli kannustaa erityisesti tekemään investointeja, koska verkostoinvestoinnit kasvattavat kohtuullisen tuoton laskennassa käytettävää verkon nykykäyttöarvoa. Tämä kasvattaa kohtuullista tuottoa ja sallittua liikevaihtoa. Vaihtoehtoiset ratkaisut verkon kehittämiseen eivät ole yhtä kannattavia, koska niihin investoiminen kasvattaa tehostamistavoitteen alaisia operatiivisia kustannuksia, jotka pienentävät sallittua liikevaihtoa. Tästä syystä sähköverkkoa kehitetään nykyisen valvontamallin mukaan esimerkiksi maakaapeloinnilla, eikä saarekeratkaisuja ja joustopalveluita hyödyntämällä.

Kuudennella (2024–2027) ja seitsemännellä (2028–2031) valvontajaksolla tullaan kiinnittämään huomiota erilaisten joustojen kehittämiseen ja käyttöönottoon jakeluverkkotoi-

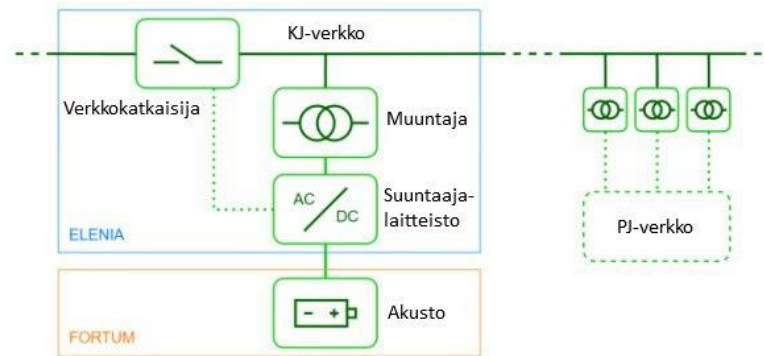
minnassa joustokannustimen avulla. Kehittämissuunnitelmassa tulee huomioida esimerkiksi joustopalveluiden ja energiavarastojen hyödyntämispotentiaali jakeluverkon siirtokapasiteetin laajentamisen rinnalla. Erilaisia vaihtoehtoja verkon kehittämiseen tulee arvioida valvontamallissa tasapuolisesti. (Energiavirasto 2023)

Joustokannustimen tavoitteena on kannustaa kehittämään erilaisia joustoratkaisuita, jotka mahdollistavat verkon kehittämisen kustannustehokkaasti. Se tulee toimimaan kuudennella valvontajaksolla innovaatiokannustimen tavoin ilman, että ratkaisuiden tulisi olla uusia toimialalla. Joustokannustimen vaikutus vähennetään oikaistusta liikevoitosta tai -tappiosta siten, että joustokannustimen alaisten kehitystoimien kustannusten suuruus saa olla koko valvontajakson verkkotoiminnan liikevaihdosta enintään 1 %. Kuudennen valvontajakson kehittämistoimenpiteiden pohjalta kehitetään menetelmiä seitsemännelle valvontajaksolle, joiden avulla erilaiset joustot ovat valvontamallin näkökulmasta liiketaloudellisesti kannattavia. (Energiavirasto 2023) Joustokannustimen on tarkoitus tehdä erilaisten joustoratkaisujen, kuten saareke-, varavoima- ja energiavarastoratkaisujen kehittämisestä ja hyödyntämisestä kannattavampaa innovaatiokannustinta tehokkaammin.

## 2.6 Esimerkkejä sähköjakeluverkon saarekkeista

Verkkoyhtiö Elenia ja energiayhtiö Fortum toteuttivat vuosina 2018–2020 Ylöjärven Kurun pilottikohteen, jossa litiumioniakusto on liitetty useaa pienjänniteverkkoa syöttävään keskijänniteverkon haaraan. Fortum myy akustoa normaalitilanteessa Fingridin reservimarkkinoille. Vikatilanteissa akuston avulla voidaan syöttää 10 km mittaista keskijänniteverkon haaraa saarekekäytössä. Fortum omistaa akuston, ja myy sen kapasiteettia palveluna Elenialle. Fortum on lisäksi hankkinut verkkoliittymän akustolle Elenialta. Elenia on puolestaan investoinut hankkeen muihin saarekekäyttöön ja suojaukseen tarvittaviin verkkokomponentteihin. (Alaperä et al. 2019)

Järjestelmä koostuu akuston lisäksi suuntaajalaitteistosta, 20/0,4 kV muuntajasta, verkkokatkaisijasta, laitteiston ohjausjärjestelmästä ja suojauslaitteista. Ohjausjärjestelmä keskustelee verkkoyhtiön käytönvalvontajärjestelmän kanssa ja ohjaa akuston toimintaa. Vikatilanteessa saarekekäyttöön siirrytään automaattisesti, jolloin saarekkeeseen kuuluvien asiakkaiden kokema sähköjakelun keskeytys vastaa pikajälleenkytkennän aiheuttamaa keskeytystä. Saareke kytkeytyy takaisin syöttävään verkkoon automaattisesti ilman sähköjakelun keskeytystä vian korjaannuttua. Akusto pystyy syöttämään energiaa noin 100 asiakkaan saarekkeeseen noin 3 tunnin ajan, mutta käyttöaika riippuu akuston varaustilanteesta saarekekäytön alkaessa. (Alaperä et al. 2019) Kuvassa 4 on havainnollistettu Kurun saarekeverkon rakennetta.



**Kuva 4.** Kurun saarekeverkon rakenne (Alaperä et al. 2019, muokattu).

Fortum saa tuottoa akustosta myymällä sen kapasiteettia palveluna sekä Elenialle että Fingridille. Elenia maksaa palvelusta vuosittaisen perusmaksun, ja voi lisäksi ostaa kapasiteettia tuntikohtaisesti. Elenia puolestaan hyötyy järjestelystä pienentyneiden kustannusten, kuten keskeytyskustannusten eli keskeytyksestä aiheutuneen haitan (KAH), kautta. Akuston avulla pilottikohteen keskeytyskustannuksia saatiin pienennettyä 37 %. (Kainulainen 2019) Projektin aikana huomattiin, että akustoa on hyödynnettävä useissa erilaisissa kustannuksia säästäväissä sovelluksissa, jotta liiketoimintamallista saadaan toteuttamiskelpoinen. (Alaperä et al. 2019)

Fortum ja verkkoyhtiö Caruna kokeilevat Inkoossa samankaltaista akustohanketta kuin Elenialla ja Fortumilla on Kurussa. Hankkeessa 1 MVA/1 MWh akusto on liitetty keskijänniteverkon haaraan, johon kuuluu noin 400 asiakasta ja 30 jakelumuuntajaa (Shahparasti et al. 2022). Fortum omistaa akuston, jota se myy palveluna Carunalle. Caruna hyötyy hankkeesta pienentyneiden keskeytyskustannusten kautta, sillä akusto pystyy syöttämään keskijännitehaaraa saarekkeena. Akustoa hyödynnetään säätösähkömarkkinoilla, kun verkossa ei ole vikatilannetta. (Niemimaa 2020)

Espoon kauppakeskus Sellossa on vuodesta 2018 lähtien toiminut mikroverkko, joka kykenee saarekekäyttöön. Järjestelmään kuuluu 500 kWp aurinkovoimala sekä 2,0 MW akusto. Järjestelmä toimii syöttävän verkon häiriötilanteessa saarekekäytössä. Normaalitilanteessa akusto ja taloautomaatio osallistuvat Fingridin reservimarkkinoille. (Kolehmainen 2019) Akustoon varastoitua sähköä voidaan käyttää lisäksi korkean ostoenergian aikaan, jolloin kauppakeskuksen energiakustannuksia saadaan pienennettyä (Linnasalmi 2018).

LEMENE (Lempäälän energiayhteisö) on Lempäälän Marjamäkeen vuonna 2019 valmistunut hanke, jossa teollisuusalueella toimii saarekekäyttöön kykenevä mikroverkko. Verkkoon on liitetty 2 aurinkovoimalaa, 6 kaasumoottoria, 2 polttokennostoa sekä kaksi akustoa. Aurinkopaneelien yhteenlaskettu kapasiteetti on 4 MW, kaasumoottorien 8,1



MW, polttokennojen 130 MW ja akustojen 2,4 MW sekä 1,6 MW. Kaasumoottorien polttoaineena käytetystä kaasusta vähintään 50 % on biokaasua, ja molemmat polttokennot ovat sekä sähköä että lämpöä (CHP, combined heat and power) tuottavia kiinteäoksidikennoja. Akustoja käytetään tasaamaan aurinkovoimaloiden hetkellisiä tehonmuutoksia. Tuotantoa ja kulutusta optimoidaan automaattisesti mikroverkko-ohjaimella. LEMENE-hankkeeseen kuuluva verkko on liitetty yhden sähköaseman kautta valtakunnan verkkoon. (Lempäälän Energia i.a.) Kuvassa 5 on havainnollistettu LEMENEn saarekeverkon rakennetta.



**Kuva 5.** LEMENE Lempäälän Marjamäen teollisuusalueella (Lempäälän Energia i.a.).

Mikroverkko on toiminut saarekekäytössä useita kertoja. Saarekekäyttöön siirryttäessä, saarekekäytön aikana ja liityttäessä takaisin jakeluverkkoon saarekeverkon taajuus ja jännite pysyivät sallituissa rajoissa. (Hildén & Kettunen 2021)

Teollisuusalueen toimijat voivat hyödyntää mikroverkkoa sekä sen kykyä saarekekäyttöön esimerkiksi häiriötilanteessa. LEMENE-hankkeen mikroverkossa yhdistyvät sähkön, lämmön ja kaasun tuotanto. Paikallinen energiantuotanto ja saarekekäyttömahdollisuus parantavat teollisuusalueen toimitusvarmuutta. Alueella toimiva energiayhteisö helpottaa paikallisesti tuotetun energian jakamista yhteisön jäsenten kesken, ja minimoi siten energiahäviöt. Lisäksi järjestelmä voi osallistua kysyntäjoustomarkkinoille. (Lempäälän Energia i.a.)

### 3. SÄHKÖVERKON SAAREKKEET JA ENERGIA-YHTEISÖT

Sekä mikroverkot että energiayhteisöt edistävät hajautetun tuotannon ja uusiutuvan energian käyttöä. Mikroverkko ja saarekekäyttö kuvaavat sähköverkon teknistä toteutusta ja toimintaa, kun taas energiayhteisö on sosiaalinen ja taloudellinen loppukäyttäjien muodostama yhteisö. Energiayhteisö on usean toimijan muodostama markkinaosapuoli, jonka ensisijainen tavoite on tuottaa jäsenilleen tai lähialueelleen muita kuin rahallisia hyötyjä. Euroopan unionin (2019/944) määritelmän mukaan energiayhteisö ”voi harjoittaa tuotantoa, mukaan lukien uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa tuotantoa, jakelua, toimitusta, kulutusta, aggregointia, energian varastointia, energiatehokkuuspalveluja tai sähköajoneuvojen latauspalveluja tai voi tarjota muita energiapalveluja jäsenilleen tai osakkailleen”. Energiayhteisöön kuulumisen on perustuttava vapaaehtoisuuteen ja energiayhteisöstä pitää olla mahdollista erota, koska kuluttajilla on oikeus valita oma sähkönyyjänsä (Pahkala et al. 2018).

Euroopan unioni määrittelee kaksi energiayhteisöä: kansalaisten energiayhteisön sekä uusiutuvan energian yhteisön. Molemmat energiayhteisöt voivat harjoittaa samoja energiaan liittyviä toimintoja, mutta uusiutuvan energian yhteisön toiminnan on liityttävä ainoastaan uusiutuvasti tuotettuun energiaan ja se voi toimia ainoastaan paikallisesti. Energiayhteisön jäsenet voivat olla yksityisiä tai julkisia henkilöitä sekä pieniä yrityksiä. (EU 2018/2001; EU 2019/944) Loppukäyttäjät voivat samassa rakennuksessa asuessaan toimia myös yhdessä toimivina itse tuotettua uusiutuvaa energiaa käyttävinä kuluttajina (EU 2018/2001). Tällöin he eivät muodosta energiayhteisöä elleivät he ole järjestäytyneet energiayhteisön vaatimalla tavalla.

Energiayhteisöt voidaan jakaa paikallisiin ja hajautettuihin energiayhteisöihin. Työssä käsitellään ainoastaan paikallisesti toimivia energiayhteisöitä, koska niiden on mahdollista sijaita kokonaisuudessaan sähköverkon osassa, jota voidaan käyttää saarekekäytössä. Paikallisia energiayhteisöjä ovat kiinteistön sisäiset energiayhteisöt, kiinteistörajat ylittävät energiayhteisöt ja paikalliset virtuaaliset energiayhteisöt (Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT 2021).

Kiinteistön sisäinen energiayhteisö sijaitsee saman kiinteistön tai saman omistajan vierekkäin sijaitsevien kiinteistöjen alueella. Energiayhteisö hyödyntää kiinteistöverkkoa, ja yhteisöllä on yksi liittymispiste syöttävään verkkoon. (Tampereen yliopisto, Tampereen

ammattikorkeakoulu & VTT 2021) Kerrostalon taloyhtiö tai kauppakeskus ovat esimerkkejä kiinteistön sisäisistä energiayhteisöistä.

Kiinteistön sisäinen energiayhteisö voi toimia siten, että jokaisella jäsenellä on oma sopimuksensa sähkönmyyjän ja jakeluverkkoyhtiön kanssa. Tässä tapauksessa puhutaan hyvityslaskennasta, jossa jakeluverkkoyhtiö vastaa yhteisön sisäisestä mittaroinnista. Yhteisön tuottama sähkö jaetaan ennalta sovittujen jako-osuuksien mukaisesti jäsenille tai hyödynnetään kiinteistösähköinä. (Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT 2021)

Kiinteistön sisäinen energiayhteisö voi myös vastata itse yhteisön sisäisestä mittaroinnista ja laskutuksesta. Tällöin puhutaan takamittaroinnista, jossa yksittäisellä loppukäyttäjällä ei ole omaa sopimusta sähkönmyyjän ja jakeluverkkoyhtiön kanssa, vaan sopimus on energiayhteisön jäsenten yhteinen. Takamittarointi mahdollistaa yhteisön tuottaman sähkön jakamisen joustavammin jäsenten välillä ja joustopalvelujen tarjoamisen helpommin kuin hyvityslaskenta. (Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT 2021)

Kiinteistön sisäisen energiayhteisön itse tuotetusta sähköstä ei tarvitse maksaa energiamaksuja, siirtomaksuja eikä veroja. Jäsenten sähkölasku määräytyy syöttävästä verkosta otetusta sähköstä sekä mahdollisista investointimaksuista. (Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT 2021) Energiayhteisön jäsenten on mahdollista vaikuttaa sähkölaskunsa suuruuteen esimerkiksi ajoittamalla kulutuksensa aikaan, jolloin energiayhteisön itse tuottamaa sähköä on saatavilla. Energiayhteisö voi myös hyödyntää energiavarastoja.

Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö toimii useamman kiinteistön alueella, ja omistaa sekä käyttää alueellaan olevaa sähköverkkoa energiaresurssien ja mahdollisten energiavarastojen lisäksi. Energiayhteisön sähköverkko on muodostettava siten, että erillinen linja ei muodosta rengasyhteyttä sähkönkäyttöpaikkojen tai sähköverkkojen välille, koska tämä on luvanvaraista toimintaa. Energiayhteisö päättää yhteisön sisäisestä verkotariffista sekä energiamaksuista, ja yhteisö liittyy ulkoiseen verkkoon yhteisen liittymispisteen kautta. (Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT 2021)

Energiayhteisö, joka ei omista sähköverkkoa, on virtuaalinen energiayhteisö. Paikallinen virtuaalinen energiayhteisö sijaitsee ulkoisesta verkosta katsottuna yhden pisteen takana, ja hyödyntää jo olemassa olevaa sähköverkkoa. (Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT 2021) Energiayhteisöllä voi olla käytössään yhteisiä tai yksittäisten jäsenten omistamia energiaresursseja sekä energiavarastoja.

Virtuaalisessa energiayhteisössä sähkönmyyjä määrittää sähkön hinnan eikä järjestelyllä ole vaikutusta verkkopalvelumaksuihin ja sähkön verotukseen. Siirtomaksun määrittää jakeluverkkoyhtiö, jonka verkon yli energiayhteisö toimii. Virtuaalinen energiayhteisö mahdollistaa joustopalvelujen tarjoamisen esimerkiksi virtuaalivoimalaitoksena joustomarkkinoilla. (Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT 2021)

Saarekekäyttömahdollisuudet voivat lisääntyä energiayhteisöjen myötä, sillä energiayhteisö tekee hajautettujen energiaresurssien hankkimisen helpommaksi loppukäyttäjille. Kustannukset ovat pienemmät yksittäiselle taholle kokonaisinvestoinnin jakautuessa monelle loppukäyttäjälle verrattuna tilanteeseen, jossa loppukäyttäjä hankkisi itse jonkin energiaresurssin. (Pahkala et al. 2018)

Energiayhteisö mahdollistaa sähkön tuotannon paikallisesti yhteisön käyttöön tai myytäväksi sähköverkkoon. Tällöin yhteisön jäsenten on mahdollista saada rahallisia hyötyjä joko myydystä sähköenergiasta saatujen tuottojen kautta tai omien pienentyneiden energiakulujen kautta. Energiayhteisön jäsenet voivat esimerkiksi hyödyntää energiayhteisön itse tuottamaa energiaa saarekekäytössä sähkön hinnan ollessa korkealla. Energiayhteisö myös selkeyttää yhdessä hankitun energiaresurssin käyttöä ja siitä mahdollisesti saatavien tuottojen jakoa energiayhteisön jäsenten kesken. Energiayhteisö myös helpottaa loppukäyttäjien kanssakäymistä muiden sähkömarkkinaosapuolten kanssa.

Energiayhteisö voi helpottaa saarekekäytön aikaista laskutusta esimerkiksi tilanteessa, jossa saarekeverkon alueella on yksittäisten energiayhteisön jäsenten omistamia tuotantolaitoksia. Energiayhteisön on mahdollista määrittää etukäteen toimintatavat ja laskutus energiayhteisön jäsenten välisestä kaupasta. Jos sähkön ostaminen on edullisempaa energiayhteisön sisällä, on mahdollista tehostaa paikallisesti tuotetun energian paikallista hyödyntämistä. Samalla vähennetään sähköverkon kuormitusta, jolloin verkon investointeja on mahdollista joissain tapauksissa lykätä.

Energiayhteisöt voivat myös tarjota joustopalveluita jakeluverkkoyhtiöille. Euroopan unionin vuonna 2019 julkaisemassa sähkömarkkinadirektiivissä edellytetään, että kansallisen tason sähkömarkkinat mahdollistavat joustopalveluiden hankinnan toimijoilta, jotka harjoittavat hajautettua tuotantoa, energian varastointia ja kulutusjoustoja, sekä kannustavat jakeluverkonhaltijoita hankkimaan näitä palveluita. (EU 2019/944)

## 4. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTON HANKINTA

Osana diplomityötä selvitettiin verkkokyselyn avulla, minkälaisia saarekekäyttöjä sähköverkkoyhtiöillä sekä verkkoyhtiöiden asiakkailta on Suomessa. Kyselytutkimuksen avulla haluttiin saada uusinta tietoa saarekekäyttömahdollisuuksista, niissä käytetyistä energiasursseista sekä saarekkeen muodostamisesta. Lisäksi haluttiin selvittää käyttökokenuksia saarekekäytöstä sekä kehitysideoita saarekekäytön parantamiseksi. Sähköverkkoyhtiöille, kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille sekä maatilayrittäjille lähetettiin erilliset kyselyt. Kyselytutkimus luotiin verkkokyselyiden luomisen mahdollistavalla Microsoft Forms -ohjelmistolla. Seuraavissa luvuissa selvitetään kyselytutkimusta tutkimusmenetelmänä, mitkä olivat kyselytutkimuksen kohderyhmiä sekä miten kyselytutkimus toteutettiin.

### 4.1 Kyselytutkimus tutkimusmenetelmänä

Diplomityön tutkimusmenetelmäksi valittiin kyselytutkimus, koska sen avulla on mahdollista saada uusinta tietoa sähköverkkoyhtiöiden sekä verkkoyhtiöiden asiakkaiden saarekeratkaisuista, käyttökokenuksista ja asenteista saarekekäyttöä kohtaan. Kyselytutkimuksella voidaan kartoittaa asenteita ja tietoja laajaltakin vastaajajoukolta. Toisaalta kyselylomakkeen selkeyteen sekä kysymysten asetteluun on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta vastaajat kokevat vastaamisen mahdollisimman vaivattomaksi ja osaavat vastata kyselyyn itsenäisesti. Kyselytutkimus toteutettiin verkkokyselyn avulla jakamalla kyselylomakkeen linkki vastaajajoukolle sähköpostin kautta. Tällä tavalla kyselylomake on mahdollista jakaa yksinkertaisesti laajalle vastaajajoukolle, jolloin on mahdollista saada laaja otanta.

Kyselytutkimus toteutetaan yleensä kyselylomakkeen avulla, jossa on valmiiksi määritellyt kysymykset. Kysymykset voivat olla avoimia tai strukturoituja eli kysymyksiä, joissa on vastausvaihtoehdot. (Keckman-Koivuniemi i.a.) Avoimien kysymysten avulla on mahdollista saada laajempia vastauksia kuin strukturoiduilla kysymyksillä, mutta niihin vastaamiseen kuluu enemmän aikaa, ja vastaukset saattavat olla odottamattomia esimerkiksi vastaajien ymmärrettyä kysymys eri tavalla. Strukturoidun kysymyksen vastausvaihtoehtojen tulee olla toisensa poissulkevia tai kysymys voi olla monivalintakysymys. (Borg i.a.)

Kyselyä luodessa on otettava huomioon vastaajien aika, motivaatio vastata kyselyyn sekä kysymysten ymmärrettävyys ja sitä kautta vastaajan taito vastata kyselyyn. Vastaushalukkuuteen vaikuttavat kyselyn pituus ja ulkoasun selkeys sekä se, kuinka tärkeäksi vastaajat kokevat kyselyyn vastaamisen. Kyselyyn vastaamiseen tulisi mennä noin 15–20 minuuttia, jotta vastaaja kokee kyselyyn vastaamisen tarpeeksi vaivattomaksi. Eri kysymyksiä voidaan kyselyn lyhentämiseksi osoittaa vastausten perusteella eri vastaajille, jolloin kaikki vastaajat eivät vastaa kaikkiin kysymyksiin. (Borg i.a.) Tämä on erityisen yksinkertaista toteuttaa verkkokyselyissä siirtymien avulla.

Kyselylomakkeen selkeyttä voidaan parantaa tarjoamalla ohjeet kyselylomakkeen täyttämiseen ja järjestämällä kysymykset aihealueen mukaan. Kysymykset eivät saa olla johdattelevia. Lisäksi kysymysten asettelun sekä mahdollisten vastausvaihtoehtojen tulisi olla selkeitä ja ottaa huomioon vastaajan tietämys kyselyn aihealueesta. Kyselylomakkeen testaaminen kuuluu kyselytutkimuksen toteuttamiseen. Lomaketta on kokeiltava, jotta siinä mahdollisesti olevat virheet ja epäjohdonmukaisuudet saadaan selville ennen kyselylomakkeen jakamista vastaajille. Lisäksi testaamalla kyselylomaketta on mahdollista tarkistaa kysymysten ymmärrettävyys. (Borg i.a.)

Kyselytutkimukseen saadaan enemmän vastauksia, jos vastaajat kokevat vastaamisen tärkeäksi. Vastaushalukkuutta voidaan lisätä kertomalla kyselyn alussa, miksi kyselyyn vastaaminen on tärkeää ja mitä hyötyä siitä voi olla. Kyselyn tarkoitus, tekijät ja vastausohjeet voidaan selventää kyselyn mukana tulevassa saatekirjeessä. Kerättyjen vastausten määrää voidaan lisäksi kasvattaa muistuttamalla vastaajajoukkoa kyselyyn vastaamisesta. (Borg i.a.)

Verkkokysely voidaan toteuttaa verkkolomakkeen avulla. Verkkokyselyä laadittaessa kysymykseen vastaaminen voidaan määrittää pakolliseksi tai vapaaehtoiseksi. Vastaajan on vastattava pakollisiin kysymyksiin, jotta vastaukset voidaan lähettää. Pakollisia kysymyksiä on hyvä käyttää harkiten, sillä etenkin pakolliset kysymykset, joihin vastaamisen vastaaja kokee vaikeaksi tai työlääksi, voivat vähentää vastaushalukkuutta. Tällöin vastaaja saattaa jättää kyselyyn vastaamisen kesken. Lisäksi verkkokyselyä luodessa on otettava huomioon kyselyn tekninen toimivuus, jota kannattaa kokeilla erilaisilla vastauksilla kyselyn kokeiluvaiheessa. Erityisen tärkeää tämä on kyselyissä, joissa on hyödynnetty vastauksen perusteella seuraavan kysymyksen määrittäviä siirtymiä.

## 4.2 Kyselytutkimuksen kohderyhmät

Osana diplomityötä tehtiin erilliset kyselylomakkeet sähköverkkoyhtiöille, kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille sekä maatilayrittäjille. Kyselyyn valittiin vastaajajoukoksi sähköverkkoyhtiöt, kaupan alan yritykset, huoltoasemat ja maatilayrittäjät, koska varavoimajärjestelmistä ja saarekekäytöstä on näille toimijoille erityistä hyötyä, ja niillä on jo kokemusta varavoimajärjestelmistä ja saarekekäytöstä. Kuten luvussa 2.4 mainittiin, sähköverkkoyhtiöiden osalta sähkökatkot vaikuttavat erityisesti yhtiön sallittuun liikevaihtoon keskeytyskustannusten kautta. Lisäksi sähkökatkot vaikuttavat asiakastyytyvyyteen.

Kaupan alan yritysten kannalta sähköä tarvitaan erityisesti elintarvikkeiden säilytyksessä, valaistuksessa sekä maksu- ja turvajärjestelmissä. Huoltoasemilla kriittisiä toimintoja ovat maksujärjestelmät ja polttoaineen jakelu. Kaupan alan yritysten ja huoltoasemien varavoimajärjestelmät tukevat lisäksi yleistä huoltovarmuutta poikkeustilanteissa. Päivittäistavaramyymälöiden ja huoltoasemien varautumista sähkönjakeluhäiriöihin on testattu ja parannettu useissa projekteissa (Kohti toimintavarmaa myymäläverkkoa 2021).

Huoltovarmuuskeskus käynnisti vuosina 2021–2027 toteutettavan Toimintavarma myymäläverkosto -projektin, jossa noin 300 myymälää ympäri Suomea varustetaan kiinteällä tai siirrettävällä varavoimalla. Toimenpiteiden yksityiskohtia ei ole vielä suunniteltu. (Myymälöiden häiriönsietokykyä parannetaan laajassa projektissa 2022) Väestötiheyteen perustuen on suunniteltu, että ostosmatka varavoimalla varustettuun myymälään olisi Etelä-Suomessa noin 50 km ja harvemmin asutuilla alueilla noin 150 km (Kohti toimintavarmaa myymäläverkkoa 2021). Varavoimalla varustetut myymälät määräytyvät kilpailulainsäädäntöä noudattaen kilpailutuksen kautta (Suihkonen 2022).

Toimintavarman myymäläverkoston rinnalla on käynnissä hanke, jossa varustetaan huoltoasemia dieselgeneraattoreilla. Varavoimakoneet takaavat huoltoasemien toiminnan ja polttoaineen jakelun sähkökatkon aikana. (Tolvanen 2022; Lehtiniemi 2018).

Maatiloilla on käytössä erilaisia varavoimalaitteistoja, koska modernit maatilat ovat automatisoituja ja siten suurilta osin riippuvaisia sähköstä. Sähkökatko vaikuttaa maatilojen toimintaan eri tavalla tilan tuotantosuunnasta ja sähkökatkon pituudesta riippuen. Eläintiloilla sähköä tarvitaan erityisesti ilmastointiin, ruokintaan, lämmitykseen sekä eläintilojen puhdistamiseen ja desinfiointiin. Lypsykarjatiloihin sähköä tarvitaan lypsyrobotteissa, lämmityksessä, valaistuksessa ja maidon käsittelyssä. Sähköä voidaan tarvita myös ruokintaan, ilmanvaihtoon ja lannanpoistoon. Yli vuorokauden kestävät sähkökatkot estävät tilojen toiminnan, vaarantavat eläinten hyvinvoinnin ja saavat johtaa jopa eläinten lo-

pettamiseen. Lisäksi maito pilaantuu herkästi ilman jäädytystä. Viljailoilla tarvitaan sähköä erityisesti viljan kuivauksessa, jolloin haasteita aiheuttavat erityisesti pidemmät, enemmän kuin 2 tuntia kestävät katkot. Lyhyemmät sähkökatkot aiheuttavat kaikkien tuotantosuuntien maataloilla lisätyötä ja voivat lisäksi aiheuttaa laitevaurioita. (Kaustell et al. 2017)

### 4.3 Kyselytutkimuksen toteutus

Kyselytutkimuksen kysymykset ja rakenne valmisteltiin alkuvuodesta 2023, ja kyselytutkimus toteutettiin vuonna 2023 maaliskuu- ja huhtikuun aikana. Kyselyn vastausaika oli sähköverkkoyhtiöille 4 viikkoa sekä kaupan alan yrityksille, huoltoasemille ja maatilayrittäjille 3 viikkoa. Kyselylomakkeen verkko-osoite lähetettiin vastaajille sähköpostin kautta. Kyselylomake lähetettiin Energiategollisuus ry:n kautta sähköverkkoyhtiöille. Kaupan alan yrityksistä kyselylomake lähetettiin Suomen Osuuskauppojen Keskuskunnalle, Kesko Oyj:lle ja huoltoasemista ABC-huoltoasemaketjulle. Maatilayrittäjille kyselylomake lähetettiin Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry:n kautta.

Kyselytutkimuksen kysymyksiä generoitiin yhdessä Tampereen yliopiston ja Tampereen ammattikorkeakoulun työntekijöistä koostuvan tutkimusryhmän sekä Sähkötutkimuspoolin osapuolten kanssa. Kyselytutkimuksen kysymykset olivat strukturoituja kysymyksiä sekä avoimia kysymyksiä. Avoimia kysymyksiä käytettiin lähinnä tarkentamaan edeltävässä strukturoidussa kysymyksessä saatua vastausta ja tarjoamaan vastaajalle mahdollisuuden selventää aihetta omin sanoin. Lisäksi avoimia kysymyksiä käytettiin kysymyksissä, joissa ei ollut mahdollista määrittää ennalta sopivia vastausvaihtoehtoja.

Sähköverkkoyhtiöiden sekä asiakkaiden kyselyistä tehtiin sisällöltään erilaiset, koska sähköverkkoyhtiöiden vastaajien oletettiin tietävän enemmän saarekekäytöstä ja osaan näin vastata tarkemmin saarekekäyttöä koskeviin kysymyksiin. Asiakkaiden kyselyssä käsiteltiin myös saarekekäytön mahdollistavia varavoimalaitteistoja. Lisäksi asiakkaiden kyselystä päätettiin tehdä yksi versio kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille sekä hieman erilainen versio maatilayrittäjille, koska maatilayrittäjiltä kysyttiin saarekekäytöstä erityisesti maatilaympäristössä.

**Sähköverkkoyhtiöille** osoitetussa kyselyssä oli yhteensä 27 kysymystä, ja kysely jaettiin kolmeen osaan. Sähköverkkoyhtiöille lähetetty kyselylomake on esitetty liitteissä A. Ensimmäisessä osassa keskityttiin yhtiön omiin saarekeratkaisuihin. Ensin kysyttiin vastaajan nimeä, asemaa sekä vastaajan edustaman yrityksen nimeä, jotta vastaajan tietämystä aiheesta ja sähköverkkoyhtiön kokoa voitaisiin hyödyntää tuloksia vertailtaessa.



Tämän jälkeen kysyttiin, onko sähköverkkoyhtiö rakentanut verkkoalueelleen mahdollisuuksia saarekekäyttöön. Kysymyksen avulla oli tarkoitus ohjata vastaaja vastauksen perusteella vastaamaan tarkempiin kysymyksiin saarekekäytöstä tai selvittää yhtiön halukkuutta rakentaa tulevaisuudessa saarekekäytön mahdollistavia ratkaisuja verkkoalueelleen. Mikäli yhtiöllä ei ollut omia saarekeratkaisuja verkkoalueellaan, vastaaja ohjattiin kyselyn toiseen osaan.

Verkkoyhtiöiltä, joilla oli omia saarekeratkaisuja verkkoalueellaan, kysyttiin seuraavaksi, aikoivatko he rakentaa tulevaisuudessa uusia mahdollisuuksia hyödyntää saarekeratkaisuja verkkoalueellaan. Seuraavat kysymykset liittyivät saarekekäytön tekniseen toteuttamiseen. Kysymyksessä 5 kysyttiin saarekekäytön mahdollistamiseksi käytössä olevista energiaressursseista. Vastausvaihtoehdoiksi oli annettu kiinteä ja siirrettävä varavoimalaitteisto sekä akkuvarasto ja UPS-järjestelmä yleisimmin käytössä olevien varavoimalaitteistojen mukaan. Lisäksi vastaajan oli mahdollista täyttää tyhjään vastauskenttään muita energiaressursseja. Seuraavaksi sähköverkkoyhtiöiltä kysyttiin saarekekäytön sijoittumisesta eri jännitetasoille ja syitä saarekekäyttömahdollisuuksien rakentamiseen. Syiksi oli vastausvaihtoehdoissa annettu yleisimpien käyttötarkoitusten mukaan suunnitellut työkeskeytykset, vikatilanteiden hallinta, keskeytysherkät kuormat sekä korjausinvestointien lykkääminen. Lisäksi vastaajan oli mahdollista täyttää tyhjään vastauskenttään muita käyttötarkoituksia. Tämän jälkeen kysyttiin saarekekäyttömahdollisuuksien hyödyntämismäärästä ja käyttöajasta.

Kysymyksissä 10, 11 ja 12 kysyttiin tapaa, jolla saarekekäyttöön siirryttiin ja liiityttiin takaisin syöttävään verkkoon sekä miten varavoimalaitteistoja ohjattiin. Kysymyksessä 13 kysyttiin saarekekäytön aikaisesta kuormien ohjauksesta. Kuormien ohjauksella tarkoitettiin mahdollisuutta valikoida tai vaihtaa saarekekäytön aikana kuormia, jolle syötetään sähköä. Jos kuormia voitiin ohjata, kysyttiin vielä lisäkysymyksenä, mitä kuormia voitiin ohjata ja miten. Kysymyksissä 15 ja 16 kysyttiin saarekeverkon sähköturvallisuudesta ja suojauksesta sekä laitteistojen testausvälistä. Lopuksi kysyttiin vielä mahdollisia haasteita, joita yhtiöiden saarekekäytöissä oli ilmennyt.

Kyselylomakkeen toisessa osassa kysyttiin yhtiön verkkoalueella olevien asiakkaiden omistamien varavoimalaitteistojen mahdollistamien saarekekäyttöjen hyödyntämisestä. Ensin yhtiöiltä kysyttiin, oliko heillä tietoa verkkoalueensa asiakkaiden omistamista saarekekäyttömahdollisuuksista. Jos sähköverkkoyhtiön alueella oli asiakkaiden saarekeratkaisuja, yhtiöiltä kysyttiin saarekeratkaisujen määrää sekä heidän tiedossaan olevia asiakkaiden saarekekäyttöjen haasteita. Tämän jälkeen yhtiöiltä kysyttiin asiakkaiden yhteydenotoista saarekeratkaisuihin liittyen sekä yhteydenottojen syitä. Lisäksi kysyttiin yritysten tarjoamasta neuvonnasta saarekeratkaisujen osalta. Näiden kysymysten avulla

haluttiin selvittää, ilmoittivatko asiakkaat verkkoyhtiöille saarekeratkaisuistaan, ja oliko verkkoyhtiöillä ja asiakkailta kanssakäymistä saarekeratkaisuihin liittyen. Lopuksi yhtiöiltä kysyttiin korvausten maksamisesta liittyen asiakkaiden varavoima- tai saarekeratkaisujen hyödyntämiseen verkon kapasiteetti- ja toimitusvarmuusjoustoissa. Kysymyksellä haluttiin selvittää, oliko verkkoyhtiöissä pohdittu asiakkaiden saarekeratkaisujen hyödyntämistä, tai oliko yhtiöillä valmiita toimintamalleja asiakkaiden varavoimalaitteiden hyödyntämistä varten.

Kyselyn kolmas osa oli samanlainen kaikissa kyselylomakkeissa. Siinä kysyttiin näkemyksiä ja kehitysideoita saarekekäytön laajempaa hyödyntämistä ajatellen. Lisäksi kysyttiin palautetta kyselystä ja yleisiä ajatuksia saarekekäytöstä.

**Maatilayrittäjille** osoitetussa kyselyssä oli yhteensä 28 kysymystä. Maatilayrittäjille lähetetty kyselylomake on esitetty liitteessä B. Kysely oli jaettu kahteen osaan, joista jälkimmäinen oli samanlainen kuin sähköverkkoyhtiöiden kyselyn kolmas osa. Maatilayrittäjille osoitetun kyselyn ensimmäisessä osassa kysyttiin yritysten omistamista varavoimalaitteistoista sekä niihin liittyvistä käyttökokemuksista. Ensimmäisessä ja toisessa kysymyksessä kysyttiin vastaajan edustaman maatilantoimintasuunnan sekä verkkoyhtiötä, jonka alueella maatala sijaitsee. Tuotantosuuntaa kysyttiin, jotta tuloksia analysoidessa voitaisiin arvioida eri tuotantosuuntien vaikutusta varavoimalaitteiden hankintaan.

Seuraavaksi kysyttiin, onko maatilalla käytössä varavoimalaitteistoja mukaan lukien mahdolliset UPS-ratkaisut, mutta pois lukien kiinteistön talotekniset turvajärjestelmät. Kysymyksen avulla oli tarkoitus ohjata vastaaja vastauksen perusteella vastaamaan tarkempiin kysymyksiin varavoimalaitteistoista ja saarekekäytöstä tai selvittää maatilantoimintasuuntaa hyödyntää tulevaisuudessa varavoimalaitteistoja. Mikäli maatilalla ei ollut varavoimalaitteistoja eikä se aikonut tulevaisuudessa hyödyntää niitä, vastaaja ohjattiin osioon 2. Mikäli maatilalla ei ollut varavoimalaitteistoja, mutta maatala aikoi tulevaisuudessa hyödyntää niitä, vastaajalta kysyttiin, mitä varavoimalaitteistoja aiottiin hyödyntää. Vastausvaihtoehtoina oli yleisimpien varavoimalaitteistojen mukaan siirrettävä tai kiinteä aggregaatti tai generaattori sekä akusto ja UPS-järjestelmä. Lisäksi vastaajan oli mahdollista täyttää tyhjään vastauskenttään muita vaihtoehtoja. Tämän jälkeen vastaaja ohjattiin osioon 2.

Maatilayrittäjiltä, joilla oli käytössä varavoimalaitteistoja, kysyttiin seuraavaksi kysymyksessä 6, mitä ja miten monta siirrettävää tai kiinteää varavoimalaitteistoa maatilalla oli. Vastaajan piti valita taulukosta käytössä olevien varavoimalaitteistojen kohdalta oikea määrä. Tämän jälkeen kysyttiin varavoimalaitteistojen nimellistehoja. Vastaajan piti valita

taulukosta käytössä olevien varavoimalaitteistojen kohdalta oikea nimellisteho. Lisäksi kysyttiin maatilan jakeluverkon liittymispisteen liittymän kokoa ja sähkönkulutuksen vuosienenergiaa, jotta varavoimalaitteiston mitoitus voitiin arvioida. Kysymyksessä 9 kysyttiin maatilayrittäjän aikeista hankkia seuraavan 5 vuoden sisällä uusia varavoimalaitteistoja.

Seuraavaksi maatilayrittäjiltä kysyttiin syitä varavoimalaitteistojen hankintaan. Vastausvaihtoehtoina olivat yleisimpien hankintaperusteiden perusteella lainsäädännölliset ja taloudelliset syyt, sähkön laadun parantaminen sekä käyttöturvallisuuden parantaminen. Kysymyksen vastausvaihtoehdoissa oli erityisesti mautiloille suunnattu vastausvaihtoehto koskien maatilan eläinten hyvinvointia. Lisäksi vastaajan oli mahdollista täyttää tyhjään vastauskenttään muita vaihtoehtoja. Jos maatilayrittäjä vastasi hankkineensa varavoimalaitteiston lainsäädännöllisistä syistä, vastaajaa pyydettiin selventämään, mihin säädökseen perustuen varavoimalaitteisto oli hankittu.

Kysymyksessä 12 pyydettiin erittelemään syitä varavoimalaitteiden käytölle. Vastausvaihtoehtoina olivat yleisimpien hyödyntämistapojen perusteella verkon vikatilanteet ja käyttökeskeytykset, korkea energianhinta sekä verkon kuormituksen keventäminen. Seuraavissa kysymyksissä kysyttiin varavoimalaitteistojen hyödyntämismäärästä sekä saarekekäytön kestosta. Kysymyksissä 15, 16 ja 17 kysyttiin tapaa, jolla saarekekäyttöön siirryttiin ja liitettiin takaisin syöttävään verkkoon sekä miten varavoimalaitteistoja ohjattiin. Kysymyksessä 18 kysyttiin, onko saarekkeen kuormia mahdollista ohjata. Jos kuormia voitiin ohjata, kysyttiin vielä lisäkysymyksenä mitä kuormia voitiin ohjata ja miten.

Kysymykset 20, 21 ja 22 liittyivät varavoimajärjestelmän turvallisuuteen. Ensin kysyttiin varavoimalaitteiston sähköturvallisuusmääräysten mukaisuudesta. Lisäksi kysyttiin saarekeverkon sähköturvallisuuden ja suojauksen toimivuuden varmistamisesta saarekekäytön aikana sekä siirryttäessä saarekekäyttöön ja liittyessä takaisin syöttävään verkkoon. Kysymyksessä 22 kysyttiin varavoimalaitteistojen testausväliä.

Kysymyksessä 23 tiedusteltiin, oliko maatilayrittäjä ilmoittanut alueellaan toimivalle sähköverkkoyhtiölle varavoimalaitteistostaan. Tämän jälkeen kysyttiin, olisiko maatilayrittäjä valmis toimimaan saarekekäytössä, jos alueella toimiva sähköverkkoyhtiö pyytäisi sitä. Samalla kysyttiin, paljonko korvausta tällaisesta palvelusta haluttaisiin. Näillä kysymyksillä haluttiin selvittää, millaista vuorovaikutusta maatilayrittäjät ja verkkoyhtiöt kävivät, sekä olisiko asiakkaiden varavoima- ja saarekeratkaisuja mahdollista hyödyntää sähköverkon hyväksi. Lopuksi kysyttiin vielä mahdollisia haasteita, joita saarekekäytössä oli ilmennyt.

**Kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille** osoitetussa kyselyssä oli yhteensä 28 kysymystä. Kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille lähetetty kyselylomake on esitetty liitteessä C. Kysely oli jaettu kahteen osaan, joista jälkimmäinen oli samanlainen kuin sähköverkkoyhtiöiden kyselyn kolmas osa. Kyselylomakkeen ensimmäinen osa vastasi suurelta osin maatilayrittäjille lähetettyä kyselyä. Eroavaisuudet kyselylomakkeissa johtuivat siitä, että maatilayrittäjiltä kysyttiin joitain varavoimalaitteisiin ja saarekekäyttöön liittyviä asioita erityisesti maatilaympäristön näkökulmasta. Kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille osoitetussa kyselyssä tuotantosuuntaa koskeva kysymys oli korvattu kysymyksellä yrityksen toimialasta, jotta varavoimalaitteistojen hyödyntämistä ja saarekeratkaisuja voitaisiin vertailla toimialoittain. Toinen eroavaisuus oli kysymyksessä 10, jossa kysyttiin syitä varavoimalaitteiston hankintaan. Kysymyksen vastausvaihtoehdoissa ei ollut erityisesti maataloille suunnattua vastausvaihtoehtoa koskien maatilalan eläinten hyvinvointia. Muilta osin kyselylomakkeen rakenne ja kysymysten asettelu vastasivat maatilayrittäjille lähetettyä kyselylomaketta.

## 5. KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET JA ANALYYSI

Tässä luvussa käydään läpi kyselytutkimuksen tuloksia sähköverkkoyhtiöille ja maataloille teetettyjen kyselyiden osalta. Kyselytutkimuksen toteuttamisessa haasteelliseksi osoittautui vastaajien mielenkiinnon herättäminen ja sitä kautta riittävän vastausmäärän saaminen. Myös vähäinen tieto asiasta saattoi erityisesti maatalojen sekä kaupan alan yritysten ja huoltoasemien osalta pienentää vastausmääriä. Maataloille sekä kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille teetettyjen kyselyiden vastauksista ilmeni toisinaan vaikeuksia ymmärtää kysymystä. Erityisesti avoimien kysymysten vastauksista voitiin huomata, että vastaaja ei ollut ollut varma, mitä kysymykseen kuuluisi vastata. Verkkoyhtiöille teetetyksen kyselyn vastauksista ei ilmennyt, että vastaajilla olisi ollut vaikeuksia ymmärtää kysymyksiä.

Suuremman vastausmäärän saamiseksi kaikkien kyselyiden vastausaikaa pidennettiin ensin viikolla, jonka jälkeen sähköverkkoyhtiöille osoitetun kyselyn vastausaikaa pidennettiin vielä kahdella viikolla. Tästäkin huolimatta vastausmäärät jäivät toivottua alhaisemmiksi. Kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille suunnattuun kyselyyn tuli vain 3 vastausta pidennetystä vastausajasta huolimatta. Näitä tuloksia ei käydä yksityiskohtaisesti läpi, koska kyselyn aineistosta ei saataisi tehtyä kattavaa analyysia.

Vastanneista kaupan alan yrityksistä ja huoltoasemista yksi vastasi, että yrityksellä oli käytössä varavoimalaitteistoja. Nämä varavoimalaitteistot olivat UPS-järjestelmiä, joilla varmistettiin yrityksen toimipisteiden toiminnan jatkuminen, kuten kassalaitteiden toiminta. UPS-järjestelmät pystyivät toimimaan muutaman tunnin ajan syöttävän verkon vikatilanteiden aikana. Jakelunkeskeytyksen tapahtuessa saarekekäyttöön siirryttiin ja häiriön poistuttua takaisin syöttävään verkkoon liityttiin automaattisesti ilman katkoa. Varavoimajärjestelmien turvallisuudesta huolehdittiin säännöllisellä huollolla, ja järjestelmiä koekäytettiin kerran vuodessa tai harvemmin.

Lisäksi kaupan alan yritysten ja huoltoasemien kyselystä ilmeni muutamia kehityskohteita ja mahdollisuuksia. Varavoimalaitteistojen käytön mahdollistavat ratkaisut olisi tehtävä liiketilan rakentamisen tai saneerauksen yhteydessä, jotta varavoimalaitteistojen toiminta olisi luotettavaa ja käyttäminen helppoa. Tulevaisuudessa on myös harkinnassa akkupohjaisten varavoimalaitteistojen käyttäminen toimipaikkakohtaisesti.

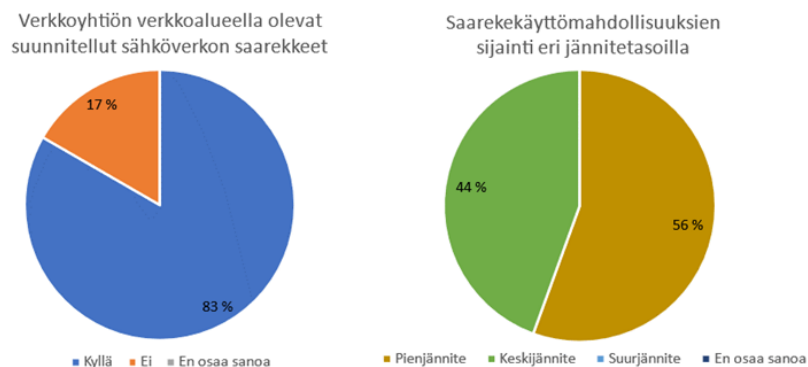
Varavoimalaitteistojen käyttäminen ja saarekekäyttö olisivat kaupan alan yrityksille ja huoltoasemille erityisen hyödyllisiä toiminnan jatkumisen mahdollistamiseksi sähköjakelun häiriöiden aikana. Päivittäistavarakauppojen ja huoltoasemien toiminta on osa huoltovarmuutta, ja niiden on pystyttävä toimimaan etenkin pitkään kestävien sähköjakelun häiriöiden aikana. Lisäksi varavoimalaitteistoilla voidaan käyttää kylmlaitteistoja, ja siten vähentää pitkistä sähkökatkoista aiheutuvaa hävikkiä.

## 5.1 Sähköverkkoyhtiöille teetetyin kyselyn tulokset

Suomessa vuonna 2023 toimivasta 77 jakeluverkkoyhtiöstä 6 vastasi kyselytutkimukseen. Jakeluverkkoyhtiöille suunnatun kyselytutkimuksen vastausprosentti oli siten 7,79 %. Vuoden 2021 tilastojen perusteella vastanneiden jakeluverkkoyhtiöiden verkkoalueilla oli 21 % kaikista Suomen jakeluverkkojen asiakkaista, ja vastanneiden jakeluverkkoyhtiöiden verkkopituudet kattoivat 32 % kaikkien Suomen sähköverkkojen kokonaispituudesta (Energiavirasto i.a.-b; Energiavirasto 2021b). Täten, vastausten pienestä määrästä huolimatta, kyselyn tuloksista voidaan tehdä päätelmiä saarekekäytön tilasta Suomessa.

### 5.1.1 Verkkoyhtiöiden omat saarekeratkaisut

Kyselyn ensimmäisessä osassa keskityttiin verkkoyhtiöiden omiin saarekeratkaisuihin. Vastanneista verkkoyhtiöistä 83 % oli toteuttanut verkkoalueelleen tilapäisiä sähköverkon suunniteltuja saarekkeita, ja 17 % ei ollut. Kuvassa 6 vasemmanpuoleisessa kuvassa on havainnollistettu vastauksia kysymykseen jakeluverkkoyhtiöiden omista saarekeratkaisuista.

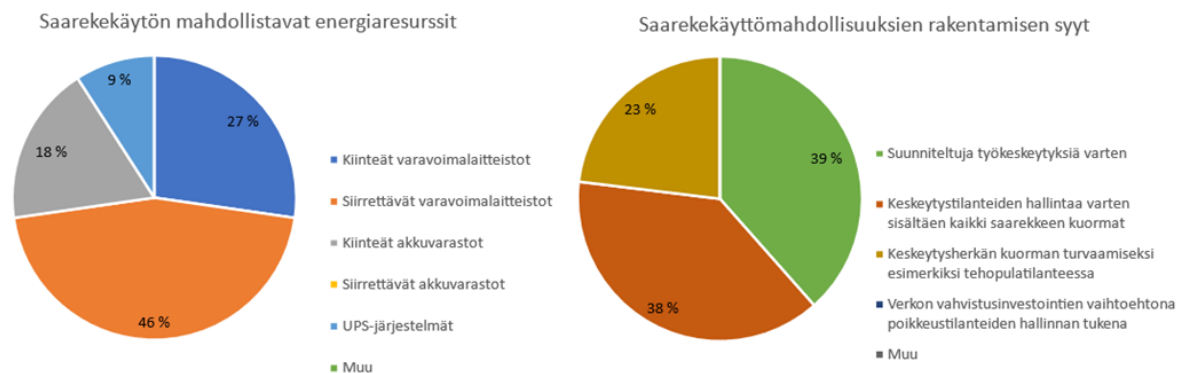


**Kuva 6.** Verkkoyhtiöiden omat sähköverkon suunnitellut saarekkeet sekä niiden sijainti eri jännitetasoilla.

Saarekekäyttömahdollisuuksia sijaitsi sekä pien- että keskijänniteverkossa. Kuvassa 6 oikeanpuoleisessa kuvaajassa on havainnollistettu saarekeratkaisujen sijaintia eri jännitetasoilla. Kaikilla vastanneista yhtiöistä oli saarekeverkkoja pienjännitetasolla. Neljällä yhtiöllä oli lisäksi saarekeverkkoja keskijännitetasolla. Suurjänniteverkossa ei ollut ollenkaan saarekekäyttömahdollisuuksia.

Kyselyyn vastanneista jakeluverkkoyhtiöistä 66 % aikoi rakentaa tulevaisuudessa verkkoalueelleen sähköverkon saarekekäytön mahdollisuuksia. Yksi yhtiö vastasi, ettei aihe ole vielä ajankohtainen yhtiön osalta, ja yksi vastasi, että yhtiöllä ei ollut tiedossa, aikooko yhtiö rakentaa tulevaisuudessa edellytyksiä hyödyntää tilapäisiä sähköverkon saarekkeita verkkoalueellaan.

Verkkoyhtiöistä lähes kaikilla oli useita erityyppisiä energiaresursseja käytössä saarekekäytön mahdollistamiseksi. Siirrettävät ja kiinteät energiaressit olivat yhtä yleisiä. Saarekeverkoissa käytetyt energiaressit on esitetty kuvassa 7 vasemmanpuoleisessa kuvaajassa.



**Kuva 7.** Sähköverkkoyhtiöillä käytössä olevat saarekekäytön mahdollistavat energiaressit ja saarekekäyttömahdollisuuksien rakentamissyit.

Siirrettävät varavoimalaitteistot olivat yleisin saarekekäytön mahdollistamiseksi käytetty energiaressit, ja niitä oli käytössä kaikilla viidestä vastanneesta yhtiöstä. Kiinteitä varavoimalaitteistoja oli käytössä kolmella yhtiöllä, ja ne olivat toiseksi yleisin käytetyistä varavoimalaitteistoista. Kahdella yhtiöllä oli käytössä kiinteitä akkuvarastoja ja yhdellä yhtiöllä UPS-järjestelmiä. Siirrettäviä akkuvarastoja ei ollut käytössä yhdelläkään vastanneista yhtiöistä.

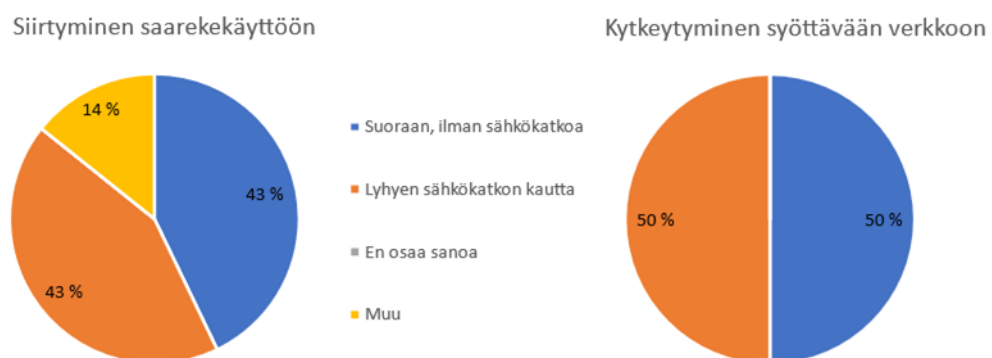
Verkkoyhtiöt olivat rakentaneet useista syistä saarekekäyttömahdollisuuksia verkkoalueelleen. Kuvan 7 oikeanpuoleisessa kuvassa on havainnollistettu vastauksia kysymykseen saarekekäyttömahdollisuuksien rakentamissyistä. Kyselyyn vastanneiden verkkoyhtiöiden mukaan yleisimpiä syitä saarekekäyttömahdollisuuksien rakentamiseen olivat

suunniteltujen työkeskeytysten ja keskeytystilanteiden hallinta kaikki saarekkeen kuormat mukaan lukien. Lisäksi 3 verkkoyhtiötä oli hyödyntänyt saarekekäyttöä keskeytysherkän kuorman turvaamiseksi. Yksikään verkkoyhtiöistä ei ollut rakentanut saarekekäyttömahdollisuuksia verkon vahvistusinvestointien lykkäämistä varten. Vastanneet yritykset eivät myöskään antaneet valmiiden vastausvaihtoehtojen lisäksi muita syitä saarekekäyttömahdollisuuksien rakentamiselle.

Verkkoyhtiöt vastasivat hyödyntävänsä saarekeverkkoja muutamasta kerrasta noin kymmeneen kertaan vuodessa. Saarekkeita, jotka muodostettiin kiinteiden energiaresursien avulla, hyödynnettiin vähemmän kuin siirrettävien energiaresursien avulla muodostettavia saarekeverkkoja. Siirrettäviä energiaresursseja hyödynnettiin jopa useita kertoja viikossa verkon eri kohteissa muun muassa vikatilanteiden ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä.

Saarekekäytössä oli varauduttu vähintään useita tunteja kestäviin keskeytyksiin. Saarekeverkkojen, joiden energiaresurssina oli polttoaineella toimivia varavoimalaitteistoja, käyttöaika oli useita vuorokausia riippuen polttoaineen saatavuudesta ja tankkausjärjestelyistä. Akkuvarastojen käyttöaika oli vastanneiden verkkoyhtiöiden mukaan muutamia tunteja, eli rajallisempi kuin polttoaineella toimivien varavoimalaitteistojen. Lisäksi huomautettiin, että siirrettäviä varavoimalaitteita ei ole kannattavaa kuljettaa lyhyiden katkojen takia ilman erityistä tarvetta.

Vastanneiden verkkoyhtiöiden saarekeratkaisuissa siirtyminen saarekekäyttöön ilman sähkökatkoa ja lyhyen katkon kautta ovat yhtä yleisiä. Samoin saarekekäytöstä kytkeytyminen takaisin syöttävään verkkoon oli yhtä yleistä molemmilla tavoilla. Verkkoyhtiöiden vastauksia saarekekäyttöön siirtymiseen ja liittymiseen takaisin syöttävään verkkoon liittyviin kysymyksiin on havainnollistettu kuvassa 8.



**Kuva 8.** Saarekekäyttöön siirtyminen ja kytkeytyminen syöttävään verkkoon.

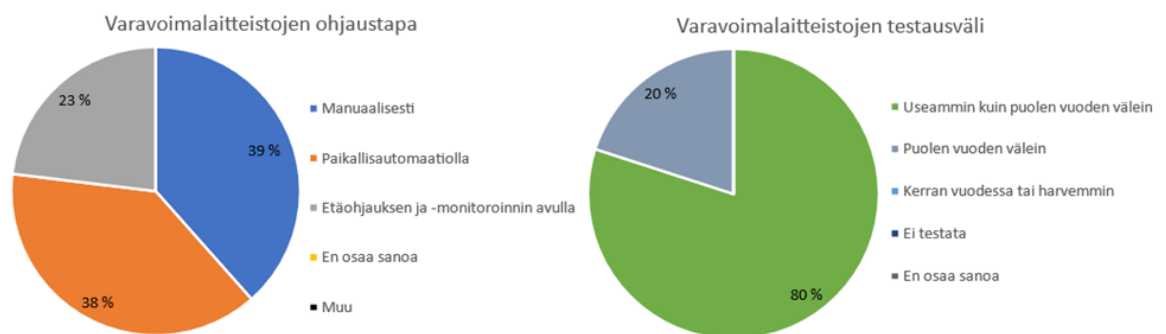
Vastanneiden verkkoyhtiöiden saarekekäytöistä 43 % siirryttiin suoraan ilman katkoa ja 43 % lyhyen sähkökatkon kautta. Kaksi yhtiötä vastasi, että saarekekäyttöön siirrytään



kohteesta riippuen suoraan tai lyhyen sähkökatkon kautta. Yhdellä yhtiöllä ei ollut tietoa tavasta, jolla saarekekäyttöön siirryttiin verkkoyhtiön pilottikohteessa.

Vastanneiden verkkoyhtiöiden saarekekäytöstä 50 % kytkeydyttiin syöttävään verkkoon suoraan ilman katkoa ja 50 % lyhyen sähkökatkon kautta. Kolme yhtiötä vastasi, että saarekekäytöstä kytkeydytään takaisin syöttävään verkkoon kohteesta riippuen joko suoraan tai lyhyen sähkökatkon kautta.

Saarekekäytön mahdollistavia varavoimalaitteistoja voitiin ohjata useilla eri tavoilla. Ohjaustavat riippuivat esimerkiksi laitteistojen iästä, joka vaikutti laitteiston automaatio- ja valvontamahdollisuuksiin. Kuvassa 9 vasemmanpuoleisessa kuvaajassa on havainnollistettu verkkoyhtiöiden vastauksia varavoimalaitteistojen ohjaustavoista.



**Kuva 9.** Varavoimalaitteistojen ohjaustavat ja toiminnallisuuden testausväli.

Ohjaustavoista manuaalinen ohjaus ja paikallisautomaatio olivat yleisimmin käytössä. Kaikki 5 kyselyyn vastanneista verkkoyhtiöistä hyödynsivät varavoimalaitteistojen ohjauksessa manuaalista ohjaustapaa tai paikallisautomaatiota. Tämän lisäksi 3 yhtiötä vastasi hyödyntävänsä etäohjausta ja -monitorointia varavoimalaitteistojen ohjauksessa. Vastanneiden verkkoyhtiöiden rakentamissa saarekeverkoissa ei ollut mahdollisuutta ohjata kuormia saarekekäytön aikana.

Kyselyyn vastanneista verkkoyhtiöistä kaikki testasivat varavoimalaitteistojensa toiminnallisuutta vähintään puolen vuoden välein. Kuvassa 9 oikeanpuoleisessa kuvaajassa on esitetty, kuinka usein verkkoyhtiöt vastasivat testaavansa varavoimalaitteistojen toiminnallisuutta. Verkkoyhtiöistä 80 %, eli 4 verkkoyhtiötä vastasi tarkistavansa varavoimalaitteiden toiminnallisuuden useammin kuin puolen vuoden välein, ja yksi verkkoyhtiö vastasi testaavansa varavoimalaitteiden toiminnallisuuden puolen vuoden välein.

Kysymyksessä 15 selvitettiin verkkoyhtiöiden tapoja varmistaa sähköturvallisuus ja suojausten toimivuus siirryttäessä saarekekäyttöön, saarekekäytön aikana ja kytkeydyttäessä takaisin syöttävään verkkoon. Vastauksista nousi esille saarekekäytön suunnittelu etukäteen, työtoimenpiteiden valvonta, vikavirran syöttökyky sekä saarekeverkon riittävä

erottaminen syöttävästä verkosta saarekekäytön aikana. Kiinteiden varavoimalaitteistojen toimivuus varmistetaan simuloinneilla, joita verrataan mittaustuloksiin. Siirrettävien varavoimalaitteistojen toimivuus varmistetaan laskennallisesti. Lisäksi varavoimalaitteiston riittävä vikavirran syöttökyky suhteessa kohteen suojausjärjestelyihin varmistetaan. Verkon käyttötoimenpiteet suunnitellaan etukäteen, ja toimenpiteitä valvotaan.

Varavoimalaitteistoja ei saa käyttää verkon rinnalla ilman riittävää suojausta. Saarekekäytön aikana sähkönsyöttö jännitteettömään ulkoiseen verkkoon on estettävä. Tämä toteutetaan suojausautomaatiikalla tai mekaanisilla verkonvaihtokytkimillä. Uudemmissa varavoimalaitteistoissa saattaa myös olla sisäänrakennettuna saarekeverkon suojaukseen käytettäviä katkaisijoita, joiden asetuksia voidaan muuttaa käyttötilanteen mukaan.

Haasteina verkkoyhtiöiden omista saarekekäytöistä nousivat esille varavoiman rajallinen riittävyys, turvallisuus sekä varavoimalaitteisiin liittyvät haasteet. Varavoiman ja saarekekäytön pituuden mitoitus on suunniteltu verkon huoltotoimenpiteitä ajatellen, jolloin saarekekäytön ylläpitoaika voi pitkissä vikakeskeytyksissä olla lyhyempi kuin vian korjaamiseen kuluva aika.

Saarekekäytön ja varavoimalaitteistojen turvallisuuteen liittyvät haasteet liittyivät laitteistojen vikavirran syöttökykyyn ja turvalliseen kytkeytymiseen syöttävään verkkoon saarekekäytöstä. Varavoimalaitteistojen liian vähäinen vikavirran syöttökyky aiheuttaa haasteita kiinteistöjen suojauksen toiminnassa, ja tästä syystä varavoimalaitteistoja ei voida hyödyntää kaikissa muuten potentiaalisissa kohteissa. Lisäksi syöttävän verkon jännitteen mittaaminen ja sovittaminen saarekeverkon jännitteeseen saarekeverkon kytketyessä takaisin syöttävään verkkoon saarekekäytöstä tuottaa haasteita.

### **5.1.2 Asiakkaiden saarekekäytöt verkkoyhtiön verkkoalueella**

Kyselylomakkeen toiseen osaan vastasi 6 sähköverkkoyhtiötä. Toisessa osassa käsiteltiin verkkoyhtiöiden verkkoalueella olevien asiakkaiden omistamien varavoimalaitteistojen mahdollistamia saarekekäyttöjä sekä verkkoyhtiöiden ja asiakkaiden välistä vuorovaikutusta.

Kolmessa ensimmäisessä toisen osion kysymyksessä käsiteltiin asiakkaiden varavoimaja saarekeratkaisuja. Kyselyyn vastanneista jakeluverkkoyhtiöistä 67 % vastasi, että yhtiön verkkoalueella on asiakkaiden saarekekäyttöön kykeneviä varavoimalaitteistoja. Yhden verkkoyhtiön verkkoalueella ei ollut yhtiön tiedossa olevia asiakkaiden omistamia saarekekäyttöön kykeneviä varavoimalaitteistoja, ja yhdellä yhtiöllä ei ollut asiasta tietoa.

Kuvassa 10 on havainnollistettu jakeluverkkoyhtiöiden ja asiakkaiden välistä vuorovaikutusta asiakkaiden omiin varavoimalaitteistoihin liittyen. Kuvan 10 vasemmanpuoleisessa kuvaajassa on havainnollistettu jakeluverkkoyhtiöiden tietoja yhtiön verkkoalueella sijaitsevista varavoimalaitteistoista, joita voidaan käyttää saarekekäytössä.



**Kuva 10.** Jakeluverkkoyhtiöiden ja asiakkaiden välinen vuorovaikutus asiakkaiden omiin varavoimalaitteistoihin liittyen.

Verkkoyhtiöiden tiedossa oli yhtiöstä riippuen muutamasta useaan kymmeneen asiakkaiden omaa saarekeratkaisua. Tiedossa olevia asiakkaiden saarekeratkaisuja oli maatilayrittäjillä, terveydenhuoltoyksiköillä, pelastuslaitoksilla ja teollisuusalan toimijoilla. Yhtiöillä ei kuitenkaan ollut tarkkaa tietoa kaikista verkkoalueellaan sijaitsevista asiakkaiden omistamista varavoima- tai saarekeratkaisuista. Tämä johtuu siitä, että asiakkailla ei ole ilmoitusvelvollisuutta tapauksissa, joissa varavoimalaitteistoa ei käytetä ulkoisen verkon kanssa rinnan. Verkkoyhtiöiden tietoon ei ollut tullut merkittäviä haasteita asiakkaiden omistamista varavoima- tai saarekeratkaisuista.

Vastanneista verkkoyhtiöistä 50 % kertoi asiakkaiden ottavan yhtiöön yhteyttä omia varavoimaratkaisuja suunnitellessaan. Kaksi verkkoyhtiötä vastasi, etteivät asiakkaat ole ottaneet yhtiöön yhteyttä varavoimaratkaisuihin liittyen, ja yksi yhtiö ei osannut sanoa, ovatko asiakkaat olleet yhtiöön yhteydessä. Kuvan 10 keskimmaisessa kuvaajassa on havainnollistettu verkkoyhtiöiden vastauksia kysymykseen asiakkaiden yhteydenotoista varavoimalaitteistoihin liittyen.

Asiakkaiden yhteydenotot liittyivät laitteistoja koskeviin teknisiin kysymyksiin, saarekekäyttöön sekä pientuottajana toimimiseen. Asiakkaat hakivat verkkoyhtiöiltä asiantuntevaa apua varavoimajärjestelmän teknisiin kysymyksiin, kuten varavoimalaitteiston turvalliseen kytkemistapaan. Lisäksi asiakkaat kysyivät verkkoyhtiön näkemystä asiakkaan tarpeisiin sopivasta varavoimalaitteistosta.

Saarekekäyttöön liittyvät kysymykset olivat usein käytännön kysymyksiä saarekeverkon toiminnasta ja varavoimalaitteiston rinnankäytöstä ulkoisen verkon kanssa. Lisäksi asiakkaita kiinnosti mahdollisuus siirtää sähköä kahden kiinteistön välillä, ja itse tuotetun sähkön myyminen esimerkiksi naapurille.

Suurin osa kyselyyn vastanneista verkkoyhtiöistä tarjosi asiakkailleen neuvontaa asiakkaiden omiin varavoimaratkaisuihin liittyen. Vastanneista verkkoyhtiöistä 67 % tarjosi asiakkaille neuvontaa, ja 33 % ei tarjonnut asiakkaille neuvontaa. Kuvan 10 oikeanpuoleisessa kuvaajassa on havainnollistettu vastauksia kysymykseen jakeluverkkoyhtiöiden tarjoamasta neuvonnasta asiakkaiden varavoimalaitteistoihin liittyen.

Verkkoyhtiöiden asiakkaille tarjoama neuvonta piti sisällään opastusta verkon ja liittymäehtojen vaatimuksista varavoimalaitteistoilta. Neuvontaan sisältyivät myös varavoimalaitteiston kytkentään liittyvät asiat. Verkkoyhtiöiden mukaan asiakkaiden varavoimajärjestelmän suunnitelma käydään tapauskohtaisesti läpi esimerkiksi yleis- tai perustietolomakkeen avulla, johon täydennetään pienvoimalaitosten ja varavoimalaitteistojen perustiedot. Yleistietolomakkeessa käsitellään nimellistehoaltaan alle 100 kW tuotantolaitteiston tai sähkövaraston sähköverkkoon liittämistä. Perustietolomakkeessa käsitellään nimellistehoaltaan yli 100 kW tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä. Yleis- ja perustietolomakkeet ovat saatavilla jakeluverkkoyhtiöiden verkkosivuilta.

Jakeluverkkoyhtiöitä pyydettiin pohtimaan asiakkaiden varavoima- tai saarekeratkaisujen hyödyntämistä verkon kapasiteetti- tai toimitusvarmuusjoustoissa sekä tästä asiakkaalle mahdollisesti maksettavaa korvausta. Yhdelläkään vastanneista verkkoyhtiöistä ei ollut valmista mallia asiakkaiden varavoima- tai saarekeratkaisujen hyödyntämisestä eikä korvausten maksamisesta, ja verkkoyhtiöiden näkemykset aiheesta olivat varsin erilaisia. Osassa verkkoyhtiöistä ei nähty tarvetta asiakkaiden varavoima- tai saarekeratkaisujen hyödyntämiselle tai yhtiön verkkoalueella ei ollut paikkoja, joissa asiakkaan järjestelmä olisi syöttänyt muita loppukäyttäjiä. Näissä tapauksissa korvausten maksamiselle ei nähty tarvetta tai korvausten maksamista ei ollut vielä pohdittu tai selvitetty.

Osassa verkkoyhtiöistä todettiin, että asiakkaille voitaisiin maksaa korvauksia verkon kapasiteetti- tai toimitusvarmuusjoustoista, jos sen todettaisiin olevan saneerausta kannattavampi ja teknisesti toimiva ratkaisu. Tällöin maksettavien korvausten määrä voisi olla riippuvainen esimerkiksi keskeytyskustannuksista. Toinen vastauksista esille noussut tapa määrittää maksettava korvaus riippui tapauskohtaisesti jouston arvosta ja sen aiheuttamista kustannuksista jouston tarjoajalle. Tässä tapauksessa jouston tarjoaja voisi

määrittää palvelulleen hinnan. Korvaus voitaisiin esimerkiksi jakaa kuukausittaiseen perusmaksuun joustovalmiudesta sekä toteutuneen jouston mukaan maksettavaan komponenttiin.

Asiakkaiden varavoima- tai saarekeratkaisujen hyödyntämisen yhteydessä pohdittiin myös kunkin osapuolen vastuuta. On määritettävä, kenen vastuulla ovat mahdolliset laiterikot varavoimalaitteistoissa, sähköverkossa tai asiakkaiden laitteistoissa, jos asiakkaan energiaresursseja hyödynnetään verkon kapasiteetti- tai toimitusvarmuusjoustoissa. Lisäksi on otettava huomioon, että verkkopalvelumaksujen on oltava tasapuolisia ja syrjimättömiä. Myös verkon kapasiteetti- tai toimitusvarmuusjoustoista maksettavien korvausten tulisi olla tasapuolisia.

### **5.1.3 Saarekekäytön kehitystarpeet ja mahdollisuudet**

Kyselyyn vastanneet verkkoyhtiöt näkivät saarekekäytön mahdollisuuksiksi vikatilanteiden hallinnan varavoimalaitteistojen mahdollistamien saarekekäyttöjen avulla. Siirrettäviä varavoimalaitteistoja voidaan hyödyntää yksittäisten kohteiden työ- ja vikakeskeytysten hallinnassa, mutta niitä ei voida hyödyntää suurhäiriötilanteessa. Tämä johtuu siitä, että siirrettävien varavoimalaitteistojen kuljettaminen olisi hankalaa haja-asutusalueella suurhäiriön aikana.

Mahdollisuutena nähdään myös pientuotannon ja kiinteistöjen energiavarastojen yleistyminen, jonka avulla huipunleikkaus korkean sähkönhinnan aikana voisi yleistyä. Myös saarekekäytön ja energiayhteisöjen nähdään yleistyvän tulevaisuudessa esimerkiksi energiavarastojen yleistyessä.

Kehittämiskohteina saarekekäytön laajempaa hyödyntämistä ajatellen verkkoyhtiöt kokiivat lainsäädännön määrittelyn varavoimalaitteistoille ja saarekekäytölle. Lisäksi varavoimalaitteistojen vikavirran syöttökyvyn pitäisi olla riittävä verkon suojauksen toteuttamisen kannalta. Uudistuksia suunniteltaessa on myös otettava huomioon, ettei asiakkaille koidu uudistuksista suuria kustannuksia.

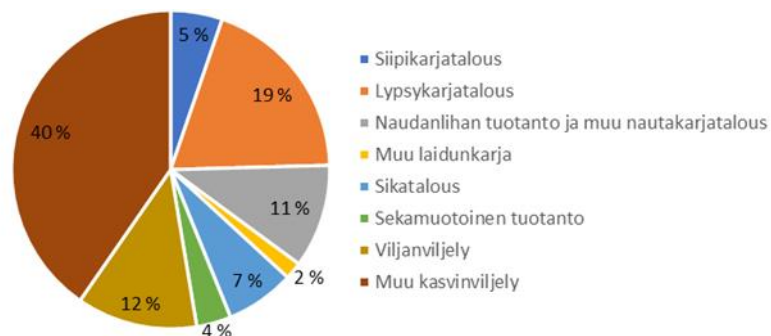
Kyselylomakkeen viimeinen kysymys tarjosi vastaajalle mahdollisuuden antaa palautetta kyselystä sekä pohtia saarekekäyttöä ja sen tulevaisuutta vapaasti. Vastanneet verkkoyhtiöt ilmaisivat olevansa kiinnostuneita kyselyn aiheesta, ja odottavansa mielenkiinnolla minkälaisia ratkaisuja tulevaisuudessa kehitetään. Kyselyn täyttämiseen kerrottiin menneen pidempi aika, kuin mitä saatetekstissä oli arvioitu. Vastauksissa huomautettiin myös, ettei jakeluverkkoyhtiöllä ole välttämättä tietoa verkkoalueella sijaitsevista kohteista, joissa pientuottaja syöttäisi muitakin kiinteistöjä omansa lisäksi. Lisäksi kerrottiin,

että saarekekäyttöä kiinteiden varavoimalaitteistojen avulla oli tutkittu aikaisemmin Lappeenrannan yliopiston toimesta. Tällöin oli todettu, ettei järjestelmä ole kannattava verkoyhtiön kannalta. Samalla pohdittiin, että asiakkaiden omat ratkaisut voivat olla tässä suhteessa toimiva ratkaisu.

## 5.2 Maatilayrittäjille teetetyn kyselyn tulokset

Maatilayrittäjille lähetettyyn kyselyyn varavoimalaitteistoista, niiden käytöstä sekä hyödyntämisestä tulevaisuudessa vastasi 57 maatilayrittäjää. Suomessa on useita tuhansia maatilayrittäjiä, joten vain pieni osa Suomen kaikista maatilayrittäjistä vastasi kyselyyn, ja kyselyn vastausprosentti on siten hyvin pieni. Kyselyyn vastasi kuitenkin riittävän moni maatilayrittäjä, jotta vastauksista voidaan tehdä merkittävää analyysia. Kyselylomakkeen ensimmäisen osan kysymykset keskittyivät maatilayrittäjien omistamiin varavoimalaitteistoihin ja niiden käyttökokemuksiin.

Kahdessa ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin yleisiä tietoja maatilojen tuotantosuunnasta sekä alueellisesta sähköverkonhaltijasta. Vastanneiden maatilojen jakautuminen eri tuotantosuuntiin on havainnollistettu kuvassa 11.



**Kuva 11.** Vastanneiden maatilojen tuotantosuunnat.

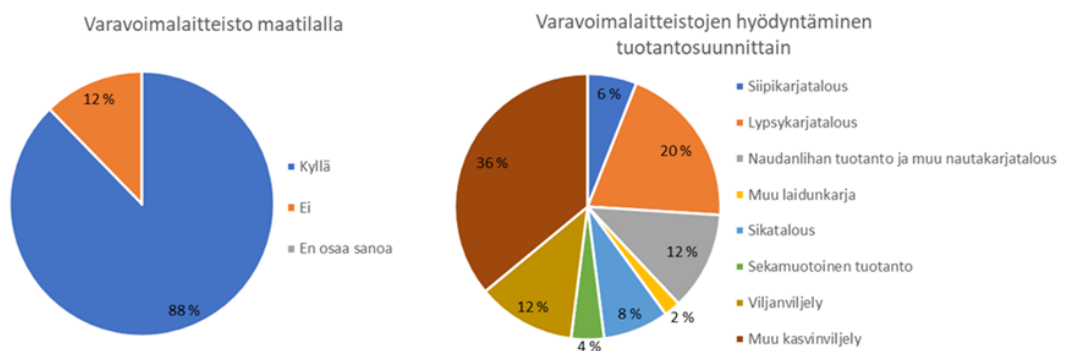
Vastaukset on jaettu 8 tuotantosuuntaan siten, että samankaltaiset vastaukset on yhdistetty saman tuotantosuunnan alle kuitenkin niin, että sama maatila kuuluu vain yhteen kategoriaan. Tuotantosuunnat on jaettu siten, että mahdollisesti erilaisia vaatimuksia varavoiman saatavuudelle ja käyttötarkoitukselle asettavat tuotantosuunnat on erotettu omiksi tuotantosuuntaryhmikseen. Siipikarjatalouteen kuuluu kaikki siipikarjaan liittyvä tuotanto, eli kyselyyn vastanneiden maatilayrittäjien tapauksessa broilerintuotanto ja kananmunantuotanto. Lypsykarjatalouteen kuuluvat vastaukset, joissa mainittiin maidontuotanto tai lypsykarja. Naudanlihan tuotantoon ja muuhun nautakarjatalouteen kuuluvat kaikki naudankasvatukseen viitanneet vastaukset pois lukien lypsykarjataloudet. Muuhun laidunkarjaan kuuluvat kaikki muuhun kuin naudankasvatukseen tai lypsykarjatalouteen liittyneet vastaukset. Sikatalouteen kuuluvat kaikki sikojen kasvatukseen liittyneet

vastaukset. Sekamuotoiseen tuotantoon kuuluvat kaikki useita eri tuotantosuuntia ilmoittaneet maatilat, joiden tuotantosuunnat koostuivat kotieläintuotannosta sekä kasvinviljelystä. Viljanviljelyyn kuuluvat kaikki vastaukset, joissa tuotantosuunnaksi ilmoitettiin ainoastaan jokin viljanviljelyyn viittaava tuotantosuunta. Muuhun kasvinviljelyyn kuuluvat kaikki muut kasvinkasvatukseen ja -hoitoon liittyvät tuotantomuodot paitsi viljanviljely. Muita tuotantomuotoja ovat esimerkiksi viljely avomaalla ja kasvihuoneessa sekä metsätalous ja luonnonhoito.

Vastanneista maatilayrittäjistä hieman alle puolen tuotantosuunta liittyi kotieläintuotantoon. Kotieläintuotantoon kuuluviin tuotantosuuntiin lasketaan siipi- ja lypsykarjatalous, naudanlihan tuotanto ja muu nautakarjatalous, muu laidunkarja, sikatalous sekä sekamuotoinen tuotanto. Vastaavasti hieman yli puolen tuotantosuunta liittyi kasvinviljelyyn. Vastanneista maatilayrittäjistä suurimman osan tuotantosuunta oli muu kasvinviljely. Tämä johtuu osittain siitä, että muu kasvinviljely -kategoriaan kuuluu eniten erilaisia tuotantosuuntia. Seuraavaksi yleisimpiä tuotantosuuntia vastanneiden maatilayrittäjien keskuudessa olivat lypsykarjatalous, viljanviljely sekä naudanlihan tuotanto ja muu nautakarjatalous.

Suurin osa vastanneista maatiloista sijaitsi joko Elenia Verkko Oyj:n tai Caruna Oy:n verkkoalueella. Elenia Verkko Oyj ja Caruna Oy kuuluvat Suomen verkkopituudeltaan suurimpiin jakeluverkkoyhtiöihin. Elenia Verkko Oyj:n verkkoalueella sijaitsi 23 % vastanneista maatiloista ja Caruna Oy: verkkoalueella 18 %. Loput vastanneista maatiloista sijaitsivat pienempien jakeluverkkoyhtiöiden verkkoalueilla.

Suurimmalla osalla vastaajista, eli 88 %:lla oli maatilallaan käytössä jonkinlainen varavoimailaitteisto. Vastaavasti 12 % ilmoitti, että maatilalla ei ole käytössä varavoimailaitteistoa. Kuvassa 12 on havainnollistettu maatilayrittäjien vastauksia varavoimailaitteistojen omistamisesta sekä sitä, miten varavoimailaitteita omistaneet maatilat jakautuivat tuotantosuunnittain.



**Kuva 12.** Maatilayrittäjien omistamat varavoimailaitteistot.

Kyselytutkimuksen tulosten perusteella maatalojen varautuminen esimerkiksi sähkökatkoihin varavoimalaitteistojen avulla on hyvä. Kaikissa tuotantosuunnissa oli maatilayrittäjiä, joilla oli käytössä varavoimalaitteistoja. Hieman yli puolet maataloista, joilla oli varavoimalaitteistoja, harjoitti jonkinlaista kotieläintuotantoon liittyvää tuotantosuuntaa. Suurin osa maataloista, joilla oli käytössään varavoimalaitteistoja, harjoitti muuta kasvinviljelyä, lypsykarjataloutta, naudanlihan tuotantoa ja muuta nautakarjataloutta tai viljanviljelyä. Taulukossa 1 on esitetty kyselytutkimuksen vastaajamäärät tuotantosuunnittain, varavoimaa omistavien tilojen määrä sekä varavoimaa hyödyntävien tilojen osuus tuotantosuunnan kaikista vastaajista.

**Taulukko 1.** Varavoimalaitteistojen hyödyntäminen tuotantosuunnittain.

Tuotantosuunta	Vastanneita yhteensä	On varavoimaa	Varavoiman hyödyntäminen (%)
Siipikarjatalous	3	3	100 %
Lypsykarjatalous	11	10	91 %
Naudanlihan tuotanto ja muu nautakarjatalous	6	6	100 %
Muu laidunkarja	1	1	100 %
Sikatalous	4	4	100 %
Sekamuotoinen tuotanto	2	2	100 %
Viljanviljely	7	6	86 %
Muu kasvinviljely	23	18	78 %

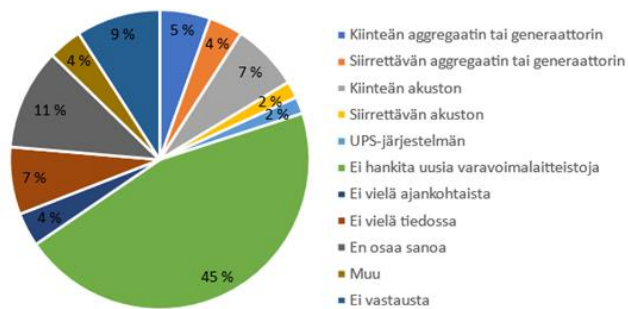
Kun kyselytutkimuksen tuloksia tarkastellaan tuotantosuunnittain, huomataan, että varavoimalaitteistoja oli käytössä eniten tiloilla, joiden tuotantosuunta liittyi kotieläintuotantoon. Näiden tuotantosuuntien varavoimalaitteistoja omistavien maatalojen osuus kaikista vastanneista tuotantosuunnan maataloista oli yli 90 %. Lisäksi huomataan, että kasvinviljelyyn liittyvien tuotantosuuntien keskuudessa varavoimalaitteistoja omistavien tilojen osuus kaikista vastanneista tuotantosuunnan maataloista oli pienempi, eli alle 90 %.

Maatilat ovat automatisoituneita ja siten riippuvaisia sähköstä. Varavoimalaitteistoja hankitaan maataloille, joiden tuotantosuunta liittyi kotieläintuotantoon, koska esimerkiksi ilmanvaihto-, ruokinta- ja juottolaitteistot ovat välttämättömiä eläinten hyvinvoinnin kannalta ja tarvitsevat sähköä toimiakseen. Lisäksi lypsykarjatililla lypsyrobotit tarvitsevat sähköä toimiakseen. Varavoimalaitteisto on pitkien sähkökatkojen tapauksessa välttä-



mätön, koska lypsyajasta ei voida joustaa muutamaa tuntia kauempaa. Kasvien kasvatamiseen suuntautuneilla mautiloilla sähköä tarvitaan erityisesti viljan kuivaukseen ja kylmälaitteiden toimintaan.

Suurin osa eli 45 % maatilayrittäjistä, joilla oli jo maatilallaan käytössä varavoimalaitteistoja, ei aikunut hankkia seuraavan 5 vuoden sisällä lisää varavoimalaitteistoja. Vain noin viidesosa vastaajista, joilla oli varavoimalaitteisto, aikoi hankkia jonkinlaisen uuden varavoimalaitteiston. Jo varavoimalaitteistoja omistavien maatilayrittäjien keskuudessa yleisin tulevaisuudessa hankittava varavoimalaitteisto oli kiinteä akusto, jonka aikoi hankkia 7 % vastaajista. Vastaajista 22 % ei ollut vielä varma, aiotaanko maatilalle hankkia lisää varavoimalaitteistoja seuraavan 5 vuoden sisällä. Kuvassa 13 on havainnollistettu kyselyssä saatuja tuloksia varavoimalaitteistojen hankinnasta seuraavan 5 vuoden sisällä.

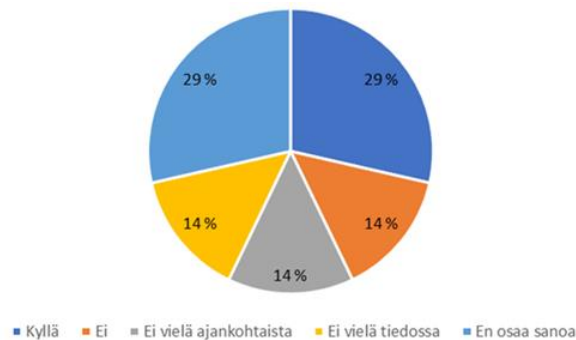


**Kuva 13.** Uusien varavoimalaitteistojen hankinta seuraavan 5 vuoden sisällä mautiloilla, joilla on jo varavoimalaitteistoja käytössä.

Tuotantosuunnaltaan kotieläintuotantoon tai kasvinviljelyyn liittyvien mautilojen suunnitelmissa hankkia lisää varavoimalaitteistoja seuraavan 5 vuoden sisällä ei havaittu merkittäviä eroja. Molemmissa ryhmissä noin 20 % vastaajista aikoi hankkia tulevaisuudessa uusia varavoimalaitteistoja. Kotieläintuotantoon suuntautuneista mautiloista 53 % ei aikunut hankkia uusia varavoimalaitteistoja, kun vastaava prosentti kasvinviljelyyn suuntautuneilla mautiloilla oli 37 %. Kotieläintuotantoon suuntautuneista mautiloista 15 % ei ollut vielä varma, aiotaanko maatilalle hankkia lisää varavoimalaitteistoja seuraavan 5 vuoden sisällä. Vastaava prosentti kasvinviljelyyn suuntautuneilla mautiloilla oli 29 %.

Muutama vastaajista aikoi hankkia useampia erilaisia varavoimalaitteistoja. Tällöin aiottiin hankkia kiinteä akusto sekä kiinteä tai siirrettävä aggregaatti tai generaattori. Annettujen vaihtoehtojen lisäksi vastaajat saivat täydentää omia vaihtoehtojaan vapaaseen kenttään. Nämä vastaukset näkyvät kuvaajassa vaihtoehtona ”Muu”. Valmiiden vastausvaihtoehtojen lisäksi muutamat maatilayrittäjät aikoivat hankkia aurinkopaneelit tai bio-kaasulaitoksen.

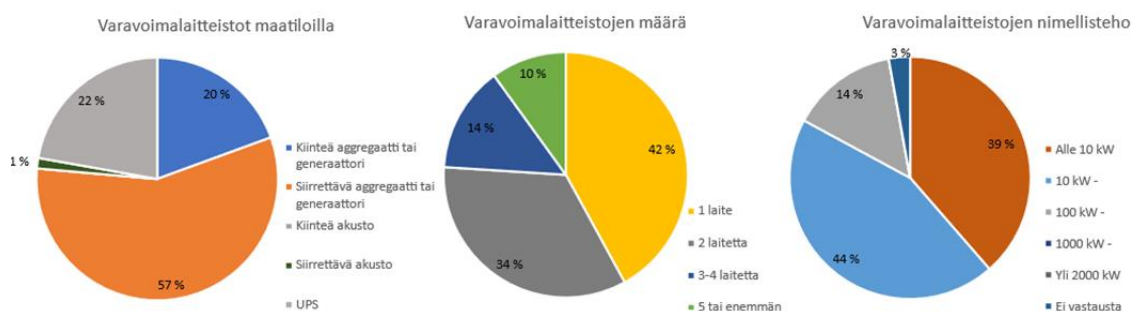
Maatiloista, joilla ei ollut käytössään varavoimalaitteistoja, 85 % harjoitti kasvinviljelyyn liittyvää tuotantosuuntaa, ja ainoastaan yksi vastaajista ilmoitti tuotantosuunnakseen kotieläintuotantoon liittyvän tuotantosuunnan. Suurin osa maatilayrittäjistä, joiden maatiloilla ei ollut käytössä varavoimalaitteistoja, ei ollut vielä harkinnut tai ei osannut sanoa varmaa tietoa aikeistaan hankkia varavoimalaitteistoa tulevaisuudessa. Vastaajista varavoimalaitteiston aikoi hankkia 29 %, ja 14 % ei aikonut hankkia varavoimalaitteistoa. Kuvassa 14 on havainnollistettu maatilayrittäjien, joilla ei ollut varavoimalaitteistoja, aikeita hankkia varavoimalaitteisto tulevaisuudessa.



**Kuva 14.** Varavoimalaitteistojen hankinta tulevaisuudessa maatiloilla, joilla ei ole varavoimalaitteistoja käytössä.

Jos varavoimalaitteistoja aiottiin hankkia tulevaisuudessa, ne olivat joko siirrettäviä aggregaatteja tai generaattoreita, akustoja tai UPS-järjestelmiä. Lisäksi vastauksissa mainittiin aikeista hankkia jonkinlainen aurinkopaneelien kanssa toimiva energiavarasto.

Maatilayrittäjiltä, joiden tilalla oli käytössä varavoimalaitteisto, kysyttiin seuraavaksi tietoja heidän varavoimalaitteistoistaan ja niiden käytöstä. Maatiloista yli 50 %:lla oli varavoimalaitteistona siirrettävä aggregaatti tai generaattori. Kiinteä aggregaatti tai generaattori sekä UPS-järjestelmä olivat lähes yhtä yleisiä. Yhdelläkään vastanneista maatiloista ei ollut käytössä kiinteää akustoa, ja ainoastaan yhdellä maatilalla oli siirrettävä akusto. Kuvassa 15 vasemmanpuoleisessa kuvaajassa on esitetty erilaisten varavoimalaitteistojen yleisyys vastanneiden mautilojen keskuudessa.



**Kuva 15.** Mautilojen varavoimalaitteistot.

Vastanneista maatilayrittäjistä 42 % oli yksi varavoimalaitteisto maatilallaan, mikä oli useimmiten siirrettävä aggregaatti tai generaattori. Kuvassa 15 keskimmaisessä kuvaajassa on havainnollistettu yhdellä maatilalla olevien varavoimalaitteistomäärien jakautumista. Vastanneista 34 % ilmoitti, että maatilalla on kaksi varavoimalaitteistoa. Laitteistot saattoivat olla samantyyppisiä varavoimalaitteistoja tai maatilalla saattoi olla kaksi erityyppistä laitteistoa, kuten kiinteä varavoimalaitteisto ja UPS-järjestelmä. Vastanneista 14 % ilmoitti, että maatilalla oli käytössä 3 tai 4 varavoimalaitteistoa. Maatiloista 10 % oli käytössä 5 tai useampi varavoimalaitteisto.

Maatilayrittäjistä 60 % oli vain yhdenlaisia varavoimalaitteistoja. Useammanlaisia varavoimalaitteistoja oli 40 % vastaajista, joista suurimmalla osalla oli siirrettävä aggregaatti tai generaattori ja UPS-järjestelmä. Muita yleisimpiä varavoimalaitteistoyhdistelmiä olivat kiinteä aggregaatti tai generaattori ja UPS-järjestelmä tai kiinteä ja siirrettävä aggregaatti tai generaattori.

Kaikkien kyselyyn vastanneiden maatilayrittäjien varavoimalaitteistot olivat nimellisteholtaan alle 1 MW. Yleisimmin maatiloilla oli nimellisteholtaan alle 100 kW varavoimalaitteistoja, kuten kuvan 15 oikeanpuoleisesta kuvaajasta voidaan nähdä. Maatiloista 39 %:lla oli nimellisteholtaan alle 10 kW varavoimalaitteistoja, ja 44 %:lla oli nimellisteholtaan yli 10 kW, mutta alle 100 kW varavoimalaitteistoja. Maatiloista 14 % ilmoitti, että maatilalla oli yli 100 kW, mutta alle 1000 kW varavoimalaitteisto. Vastaajista 3 % ei ilmoittanut minkäänlaisia nimellistehoja varavoimalaitteistoilleen. Kotieläintuotantoon suuntautuneilla maatiloilla oli käytössä useammin nimellisteholtaan suurempia varavoimalaitteistoja kuin kasvienviljelyyn suuntautuneilla tiloilla. Nimellisteholtaan alle 10 kW olevia laitteita oli yhtä paljon kotieläintuotantoon ja kasvienviljelyyn suuntautuneilla maatiloilla. Kotieläintuotantoon suuntautuneilla maatiloilla oli huomattavasti enemmän nimellisteholtaan sekä 10–100 kW että 100–1000 kW varavoimalaitteistoja.

Kiinteät varavoimalaitteistot olivat useammin nimellisteholtaan suurempia kuin siirrettävät varavoimalaitteistot. Kiinteitä varavoimalaitteistoja käyttävistä maatiloista yhtä monella, eli 44 %, oli käytössään nimellisteholtaan 10–100 kW varavoimalaitteistoja sekä 100–1000 kW varavoimalaitteistoja. Kiinteitä varavoimalaitteistoja käyttävistä maatiloista 12 % oli alle 10 kW varavoimalaitteisto. Siirrettäviä varavoimalaitteistoja käyttävistä maatiloista 61 % ilmoitti, että maatilalla varavoimalaitteiston nimellisteho oli 10–100 kW. Siirrettäviä varavoimalaitteistoja käyttävistä maatiloista 31 % ilmoitti, että varavoimalaitteiston nimellisteho oli alle 10 kW, ja 8 %, että varavoimalaitteiston nimellisteho oli 100–1000 kW. Yhdellä kyselyyn vastanneista maatilayrittäjistä oli siirrettävä akusto. Akuston nimellisteho oli alle 10 kW. Lisäksi kaikki UPS-järjestelmät olivat nimellisteholtaan alle 10 kW.

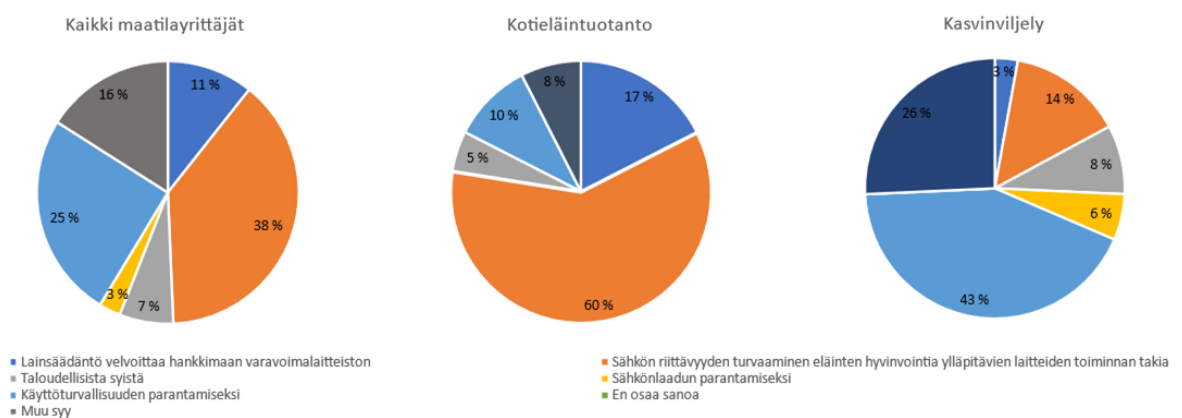
Kysymykseen vastanneista 50 maatilayrittäjästä 46 ilmoitti tilansa sähkönkulutuksen vuosienergian. Maatilayrittäjien sähkönkulutuksen vuosienergiat vaihtelivat 80 kWh ja 380 MWh välillä, ja maatilojen liittymän mukaan laskettu maksimiteho vaihteli 17 kW ja 86 kW välillä.

Yli 80 % maatilayrittäjistä, joilla oli ainoastaan alle 10 kW varavoimalaitteistoja, varavoimalaitteistojen teho ei riittänyt kattamaan koko maatalan tehon tarvetta. Näiden maatilojen liittymien mukaan laskettujen maksimitehojen keskiarvo oli 22 kW. Tällöin maatilalla ei voida saarekekäytön aikana käyttää kaikkia sähkönkulutuskohteita.

Maatiloilla, joiden nimellisteholtaan suurimpien varavoimalaitteistojen nimellisteho oli 10–100 kW, liittymien mukaan laskettujen maksimitehojen keskiarvo oli 40 kW. Näillä maatiloilla varavoimalaitteiston teho riitti varavoimalaitteiston tarkasta nimellistehosta riippuen kokonaan tai lähes kokonaan kattamaan koko maatalan tehon tarpeen. Lisäksi näillä maatiloilla oli usein monta varavoimalaitteistoa, kuten kiinteä tai siirrettävä aggregaatti tai generaattori ja UPS-laitteisto.

Maatilojen, joiden nimellisteholtaan suurimpien varavoimalaitteistojen nimellisteho oli 100–1000 kW, liittymien mukaan laskettujen maksimitehojen keskiarvo oli 53 kW. Maatilojen varavoimalaitteiston teho riittää siis kattamaan koko maatalan tehon tarpeen. Näistä maatiloista 60 % oli ainoastaan yksi varavoimalaitteisto.

Yleisimmät syyt varavoimalaitteistojen hankinnalle maatiloilla liittyivät sähkönsaannin turvaamiseen esimerkiksi erilaisissa sähkönjakelun häiriötilanteissa. Yleisin syy varavoimalaitteistojen hankinnalle oli eläinten hyvinvointia ylläpitävien laitteiden toiminnan turvaaminen, jonka vastasi 38 % maatilayrittäjistä. Muita yleisimpiä syitä olivat käyttöturvallisuuden parantaminen ja taloudelliset syyt. Kuvassa 16 on havainnollistettu maatilayrittäjien ilmoittamia syitä varavoimalaitteistojen hankinnalle.



**Kuva 16.** Maatilayrittäjien syyt varavoimalaitteistojen hankinnalle.

Kolmasosalla vastaajista oli useampi kuin yksi syy varavoimälaitteiston hankinnalle. Yksikään vastaajista ei ilmoittanut hankkineensa varavoimälaitteistoja ainoastaan taloudellisista syistä, kun taas yli 30 % vastaajista ilmoitti eläinten hyvinvointia ylläpitävien laitteiden toiminnan turvaamisen ainoaksi syyksi hankkia varavoimälaitteisto. Vastaajien itse täyttämistä vastauksista suurin osa oli täydennyksiä annettuihin vastausvaihtoehtoihin. Nämä vastaukset on esitetty kuvassa vaihtoehdolla ”Muu syy”. Moni vastaajista täsmensi hankkineensa varavoimälaitteistoja myrskyjen aiheuttamien pidempien sähkökatkojen varalle.

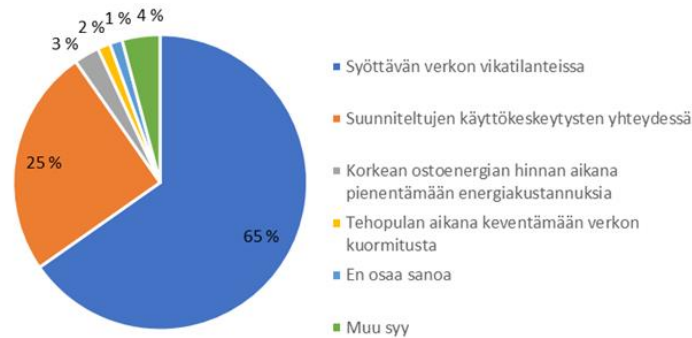
Kuten kuvasta 16 voidaan nähdä, kasvinviljelyyn suuntautuneilla tiloilla yleisin syy varavoimälaitteistojen hankintaan oli käyttöturvallisuuden parantaminen, minkä osuus kaikista hankintasyistä oli 43 %. Varavoimälaitteistoja oli hankittu varmistamaan kylmälaitteiden toiminta sekä ylläpitämään tuotantoa ja muuta liiketoimintaa sähkökatkojen aikana. Osa kasvinviljelyyn suuntautuneista maataloista ilmoitti varavoimälaitteiden hankintasyiksi eläinten hyvinvointia ylläpitävien laitteiden toiminnan turvaamisen. Näissä vastauksissa oli täsmennetty, että tilalla oli aikaisemmin ollut kotieläintuotantoa, jota varten varavoimälaitteisto oli hankittu. Maataloilla, joiden tuotantosuunta liittyi kotieläintuotantoon, yleisin syy varavoimälaitteistojen hankintaan oli eläinten hyvinvointia ylläpitävien laitteiden toiminnan turvaaminen, minkä osuus hankintasyistä oli 60 %. Lisäksi 17 % ilmoitti hankintasyiksi lainsäädännöllisen veloitteen.

Lainsäädännöllisistä syistä varavoimälaitteiston hankkineet maatilayrittäjät ilmoittivat useita eri syyksiä ja tukia velvoittaviksi syiksi hankkia varavoimälaitteisto. Valtioneuvoston asetus broilereiden suojelusta 375/2011 velvoittaa hankkimaan varavoimajärjestelmän kasvattamon koneellista ilmanvaihtoa varten häiriötilanteiden varalle. Näin turvataan oikeanlainen lämpötila, keskimääräinen suhteellinen kosteus sekä ammoniakki- ja hiilidioksidipitoisuus. (Asetus 375/2011) Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettava rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista 405/2017 sekä asetuksen uudempi versio 610/2023, joka astui voimaan 30.3.2023, velvoittavat järjestämään tuotannon ja eläinten hyvinvoinnin sähkökatkon aikana. Samalla on turvattava eläinten vedensaanti sekä ilmaston ja lämmityksen toiminta. (Asetus 610/2023; Asetus 405/2017)

Myös maatilojen investointituki ja eläinten hyvinvointikorvaukset oli mainittu syiksi hankkia varavoimälaitteisto lainsäädännöllisistä syistä. Investointitukea saadakseen maatalalla on oltava varavoimälaitteisto. Lisäksi nautojen ja sikojen kasvatukseen liittyvät eläinten hyvinvointikorvaukset velvoittavat turvaamaan eläinten hyvinvoinnin häiriötilanteiden sattuessa. Tuen saanti velvoittaa hankkimaan sähköntuotannon varajärjestelmän, jonka

avulla koneellinen ilmanvaihto sekä tarvittaessa vedensaanti, ruokintalaitteet ja lannanpoisto toimivat. Lisäksi kylmäpihatoissa juoma-astioiden tai juottolaitteiden lämmitykseen on oltava varajärjestelmä. (Ruokavirasto 2023; Ruokavirasto 2020)

Varavoimailaitteistoja oli käytetty maataloilla yleisimmin erilaisissa sähkönjakelun häiriöissä. Vastaajista 65 % kertoi käyttäneensä varavoimailaitteistoja syöttävän verkon vika-tilanteissa, ja 25 % suunniteltujen käyttökeskeytysten yhteydessä. Kuvassa 17 on havainnollistettu maatalayrittäjien ilmoittamia syitä varavoimailaitteistojen käyttämiselle.



**Kuva 17.** Varavoimailaitteistojen käyttösyitä maataloilla.

Kaksi vastanneista maatalayrittäjästä kertoi hyödyntäneensä varavoimailaitteistoansa pienentämään energiakustannuksia korkean ostoenergian hinnan aikana, ja yksi kertoi käyttäneensä varavoimailaitteistoja keventämään verkon kuormitusta. Muiksi syiksi hyödyntää varavoimailaitteistoja maatalayrittäjät kertoivat koekäytön ja varavoimailaitteiston hyödyntämisen tilan ulkopuolella. Yhdessä kohteessa varavoimailaitteistoja ei ollut hyödynnetty ollenkaan.

Varavoimailaitteistojen käyttömäärät vaihtelivat suuresti vastaajien kesken. Tämän lisäksi vastaajat kertoivat varavoimailaitteistojen käyttötarpeen vaihtelevan vuosittain. Koska varavoimailaitteistoja hyödynnetään yleisimmin erilaisissa sähkönjakelun häiriöissä, varavoimailaitteistojen vuosittainen käyttötarve ei ole vakio. Esimerkiksi sääolosuhteet ja satunnaiset laiterikot sähkönjakeluverkossa aiheuttavat sähkönjakelun häiriöitä, joiden määrä vuositasolla vaihtelee.

Noin 40 % vastaajista ilmoitti käyttäneensä varavoimailaitteistoja kerran vuodessa tai harvemmin. Maatalayrittäjästä noin kolmasosa kertoi hyödyntäneensä varavoimailaitteistoansa muutamasta kerrasta 5 kertaan vuodessa. Osa vastaajista kertoi, että he eivät olleet hyödyntäneet varavoimailaitteistojaan kertaakaan. Lisäksi noin 10 % vastaajista kertoi hyödyntävänsä varavoimailaitteistojaan useammin kuin 5 kertaa vuodessa, esimerkiksi säännöllisesti erilaisiin maataloustöihin tai häiriötilanteiden aikana.

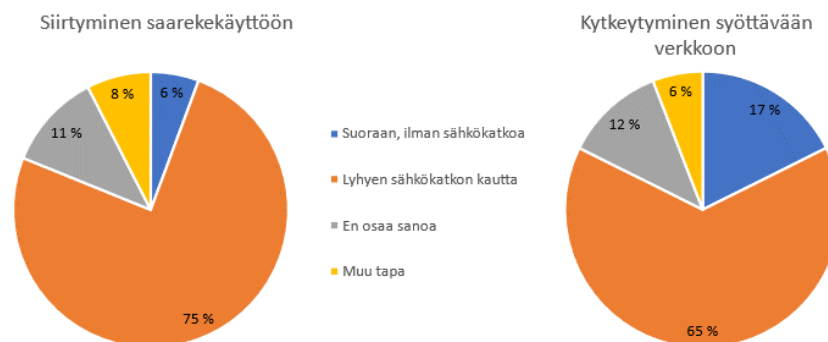
Vastauksista ilmeni, että maakaapelointi on vähentänyt varavoimailaitteistojen käyttötarvetta. Varavoimailaitteistoja oli hyödynnetty useammalla maatalolla useamman kerran

vuodessa, mutta maakaapeloinnin seurauksena käyttökerrat olivat vähentyneet alle kertaan vuodessa. Lisäksi pidemmät sähkönjakelun keskeytykset olivat vähentyneet, jolloin varavoimalaitteistoja ei ole ollut tarvetta hyödyntää niin usein.

Varavoimalaitteistoilla oli varauduttu tunneista useiden viikkojen mittaisiin sähkönjakelun häiriöihin. Noin 10 % vastaajista kertoi, että varavoimalaitteistoilla oli varauduttu joitain tunteja kestäviin sähkönjakelun keskeytyksiin. Nämä laitteistot olivat UPS-järjestelmiä, siirrettäviä aggregaatteja tai siirrettäviä generaattoreita. Jos tilan ainoa varavoimalaitteisto oli UPS-järjestelmä, se oli tarkoitettu laitteistojen turvalliseen sammuttamiseen ja toimintojen alasajoon.

Yleisimmin varavoimalaitteistoilla oli varauduttu vuorokauden tai useita vuorokausia kestäviin sähkönjakelun häiriöihin. Näin vastasi 40 % kysymykseen vastanneista maatilayrittäjistä. Viikon tai useita viikkoja kestäviin sähkönjakelun häiriöihin varavoimalaitteistoilla varautuneita maatiloja oli 20 % vastaajista. Lähes 30 % vastaajista kertoi, että varavoimalaitteiston avulla oli mahdollista toimia pitkiäkin aikoja saarekekäytössä. Polttoaineella toimivia varavoimalaitteistoja voitiin vastaajien mukaan käyttää niin kauan, kun on tarpeellista tai polttoainetta on saatavilla. Esimerkiksi suurhäiriötilanteessa polttoaineen saatavuus voi kuitenkin olla ongelma varsinkin haja-asutusalueella.

Kyselyyn vastanneilla mautiloilla siirryttiin saarekekäyttöön ja kytkeydyttiin takaisin syöttävään verkkoon yleisimmin lyhyen sähkökatkon kautta. Vastaajista 75 % ilmoitti, että saarekekäyttöön siirrytään lyhyen sähkökatkon kautta, kun taas 6 % vastaajista kertoi saarekekäyttöön siirryttävän suoraan ilman sähkökatkoa. Vastaajista 65 % vastasi, että liittyminen takaisin syöttävään verkkoon saarekekäytön jälkeen tapahtui lyhyen sähkökatkon kautta, ja 17 % vastasi, että liittyminen tapahtui ilman sähkökatkoa. Kuvassa 18 on havainnollistettu maatilayrittäjien varavoimalaitteistojen tapaa siirtyä saarekekäyttöön ja kytkeytyä takaisin syöttävään verkkoon.



**Kuva 18.** Maatilayrittäjien varavoimalaitteistojen tapa siirtyä saarekekäyttöön ja liittyä takaisin syöttävään verkkoon.

Vastaajat saivat täydentää vastauksiaan tai lisätä vastausvaihtoehtoista puuttuvan vastauksen tyhjässä kentässä. Nämä vastaukset on esitetty kuvaajissa ”Muu tapa” -kategoriarissa. Vastaukset olivat lähinnä täydentäviä selityksiä saarekekäyttöön siirtymisestä tai liittymisestä takaisin syöttävään verkkoon. Vastauksista ilmeni, että osassa tapauksista saarekekäyttöön siirtyminen tapahtui automaattisesti sähkönjakeluhäiriön sattuessa muutaman sekunnin viiveen jälkeen ja liittyminen takaisin syöttävään verkkoon automaattisesti syöttävän verkon vian poistuttua useamman kymmenen minuutin varoajan jälkeen.

Kyselyyn vastanneista maatilayrittäjistä 77 % vastasi, että maatilalla käytössä olevaa varavoimailaitteistoa ohjataan manuaalisesti. Varavoimailaitteiston ohjaustavaksi paikallisautomaation ilmoitti 17 % vastaajista. Yhden vastaajan varavoimajärjestelmiä ohjattiin paikallisautomaatioilla tai etäohjauksen ja -monitoroinnin avulla. Nämä järjestelmät olivat kiinteitä aggregaatteja tai generaattoreita. Kuvassa 19 vasemmanpuoleisessa kuvaajassa on havainnollistettu vastauksia kysymykseen varavoimailaitteistojen ohjaustavoista.



**Kuva 19.** Varavoimailaitteistojen ohjaustapojen jakautuminen ja kuormanohjausmahdollisuus.

Yli puolella mautiloista, jotka ilmoittivat varavoimailaitteiston ohjaustavaksi manuaalisen ohjaustavan, varavoimailaitteisto oli siirrettävä aggregaatti tai generaattori. Kiinteitä aggregaatteja tai generaattoreita oli noin 10 % mautiloista, joiden varavoimailaitteistoja ohjattiin manuaalisesti, ja noin 20 % mautiloista oli UPS-järjestelmiä. Lisäksi yhtä siirrettävää akustoa ohjattiin manuaalisesti. Mautiloista, joiden varavoimailaitteistoja ohjattiin paikallisautomaatiolla, yli 60 %:lla oli kiinteitä aggregaatteja tai generaattoreita. Yhdellä mautilalla siirrettävää aggregaattia tai generaattoria ohjattiin paikallisautomaatiolla, ja 3 mautilaa käytti paikallisautomaatiota UPS-järjestelmien ohjauksessa.

Kyselyyn vastanneista mautiloista 60 % vastasi, että kuormia ei voida ohjata saarekekäytön aikana. Kuormia voitiin ohjata 24 % vastanneista mautiloista. Vastaajista 16 % ei osannut sanoa voitiinko kuormia ohjata. Kuvassa 19 oikeanpuoleisessa kuvaajassa on



havainnollistettu vastauksia kysymykseen kuormanohjauksesta saarekekäytön aikana. Kuormanohjaus oli toteutettu maataloilla useimmiten kytkemällä ei-kriittisiä kuormia sulakkeiden avulla pois käytöstä. Ei-kriittisiä kuormia olivat suuret kulutuskohteet, kuten veden lämmittämiseen käytettävät laitteet ja kotitalouskuormat. Joitain laitteita saatettiin myös käyttää vuorotellen saarekekäytön aikana. Lisäksi maatilalla saattoi olla käytössä tehonseurantasovellus helpottamaan saarekekäyttöä.

Maataloilla oli useita erilaisia keinoja varmistaa, että varavoimalaitteisto täytti sähköturvallisuusvaatimukset. Suurin osa vastanneista maatilayrittäjistä ilmoitti, että varavoimalaitteiston asennuksen oli tehnyt sähköasentaja. Lisäksi useassa kohteessa varavoimalaitteiston kytkennät ja järjestelmän toteutuksen oli suunnitellut sähköalan ammattilainen. Maatilat olivat myös saaneet opastusta varavoimalaitteiston käytössä. Tämän lisäksi asennukset oli tarkastettu ja hyväksytty sähköalan ammattilaisen toimesta. Järjestelmiä testattiin ja tarkastettiin säännöllisesti myös asennuksen jälkeen. Osalla maatilayrittäjistä oli sähköalan osaamista tai tutkinto.

Maataloilla käytetyt varavoimalaitteistot olivat CE-merkittyjä ja uutena valmistajalta ostettuja. Kyselyn vastauksista selvisi, että varavoimalaitteistot oli kytketty verkonvaihtokytkimellä, jotta syöttö ulkoiseen verkkoon saadaan estettyä.

Suurimmassa osassa vastanneista maataloista turvallinen saarekekäyttöön siirtyminen, saareketäyttö ja kytkeytyminen takaisin syöttävään verkkoon oli toteutettu verkonvaihtokytkimen avulla. Syötön vaihtaminen ulkoisesta verkosta varavoimalaitteistoon tehtiin verkonvaihtokytkimen avulla joko manuaalisesti tai paikallisautomaatiolla. Verkonvaihtokytkimessä on oma asentonsa ulkoiselle verkolle, auki-asennolle, jossa kytkin katkaisee kolme vaihetta ja nollan, sekä varavoimalaitteistolle. Varavoimalaitteistoissa, joissa laitteiston ohjaukseen käytettiin paikallisautomaatiota, kerrottiin automaation huolehtivan sähköturvallisuudesta ja suojauksesta saarekekäytön aikana ja siihen siirryttäessä sekä liityttäessä takaisin syöttävään verkkoon. Tällöin paikallisautomaatio vaihtaa automaattisesti verkonvaihtokytkimen avulla syötön varavoimalähteelle ja ulkoiseen verkkoon.

Vastauksissa kerrottiin myös, että sähköturvallisuus ja suojauksen toimivuus varmistetaan käyttämällä järjestelmän suunnitteluun ja asennukseen sähköalan ammattilaisia sekä testaamalla laitteiston toimintaa.

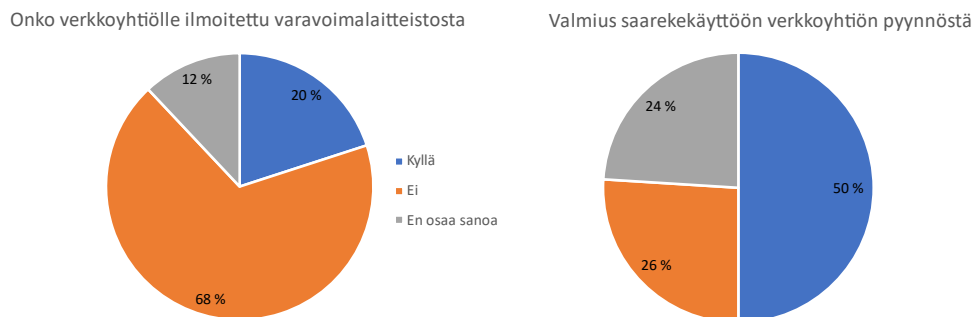
Varavoimalaitteistojen toiminnallisuutta testattiin yli 70 % vastanneista maataloista. Vastajista 18 % kertoi, ettei varavoimalaitteistojen toimintaa testata ollenkaan. Kuvassa 20 on havainnollistettu maatilayrittäjien vastauksia kysymykseen varavoimalaitteistojen toiminnallisuuden testauksesta.



**Kuva 20.** Varavoimälaitteistojen toiminnallisuuden testaus.

Yleisin varavoimälaitteistojen testausväli oli kerran vuodessa tai harvemmin. Useammin kuin puolen vuoden välein varavoimälaitteistojaan testasi 14 %, ja puolen vuoden välein 24 % vastaajista.

Vastanneista maatilayrittäjistä lähes 70 % ei ollut ilmoittanut varavoimälaitteistosta sähköverkkoyhtiölle, jonka verkkoalueella maatila sijaitsee. Vastaajista 20 % oli ilmoittanut varavoimälaitteistostaan alueelliselle verkkoyhtiölle. Kuvassa 21 vasemmanpuoleisessa kuvaajassa on havainnollistettu mautilojen vastauksia kysymykseen varavoimälaitteistojen ilmoittamisesta alueella toimivalle jakeluverkkoyhtiölle. Jakeluverkkoyhtiöille teetetyn kyselyn vastauksista selvisi, että asiakkaalla ei ole ilmoitusvelvollisuutta käyttämistään varavoimälaitteistoista jakeluverkkoyhtiölle.



**Kuva 21.** Ilmoitus varavoimälaitteistosta alueelliselle sähköverkkoyhtiölle sekä valmius saarekekäyttöön verkkoyhtiön pyynnöstä.

Puolet kyselyyn vastanneista maatilayrittäjistä ilmoitti olevansa valmiita siirtymään saarekekäyttöön verkkoyhtiön pyynnöstä esimerkiksi keventääkseen sähköverkon kuormitustilannetta. Vastaajista 26 % ei ollut valmis siirtymään saarekekäyttöön, ja 24 % ei osannut sanoa olisivatko he valmiita saarekekäyttöön verkkoyhtiön pyynnöstä. Kuvassa 21 oikeanpuoleisessa kuvaajassa on havainnollistettu maatilayrittäjien valmiutta siirtyä saarekekäyttöön verkkoyhtiön pyynnöstä.

Maatilayrittäjät, jotka olivat valmiita saarekekäyttöön verkkoyhtiön sitä pyytäessä, halusivat saarekekäytöstä korvausta lähinnä perustuen aiheutuneisiin kustannuksiin ja lisätyöhön. Saarekekäytöstä aiheutuneet kustannukset koostuivat pääasiassa polttoainekuiluista ja laitteiston huollosta. Saarekkeeseen siirtymisen ajankohdalla oli myös vaikutusta maatilayrittäjien halukkuuteen tarjota palvelua sekä pyydetyn korvauksen suuruuteen. Tämän lisäksi haluttiin saada jonkin verran tuottoa tarjotusta palvelusta. Tuntikohtaiset korvauspyynnöt saarekkeeseen siirtymisestä olivat 30–100 €. Osassa vastauksista määriteltiin korvauksen suuruus sähköenergian perusteella, jolloin korvauksen suuruus oli 30–50 snt/kWh.

Haasteet varavoimalaitteistojen käyttötilanteissa liittyivät lähinnä laitteiston toimintaan ja polttoaineen saatavuuteen. Vastaajista puolet ei ilmoittanut tai ei ollut havainnut haasteita varavoimalaitteistojen käyttötilanteissa. Yleisimpiä haasteita varavoimalaitteiston käytössä olivat polttoaineen riittävyys ja sen lisäys tarvittaessa. Polttoainekäyttöisissä varavoimalaitteistoissa polttoainetta on lisättävä polttoainesäiliöön sen loppuessa käytön aikana. Henkilökunnan on valvottava varavoimalaitteistoa käytön aika, ja lisättävä polttoainetta tarvittaessa. Pitkien sähkökatkojen aikana mautiloilla saattaa tulla ongelmia polttoaineen riittävydessä, vaikka mautilalla olisi polttoainetta varastossa katkoja varten.

Useilla mautiloilla varavoimalaitteisto oli traktorikäyttöinen. Tällöin traktorin on oltava vapaa muista töistä, kun varavoimalaitteistoa tarvitaan. Pitkien sähkökatkojen aikana tämä voi aiheuttaa haasteita tilan muiden töiden hoitamisessa. Lisäksi varavoimalaitteiston käyttöönotto vie aikaa, ja varavoimalaitteiston toimintaa on valvottava.

Varavoimalaitteiston käynnistysakun toiminta aiheutti haasteita varavoimalaitteiston käynnistämisessä. Käynnistysakun ollessa tyhjä tai sen jännitteen ollessa alhainen varavoimalaitteisto ei välttämättä käynnisty automaattisesti.

Maatilayrittäjän ollessa lomalla tai muusta syystä poissa mautilalta käytetään maatalouslomittajia. Mautilojen lomitushenkilökuntaa ei ole kaikilla mautiloilla perehdytetty varavoimalaitteiston käyttöönottoon ja toimintaan, josta voi aiheutua vaaratilanteita ja taloudellisia tappioita. Haasteiksi varavoimalaitteiston käyttötilanteissa ilmoitettiin myös siirrettävien varavoimalaitteistojen suuri koko ja paino, jotka aiheuttavat ongelmia varavoimalaitteiston siirrossa.

Varavoimalaitteistojen käytössä voi esiintyä erilaisia häiriöitä. Varavoimalaitteiston tuottama epätasainen jännite, taajuuden vaihtelut sekä kuormituksen vaihtelu koettiin haasteiksi saarekekäytössä. Saarekekäyttöön siirryttäessä kuormat on kytkettävä saarekeverkkoon vaiheittain. Myös varavoiman riittävyys aiheuttaa haasteita saarekekäytössä.

Jos varavoimälaitteiston mitoitus ei vastaa sähköntarvetta kuormituksen ollessa suurimmillaan, ei-kriittisiä kuormia joudutaan irrottamaan verkosta.

Varavoimälaitteistojen sekä saarekekäytön kartoittaminen ja parantaminen nähtiin tarpeellisena huoltovarmuuden kannalta, vaikka maakaapelointi on vähentänyt sähkökatkoja haja-asutusalueilla. Maatiloilla todettiin olevan valmiuksia olla mukana kehittämässä saarekekäyttöä, mutta muidenkin tahojen olisi hyvä kehittää omaa toimintaansa sekä varautumistaan sähkökatkojen varalle. Usealla maatilalla pohdittiin varavoimälaitteistojen hankintaa tulevaisuuden varalle, mutta etenkin siirrettävien varavoimälaitteistojen siirtämisen ja käytön todettiin vaativan osaamista. Ratkaisuksi toivottiin koulutusta varavoimälaitteistoiden käyttöön.

Tulevaisuudessa tulisi panostaa kohtuullisten ratkaisujen kehittämiseen, ottaen myös huomioon esimerkiksi polttoaineen hinta. Polttoaineen hinnan ollessa korkealla, polttoainekäyttöisten varavoimälaitteistojen käyttöä ei nähty kannattavaksi muussa kuin häiriötilanteissa. Vaihtoehtoinen lämmitystapa sähkölämmitykselle asuinkiinteistöissä ehdotettiin tavaksi keventää verkon kuormitusta. Lisäksi toivottiin lisää tutkimustietoa aurinkopaneelijärjestelmien toiminnasta saarekekäytön aikana.

Jakeluverkkoyhtiöiltä toivottiin parempaa keskusteluyhteyttä varavoimälaitteistoihin ja saarekekäyttöön liittyen. Maatilyrittäjät olivat myös halukkaita siirtymään saarekekäyttöön jakeluverkkoyhtiön sitä pyytäessä, mutta palvelusta haluttiin kuitenkin kohtuullinen korvaus. Lisäksi saarekekäyttöön tulisi siirtyä automaattisesti jakeluverkkoyhtiön sitä pyytäessä, ja laskutus palvelusta tulisi hoitaa automaattisesti tai hyvittää joustopalvelun tarjoajan sähkölaskussa, jotta ylimääräistä työtä ei aiheudu. Ylimääräisten katkojen välttämiseksi saarekekäyttöön tulisi myös siirtyä suoraan ilman sähkökatkoa.

Maatiloilla olisi myös valmiutta taata useammalle loppukäyttäjälle sähkönsaanti saarekekäytön avulla. Riippuen maatilán tarvitsemasta keskimääräisestä tehosta yksittäisen maatilán saarekekäyttö tapana keventää verkon kuormitusta todettiin varsin tehottomaksi. Maatiloilla käytössä olevat varavoimälaitteistot on mitoitettu huipputehon perusteella. Varavoimälaitteistoja voisi hyödyntää pj-muuntopiiriin muodostetussa saarekkeessa, jossa maatilat sekä useat omakotitalot jakaisivat energieresursseja. Ratkaisun odotettiin parantavan haja-asutusalueen toimitusvarmuutta. Tällä hetkellä jokaisen maatilán on ostettava oma varavoimälaitteisto, josta aiheutuu suuret investointikustannukset. Hankkimalla yhteisiä energieresursseja investointi varavoimälaitteistoon tulisi myös halvemmaksi yksittäiselle loppukäyttäjälle.

### 5.3 Yhteenveto kyselytutkimuksen tuloksista

Sekä jakeluverkkoyhtiöillä että jakeluverkkoyhtiöiden asiakkailla oli saarekekäyttöjä. Tällä hetkellä saarekekäyttöä hyödynnetään sekä jakeluverkkoyhtiöissä että loppukäyttäjien toimesta eniten keskeytystilanteissa turvaamaan kriittisten kuormien toimintaa tai pienentämään taloudellisia tappioita.

Jakeluverkkoyhtiöiden ja maatilojen varavoimallaitteistot olivat pääasiassa polttoainekäyttöisiä varavoimallaitteistoja. Akkupohjaisia ratkaisuja käytettiin vain yksittäisissä tapauksissa. Loppukäyttäjillä akkupohjaiset saarekeratkaisut olivat vielä harvinaisempia kuin jakeluverkkoyhtiöillä. Tämä johtuu osittain siitä, että polttoainekäyttöiset aggregaattit ja generaattorit ovat investointina halvempia ja ne ovat perinteisempi, ja siten kuluttajille tutumpi, vaihtoehto. Lisäksi polttoainekäyttöisiä varavoimallaitteistoja voidaan käyttää niin kauan kuin polttoainetta on saatavilla, kun akkupohjaisia ratkaisuja voidaan käyttää järjestelmästä riippuen joitain tunteja. Polttoaineella toimivien varavoimallaitteistojen käyttökustannukset ovat kuitenkin suuremmat kuin esimerkiksi akkupohjaisten varavoimallaitteistojen. Maatilayrittäjien vastauksista selvisi, ettei polttoaineen hintojen ollessa korkealla ole kannattavaa käyttää polttoainekäyttöisiä varavoimallaitteistoja muulloin kuin sähköjakelun keskeytysten aikana. Maatilayrittäjillä sekä kaupan alan yrityksillä ja huoltoasemilla oli kuitenkin kiinnostusta ottaa tulevaisuudessa käyttöön erityisesti akkupohjaisia varavoimallaitteistoja.

Siirrettävät varavoimallaitteistot olivat yleisempiä kuin kiinteät varavoimallaitteistot sekä jakeluverkkoyhtiöiden että maatilayrittäjien keskuudessa. Kiinteitä varavoimallaitteistoja hyödynnettiin kohteissa, joissa on aina oltava esimerkiksi turvallisuussyistä varajärjestelmä sähkökatkon varalle. Siirrettävillä varavoimallaitteistoilla on kiinteitä laitteistoja enemmän käyttökohteita, koska niitä voidaan siirtää tarpeen mukaan. Toisaalta siirrettävien varavoimallaitteistojen käyttöönottoon menee kauemmin aikaa, koska laitteisto täytyy kuljettaa käyttöpaikalle ja kytkeä verkkoon.

Jakeluverkkoyhtiöiden kannalta siirrettävien varavoimallaitteistojen kuljettamisen kannattavuuteen jakelun keskeytyksen sattuessa vaikuttaa katkon arvioitu pituus, kohteen kriittisyys sekä laitteiston kuljetukseen kuluva aika. Jos katko johtuu viasta, on arvioitava, kuinka kauan vian korjaamiseen kuluu aikaa suhteessa varavoimallaitteiston kuljetusmatkaan. Varavoimallaitteiston kuljetusaikaan vaikuttavat sääolosuhteet, kuljetusreitti sekä varavoimallaitteiston koko. Esimerkiksi myrskyjen aikana, jolloin sähköverkossa sattuu suuremmalla todennäköisyydellä vikoja, suuren varavoimallaitteiston kuljettaminen haja-asutusalueella saattaa olla hankalaa muun muassa tielle kaatuneiden puiden takia. Varavoimallaitteiston koko vaikuttaa kuljetusratkaisuun, joka voi olla esimerkiksi peräkärry

tai kuorma-auto. Jos saareke saadaan muodostettua nopeammin kuin mitä vian korjaamiseen kuluu aikaa, on arvioitava, onko kohde niin kriittinen, että saarekkeen muodostamiseen kannattaa käyttää resursseja. Jos varavoimalaitteiston käyttöönottoon kuluu enemmän aikaa kuin vian korjaamiseen, saarekkeen muodostamiseen tarvittavat henkilö- ja laitteistoresurssit on kannattavampaa ohjata vian korjaamiseen.

Siirrettävä varavoimalaitteisto on kannattavampi ratkaisu suunniteltuja jakelunkeskeytyksiä varten, koska samaa laitteistoa voidaan hyödyntää suunnitellusti useissa eri kohteissa katkojen ollessa etukäteen tiedossa. Esimerkiksi suurhäiriötilanteessa siirrettäviä varavoimalaitteistoja ei voida välttämättä käyttää, jolloin voitaisiin hyödyntää myös asiakkaiden saarekeratkaisuja. Maatiloilla käytössä on usein pienempikokoisia aggregaattoreita, joita voidaan siirtää traktorin avulla. Niiden käyttö pitkän jakelunkeskeytyksen aikana saattaa kuitenkin olla haasteellista, koska traktoria tarvitaan sekä aggregaatin käyttämiseen, että muihin maataloustöihin.

Jakeluverkkoyhtiöiden saarekekäyttöihin siirryttiin ja kytkeydyttiin takaisin syöttävään verkkoon yhtä usein suoraan ilman katkoa tai lyhyen katkon kautta, ja varavoimalaitteistoja ohjattiin yhtä usein sekä manuaalisesti että paikallisautomaatiolla. Maatiloilla oli yleisesti käytössä siirrettäviä varavoimalaitteistoja, jotka on sähkökatkon alkaessa siirrettävä käyttöpaikalle. Tällöin saarekekäyttöön siirrytään usein manuaalisesti lyhyen sähkökatkon kautta. Paikallisautomaatiolla tai etäohjauksen ja -monitoroinnin avulla ohjattiin pääasiassa kiinteitä varavoimalaitteistoja. Sekä jakeluverkkoyhtiöissä että maatiloilla etäohjaus ja -monitorointi oli vähemmän käytetty ohjaustapa. Saarekeratkaisusta suurimmassa osassa ei ollut mahdollisuutta kuormanohjaukseen, mutta kuormanohjauksen ollessa mahdollista se toteutettiin irrottamalla ei-kriittisiä kuormia sulakkeiden avulla.

Koska saarekeratkaisuja hyödynnettiin useimmiten vika- tai huoltokeskeytysten yhteydessä, vuosittainen saarekekäyttömahdollisuuksien hyödyntämismäärä vaihteli. Jakeluverkkoyhtiöiden ja maatilayrittäjien välillä ei ollut juurikaan eroa varavoimalaitteistojen hyödyntämismäärissä. Haja-asutusalueiden maakaapelointien kerrottiin vähentäneen jakelunkeskeytyksiä ja sitä kautta maatilayrittäjien tarvetta hyödyntää varavoimalaitteistoja. Varavoimalaitteistoja voidaan hyödyntää maatiloilla tai esimerkiksi teollisuuslaitoksissa keskeytystilanteiden lisäksi myös huipunleikkauksessa, kun käytetään suurta tehoa tarvitsevia laitteistoja. Maatiloilla nämä laitteistot voivat olla esimerkiksi viljan kuivaukseen käytettäviä koneita. Varavoimalaitteisto voidaan asettaa käynnistymään tietyn tehorajan ylittyessä, jolloin sähköntoimitussopimusta tai liittymän kokoa ei tarvitse muuttaa.

Maatilayrittäjät olivat varautuneet jakeluverkkoyhtiötä pidempiin saarekekäyttöihin. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi eläinten hyvinvointia ylläpitävien laitteiden on toimittava myös pitkien sähkökatkojen aikana. Etenkin pitkäkestoisista sähkökatkoista aiheutuu suuria taloudellisia haittoja, lisätyötä ja eläinten hyvinvointi voi vaarantua. Kotieläin tuotantoa harjoittavilla tiloilla on oltava lainsäädännön nojalla varajärjestelmä jakelun keskeytysten varalle riippumatta sähkönjakelun luotettavuudesta. Tästä syystä kotieläin tuotantoa harjoittavilla tiloilla oli suhteessa useammin varavoimallaitteistoja kuin kasvinviljelyyn suuntautuneilla maataloilla. Varavoimallaitteistot oli mitoitettu tarjoamaan jakelun keskeytyksen aikana sähköä koko maatilan tarpeeseen tai vain kriittisille kuormille. Kriittisiä kuormia maataloilla olivat esimerkiksi ilmastointi-, ruokinta- ja juottojärjestelmät sekä kylmälaitteet.

Suurin osa kyselyyn vastanneista maatilayrittäjistä ei ollut ilmoittanut varavoimallaitteistonsa alueella toimivalle jakeluverkkoyhtiölle. Vaikka suurimmalla osalla vastanneista verkkoyhtiöistä oli tiedossa alueellaan olevia saarekekäyttöön kykeneviä varavoimallaitteistoja, jakeluverkkoyhtiöt ilmoittivat, ettei heidän tiedossaan ole kaikkia verkkoalueella sijaitsevia asiakkaiden saarekeratkaisuja. Asiakkailta ei ole velvollisuutta ilmoittaa jakeluverkkoyhtiölle varavoimallaitteesta tai sen saarekekäytöstä, jos tuotantolaitteisto kuuluu luokkaan 1 tai 2 eli sitä ei käytetä ulkoisen verkon kanssa rinnan. Huipunleikkaukseen käytettävästä varavoimallaitteistosta on kuitenkin ilmoitettava jakeluverkkoyhtiölle, koska se toimii yleisen jakeluverkon kanssa rinnan.

Varavoimallaitteistojen sähköturvallisuudesta huolehdittiin säännöllisillä toiminnallisuuden testauksilla, hankkimalla CE-merkittyjä laitteistoja uutena suoraan valmistajalta sekä huolehtimalla, että saarekeverkon suunnittelun ja laitteistojen asennuksen teki sähköalan ammattilainen. Saarekekäytön aikainen sähkönsyöttö jännitteettömään jakeluverkkoon oli estetty sekä jakeluverkkoyhtiöiden että maatilayrittäjien saarekeratkaisuisa suojausautomaatiikalla tai verkonvaihtokytkimen avulla. Turvallisuudesta ja suojauksen toiminnasta huolehdittiin saarekekäytön huolellisella suunnittelulla ja käytönvalvonnalla. Suojauksen toiminta varmistettiin varavoimallaitteiston riittävällä vikavirran syöttökyvyllä. Vikavirran syöttökyky kuitenkin rajoittaa mahdollisuutta käyttää varavoimallaitteistoja ja hyödyntää saarekekäyttöä osassa kohteista.

Loppukäyttäjät kaipasivat lisätietoa varavoimallaitteistojen käytöstä sekä sopivan laitteiston valinnasta. Jakeluverkkoyhtiöillä oli tarjolla neuvontaa asiakkaille tapauskohtaisesti sekä tietoa liittyen varavoimallaitteiston vaatimuksiin. Vastauksista kuitenkin ilmeni, että osa maatilayrittäjistä hankki tietoa varavoimallaitteistoista tuttaviltaan asiantuntijoiden sijaan, jolloin loppukäyttäjä voi saada virheellistä tietoa.

Sekä maatilayrittäjille että jakeluverkkoyhtiöille teetetyissä kyselyissä nousi esille haasteita varavoiman mitoittamisessa. Lisäksi maatilayrittäjät ilmoittivat, että saarekekäytössä oli haasteita johtuen huonosta sähkön laadusta. Saarekeverkko ei ole saarekekäytössä yhtä jäykkä kuin se on ollessaan liittyneenä syöttävään verkkoon. Tästä syystä tuotannon ja kuormituksen muutokset aiheuttavat suurempia muutoksia saarekeverkon taajuudessa saarekekäytön aikana kuin saarekkeen ollessa liittyneenä syöttävään verkkoon. Lisäksi saarekeverkon energioresursseilla on vaikutusta saarekeverkon sähkön laatuun. Esimerkiksi aggregaatti, jossa ei ole invertteriä, saattaa tuottaa sähköä, jonka aaltomuoto poikkeaa siniaallosta ja sisältää yliaaltoja. Tämä voi vahingoittaa herkkiä sähkölaitteita. Myös esimerkiksi aurinkopaneelien tuotanto vaihtelee sääolosuhteiden mukaan.

Haasteena oli myös maatilayrittäjien polttoaineella toimivien varavoimalaitteistojen tarvitseman polttoaineen riittävyys varautumisesta huolimatta erityisesti pitkäkestoisen laajemman sähkönjakelun häiriön aikana. Huoltoasemien varautuminen varavoimalla olisi erityisen tärkeää, jotta pitkän sähkökatkon aikana polttoainetta saisi tarvittaessa ostettua lisää.

Sekä jakeluverkkoyhtiöillä että loppukäyttäjillä oli kiinnostusta kehittää saareke- sekä varavoimaratkaisuita. Tulevaisuudessa tulisi panostaa kustannustehokkaisiin ja käyttäjäystävällisiin ratkaisuihin, joista ei aiheutuisi merkittäviä lisäkustannuksia loppukäyttäjille. Lisäksi varavoimalaitteistojen ja saarekekäyttömahdollisuuden tulisi olla mukana maatalan tai liiketilan suunnittelussa, ja tarvittavat järjestelmät pitäisi mahdollisuuksien mukaan asentaa kohteen rakennusvaiheessa tai saneerauksen yhteydessä. Tällöin voidaan varmistua siitä, että järjestelmä on turvallinen ja mahdollisimman helpokäyttöinen.

Maatilayrittäjillä oli kiinnostusta ja valmiuksia kehittää paikallisia PJ-verkossa sijaitsevia energiayhteisöjä, joissa voitaisiin hyödyntää yhteisiä energioresursseja alueen toimitusvarmuuden parantamiseksi. Myös jakeluverkkoyhtiöissä oli tunnistettu energiayhteisöiden potentiaali osana tulevaisuuden energijärjestelmää. Jakeluverkkoyhtiöt voivat hyötyä loppukäyttäjien saarekeratkaisuista keskeytyskustannusten pienentymisen, verkon kuormituksen vähentymisen, pienentyneiden investointikustannusten sekä kapasiteetti- ja toimitusvarmuusjoustojen mahdollisuuden kautta.

Jakeluverkkoyhtiöillä ja maatilayrittäjillä oli kiinnostusta kehittää toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluita. Ratkaisujen täytyisi kuitenkin olla teknisesti toimivia sekä molemmille osapuolille taloudellisesti kannattavia. Kyselyn tulosten perusteella osa jakelu-



verkkoyhtiöistä olisi valmiita maksamaan joustopalveluista esimerkiksi käyttö- tai keskeytyskustannuksiin perustuen. Käyttökustannuksiin perustuva joustopalvelun hinnoittelu oli esillä myös asiakkaille teetetyn kyselyn vastauksissa.

Maatilayrittäjät eivät kokeneet joustopalvelujen tarjoamista ensisijaisesti tilaisuutena ansaita rahaa, vaan palvelun hintaa arvioitiin pääasiassa laitteiston käytöstä aiheutuneiden kustannusten perusteella. Maatilayrittäjät omistivat yleisimmin jonkinlaisen polttoaineella toimivan varavoimalaitteiston, jonka käyttökustannukset koostuivat suurelta osin polttoainekustannuksista. Esimerkiksi laitteiston investointikustannuksia ei otettu huomioon joustopalvelusta saatavaa korvausta määritettäessä. Muita joustopalvelusta aiheutuvia kuluja ovat esimerkiksi huolto- ja korjauskustannukset.

Asiakkaiden varavoima- ja saarekeratkaisuja hyödynnettäessä tulisi määritellä etukäteen kunkin osapuolen vastualueet, toimintatavat sekä käytettävät laitteistot ja niiden asetukset. Tämän lisäksi järjestelystä ei saisi aiheutua lisätyötä palvelun tarjoajalle, ja saarekekäyttöön tulisi siirtyä automaattisesti ilman katkoa.

## 6. SAAREKEKÄYTÖN TALOUDELLISEN KANNATTAVUUDEN PERUSTEET

Saarekekäyttöä voidaan hyödyntää useissa erilaisissa käyttötapauksissa, joita on lueteltu luvussa 2.4. Tässä luvussa tarkastellaan saarekekäytön taloudellista kannattavuutta aiheesta kirjoitettujen tieteellisten julkaisujen perusteella sekä arvioidaan erilaisien käyttötapauksien taloudellista kannattavuutta kyselyn vastauksista ilmenneiden tapauksien pohjalta esimerkiverkossa. Saarekekäytön taloudellinen kannattavuus määräytyy kuitenkin aina käyttötapauskohtaisesti.

### 6.1 Saarekekäytön taloudellisen kannattavuuden arviointi

Saarekekäytön taloudellista kannattavuutta on haastavaa arvioida kokonaisvaltaisesti, koska saarekeverkot ja käyttötapaukset ovat keskenään erilaisia. Saarekekäytön taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat muun muassa saarekekäytön käyttötapaukset, saarekeverkon sijainti ja toteutustapa. Lisäksi erilaisilla tuilla ja kannustimilla on myös vaikutusta saarekeverkon taloudelliseen kannattavuuteen sekä toteutustapaan. Tuet liittyvät kuitenkin lähinnä uusiutuvan energian hyödyntämiseen eivätkä itsessään saarekeverkkoihin ja saarekekäyttöön. Saarekekäytön taloudellista kannattavuutta perustellaan useimmiten joko kustannusten minimoimisella tai saatavien tulojen maksimoimisella. Saarekekäytöllä on mahdollista vähentää energiakustannuksia sekä ansaita lisätuottoa erilaisten palveluiden avulla. (Husein & Chung 2018) Sektori-integraatio kasvattaa edelleen saarekekäytön kannattavuutta. Mahdollisia tulonlähteitä on esitelty aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa, mutta saarekekäytölle kaivataan liiketoimintamalleja, jotta saarekekäyttö olisi houkuttelevampi ratkaisu.

Saarekekäytöstä voidaan saada taloudellista hyötyä pienentyneiden keskeytyskustannusten kautta suunniteltujen keskeytysten ja vikakeskeytysten yhteydessä. Tällöin saarekkeeseen liittyneet asiakkaat eivät koe sähkönjakelun keskeytystä. Toimittamatta jääneen sähkön arvo on aina suurempi kuin toimittamatta jääneen energian hinta, koska sähkökatko saattaa aiheuttaa esimerkiksi tuotannon menetyksiä ja hyödykkeiden pilaantumista. Keskeytyskustannuksista saatava taloudellinen hyöty määritetään tapauskohtaisesti, ja se riippuu esimerkiksi keskeytysajasta, keskeytystyypistä sekä arvioitavan kohteen tehosta. (Stadler et al. 2016)

Keskeytyskustannusten pienentymisestä hyötyvät taloudellisesti lähinnä sähköverkkoyhtiöt. Loppukäyttäjä hyötyy sähköverkkoyhtiön toimitusvarmuuden parantamista varten

toteutetusta saarekekäytöstä tuotannon keskeytysten ja muiden sähkökatkon aiheuttamien haittojen estymisen kautta. Jos sähköverkkoyhtiö ostaa toimitusvarmuutta parantavan palvelun, saarekekäytön mahdollistavien resurssien omistajan on mahdollista saada saarekekäytöstä taloudellista hyötyä.

Sähköverkkoyhtiöt voivat hyötyä saarekekäytöstä taloudellisesti myös lykkääntyneiden tai kokonaan vältettyjen investointikustannusten kautta. Esimerkiksi sähköverkon vahvistamista tai haja-asutusalueen sähköverkkojen maakaapelointia voidaan lykätä tai se voidaan jättää kokonaan toteuttamatta, jos saarekeverkko ja sen saarekekäyttö todetaan kustannustehokkaammaksi vaihtoehdoksi.

Loppukäyttäjän kannalta saarekekäytön taloudelliset hyödyt perustuvat ostoenergian määrän vähenemiseen paikallisen energiantuotannon ansiosta, sähkön hintatasoon sekä käytettyihin energioresursseihin. Saarekeverkon taloudellista kannattavuutta kasvattavat sähkön tuottaminen polttoainekäyttöisten varavoimalaitteistojen sijaan uusiutuvasti esimerkiksi tuulivoimalla tai aurinkoenergialla, jolloin vältytään polttoainekustannuksilta ja mahdollisilta päästökustannuksilta. (Adefarati et al. 2022) Jos saarekeverkossa on energiavarasto, tuotettua tai ostettua sähköenergiaa voidaan varastoida käytettäväksi esimerkiksi ostoenergian hinnan ollessa korkealla. Saarekeverkossa paikallisilla energioresursseilla tuotettua sähköä voidaan myös myydä syöttävään verkkoon. Näin energioresurssien omistajien on mahdollista hyötyä taloudellisesti energioresurkseistaan. (Han et al. 2016)

Investointien suuruus vaikuttaa saarekeverkon taloudelliseen kannattavuuteen. Saarekeverkossa hyödynnetyt energiantuotantolaitokset sekä energiavarastot tulee mitoittaa kohteeseen sopiviksi. Esimerkiksi akkuvaraston hinta määräytyy sen kapasiteetin mukaan, jolloin akustoa ei tulisi ylimitoittaa. Lisäksi saarekeverkon investointikustannukset kasvavat uusiutuvan energian osuuden kasvaessa, vaikka uusiutuvia energianlähteitä hyödyntävissä saarekeverkoissa säästetään polttoainekustannuksissa. (Wang et al. 2020)

Kysyntäjoustolla on vaikutusta saarekeverkon taloudelliseen kannattavuuteen. Kysyntäjoustolla tarkoitetaan loppukäyttäjien sähkönkäytön muuttamista joko perustuen sähkön markkinahintaan tai sähkön käyttöajankohtaa ohjaaviin kannustimiin. Kysyntäjousto voidaan toteuttaa esimerkiksi siirtämällä energian kulutusta mahdollisuuksien mukaan toiseen ajankohtaan tai huipuntasauksella, jossa energian kulutusta vähennetään rajoittamalla kuormitusta. Saarekeverkot ovat potentiaalisia kysyntäjoustopuolelta, koska niissä on käytössä ohjaus- ja valvontainfrastruktuuria. Lisäksi kysyntäjoustopuolelta voidaan hyödyntää kuormien lisäksi paikan päällä olevia energioresursseja ja energiavarastoja.

(Stadler et al. 2016) Saarekeverkkojen ja energiayhteisöiden avulla teollisuusalan ja kaupallisen alan toimijoiden lisäksi myös kotitalousasiakkaiden on helpompaa osallistua kysyntäjoustoon.

Sähkön hinnan ohjatessa loppukäyttäjän sähkön kulutusta kysyntäjoustopalvelusta saatavat taloudelliset hyödyt vaihtelevat sähkön hintatason, kuorman suuruuden sekä käytössä olevien energia- ja varastoresurssien mukaan. Lisäksi sovelluksissa, joissa huippu- ja peruskulutuksen ero on suurempi, on mahdollisuus suurempiin taloudellisiin hyötyihin. (Stadler et al. 2016)

Kysyntäjoustopalvelusta voidaan toteuttaa myös erilaisiin kannustimiin perustuen, jolloin loppukäyttäjä ohjaa kulutustaan erillisen pyynnön seurauksena. Vaihtoehtoisesti loppukäyttäjä voi antaa verkkoyhtiölle luvan ohjata ei-kriittisiä kuormia tarpeen mukaan. Kummassakin tapauksessa loppukäyttäjälle maksetaan tarjotusta kysyntäjoustopalvelusta. Saarekeverkot ovat erityisen potentiaalisia tällaisiin kysyntäjoustopalveluksiin, koska siirtymällä tarvittaessa saarekekäyttöön saarekeverkossa olevien loppukäyttäjien ei tarvitse muuttaa kulutustottumuksiaan eikä kokea sähkönjakelun keskeytystä. (Stadler et al. 2016)

Kysyntäjoustopalveluiden ostaminen loppukäyttäjiltä voi tilanteesta riippuen olla sähköverkkoyhtiöille halvempaa kuin lisäsähkön tuottaminen kulutuksen tarpeisiin (Stadler et al. 2016). Lisäksi joissain tilanteissa saarekeverkkojen investointikustannukset voivat olla pienemmät kuin verkon vahvistamisen ja toimitusvarmuuden parantamisen investointikustannukset (Uski et al. 2018).

Saarekeverkkojen ja hajautettujen energiaresurssien yleistyessä on myös mahdollista perustaa paikallisia energiamarkkinoita, joissa esimerkiksi mikroverkot voisivat käydä kauppaa sähköstä keskenään. Paikallinen sähkömarkkina voi pienentää sähkökustannuksia, jos sähkö on yleistä markkinahintaa halvempaa paikallisilla markkinoilla. Yksityisessä omistuksessa olevat saarekeverkot voivat paikallisten energiamarkkinoiden kautta pienentää energiayhtiöiden markkina-asemaa, ja siten mahdollisesti madaltaa sähkön markkinahintoja. (Stadler et al. 2016)

## **6.2 Käyttötapausten taloudellisen kannattavuuden arviointi esimerkiverkossa**

Saarekekäytön taloudellinen kannattavuus määräytyy käyttötapauskohteisesti. Taloudellista kannattavuutta voidaan arvioida esimerkiksi tilanteissa, joissa saarekekäytöllä pyritään pienentämään keskeytyskustannuksia, säästämään sähköverkon investointikustannuksissa tai pienentämään energiakustannuksia vähentämällä ostosähkön hyödyntämistä.

Luvussa 2 kerrottiin, että saarekekäytön avulla voidaan pienentää keskeytyskustannuksia ja samalla vaikuttaa verkkoyhtiön sallittuun tuottoon. Tämän lisäksi luvussa 5 esitetyissä kyselytutkimuksen vastauksissa jakeluverkkoyhtiöt olivat arvioineet saarekekäytöstä asiakkaalle maksettavaa korvausta esimerkiksi keskeytyskustannuksiin perustuen.

Keskeytyksestä aiheutuneen haitan laskemisessa hyödynnetään keskeytysten lukumäärää  $\lambda$ . Keskeytysten vuosittaista määrää voidaan arvioida johtotyyppin vikataajuuden  $c$  ja johtopituuden  $l$  perusteella:

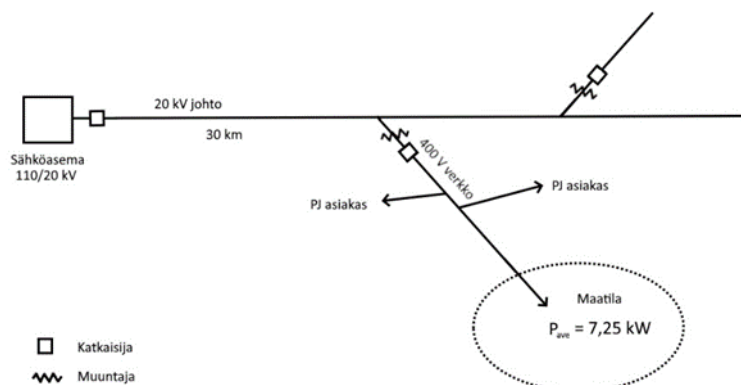
$$\lambda = \frac{c}{100} * l. \quad (1)$$

Keskeytyksistä aiheutunut haitta vikakeskeytyksissä tai suunnitelluissa käyttökeskeytyksissä tarkasteltavalle alueelle tai loppukäyttäjälle voidaan laskea kaavalla:

$$KAH = P_{ave} (a\lambda + bt). \quad (2)$$

Kaavassa tehopohjainen keskeytyksestä aiheutuneen haitan yksikköhinta  $a$  kerrotaan keskeytysten lukumäärällä sekä energiapohjainen keskeytyksestä aiheutuneen haitan yksikköhinta  $b$  kerrotaan keskeytysajalla  $t$ . Näin saatu luku kerrotaan tarkasteltavan alueen tai asiakkaan keskiteholla  $P_{ave}$ .

Keskeytyskustannukset lasketaan kyselytutkimuksen vastausten pohjalta määritetyille tyypilliselle maatilalle esimerkiverkon tapauksessa. Esimerkkiverkko on esitetty kuvassa 22. Tarkasteluissa käytettävä esimerkiverkko sijaitsee asemakaavan ulkopuolella, ja se koostuu keskijänniteverkon haarasta, jonka pituus sähköasemalta jakelumuuntajalle on 30 km. Maatila sijaitsee jakelumuuntajan takana pienjänniteverkossa. Tarkasteluissa lasketaan keskeytyskustannukset erikseen tilanteissa, joissa keskijännitelähtö on rakennettu avojohtona tai maakaapelina.



**Kuva 22.** Tarkasteluissa käytettävä esimerkiverkko.

Kyselyn tulosten pohjalta voidaan määrittää tyypillinen saarekekäytössä toimiva maatila, jota tarkastellaan erilaisissa saarekekäyttötilanteissa. Yleisin käytössä ollut varavoimalaitteisto oli yksittäinen siirrettävä polttoaineella toimiva aggregaatti tai generaattori, jonka nimellisteho oli 10–100 kW. Kyselyyn vastanneiden maatilojen, joiden nimellisteholtaan suurimman varavoimalaitteiston nimellisteho oli 10–100 kW, sähkönkulutuksen vuosienenergioiden keskiarvo oli 63 000 kWh. Tästä vuosienenergioiden keskiarvosta laskettu maatilan keskiteho tunnissa on 7,25 kW.

Yleisin syy varavoimalaitteiston hankinnalle oli sähkökatkoihin varautuminen, ja yleisin syy varavoimalaitteiston käytölle olivat vikakeskeytykset ja suunnitellut käyttökeskeytykset. Koska varavoimalaitteisto oli siirrettävä, saarekekäyttöön siirryttiin lyhyen sähkökatkon kautta. Tarkasteluissa otetaan huomioon ainoastaan keskijännitelähdöllä tapahtuvat vikakeskeytykset ja suunnitellut käyttökeskeytykset. Tarkastelussa ei oteta huomioon pikajälleenkytkentöjä ja aikajälleenkytkentöjä, koska tarkastellaan tilannetta, jossa saarekekäyttöön siirytään katkon kautta. Tällöin saarekekäyttöä ei saada otettua käyttöön nopeammin kuin mitä PJK:n ja AJK:n aiheuttamat katkot kestävät.

Tarkasteluissa käytetään vuoden 2021 rahanarvoon muutettuja keskeytyksestä aiheutuneen haitan yksikköhintoja. Yksikköhinnat on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Keskeytyksestä aiheutuneen haitan yksikköhinnat vuoden 2021 rahanarvossa (Vihavainen & Tkachenko 2022).

Odottamaton keskeytyks		Suunniteltu keskeytyks	
€/ kWh	€/ kW	€/ kWh	€/ kW
11,16	1,05	6,14	0,58

Vikataajuuksien, keskeytysmäärien ja keskeytysaikojen arvoina käytetään neljännen valvontajakson eli vuosien 2016–2019 Energiatieteellisuuden keskeytystilastoista (Energiatieteellisyys 2020) laskettuja keskiarvoisia vikataajuuksia, keskeytysmääriä ja keskeytysaikoja. Tarkastelussa käytettävät arvot on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Tarkastelussa käytettävät keskiarvoiset vikataajuudet, keskeytysmäärät ja keskeytysajat.

	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks
Avojohtoon vikataajuus (kpl/100 km)	10,25	5,76
Maakaapelin vikataajuus (kpl/100 km)	1,19	3,18
Asiakkaan keskeytyksen keskipituus asemakaavan ulkopuolella (h)	0,9	1,49
Asiakkaan keskimääräinen keskeytysaika vuodessa asemakaavan ulkopuolella (h/a)	6,34	0,95
Asiakkaan kokemat keskeytykset vuodessa asemakaavan ulkopuolella (kpl/a)	7,02	0,64

Tarkastelussa laskettiin odotettu vikojen lukumäärä ja keskeytysaika vuodessa sekä odotusarvo näistä vioista vuodessa aiheutuneille keskeytyskustannuksille avojohtolla ja maakaapelilla toteutetun johtolähdön vikakeskeytysten ja suunniteltujen keskeytysten osalta esimerkkiverkossa. Tulokset on esitetty taulukossa 4. Keskeytysten määrät vuodessa on laskettu kaavan 1 avulla taulukossa 3 esitettyjen vikataajuuksien perusteella. Vuoden keskeytysaika on laskettu taulukossa 3 esitettyjen keskimääräisten keskeytyksen keskipituuksien ja keskeytysmäärien tulona. Vuoden keskeytyskustannukset on laskettu kaavan 2 avulla taulukossa 2 esitettyjen yksikköhintojen sekä taulukossa 3 esitettyjen keskeytysten keskipituuksien ja vikataajuuksien perusteella.

**Taulukko 4.** Odotettu vikojen lukumäärä ja keskeytysaika vikatyypeittäin sekä odotusarvo näistä vioista vuodessa aiheutuneille keskeytyskustannuksille avojohtolla ja maakaapelilla esimerkkiverkossa.

	Avojohto			Maakaapeli		
	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	Yhteensä	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	Yhteensä
Keskeytysten määrä (kpl/a)	3,08	1,73	4,80	0,36	0,95	1,31
Keskeytysaika (h/a)	2,77	2,57	5,34	0,32	1,42	1,74
KAH (€/a)	247,33	121,88	369,21	28,71	67,29	96,00

Taulukossa 4 esitetyistä tuloksista nähdään, että avojohdoilla tapahtuu enemmän keskeytyksiä kuin maakaapeloiduilla johto-osuuksilla. Avojojhoilla keskeytyksistä suurin osa on vikakeskeytyksiä. Vikakeskeytysten yleinen syy ovat myrskyjen tai lumikuorman seurauksena avojohdoille kaatuneet puut sekä muut luonnonilmiöiden aiheuttamat viat. Maakaapeleilla aiheutuneista keskeytyksistä suurin osa on suunniteltuja keskeytyksiä. Koska yksittäisen keskeytyksen kestoaikana on käytetty samaa arvoa sekä avojohdolle että maakaapelille, keskeytysten määrä määrittää vuotuisen keskeytysajan. Keskeytysaika on siten avojohdon tapauksessa suurempi kuin maakaapelin tapauksessa.

Avojohtolla vuodessa kertyneet keskeytyskustannukset esimerkkiverkon tapauksessa ovat lähes nelinkertaiset verrattuna tilanteeseen, jossa keskijännitteinen johto-osuus on maakaapeloitu. Tämä johtuu avojohdon suuremmasta vuosittaisesta keskeytysmäärästä. Avojohtolla suurin osa keskeytyskustannuksista aiheutuu vikakeskeytyksistä, koska vikakeskeytyksiä tapahtuu suunniteltuja keskeytyksiä enemmän ja vikakeskeytykselle määritetyt yksikköhinnat ovat suuremmat kuin suunnitellun keskeytyksen tapauksessa. Vikakeskeytysten aiheuttamat keskeytyskustannukset ovat suuremmat, vaikka suunniteltujen keskeytysten keskimääräinen kesto on vikakeskeytyksiä pidempi. Maakaapelin tapauksessa suunnitelluista keskeytyksistä aiheutuu suurin osa keskeytyskustannuksista.

Jos saarekekäyttöä hyödynnetään parantamaan jakeluverkon toimintavarmuutta, maakaapeloinnin aiheuttamia kustannuksia haja-asutusalueella saadaan pienennettyä tai maakaapelointia ei tarvitse tehdä ollenkaan. Maakaapelointi tehdään kuitenkin usein muiden verkkotoimenpiteiden yhteydessä, jolloin kaapeloinnin lykkäämisestä saatavat kustannussäästöt eivät ole yhtä suuret kuin kaapeloinnin kustannukset olisivat olleet. Kaapeloinnin kustannukset koostuvat maakaapelista, oheislaitteistoista sekä kaapelointityöstä. Maakaapelin hinta riippuu sen halkaisijan pinta-alasta, ja Energiaviraston yksikköhinnat eri kokoisille maakaapeleille ovat 10 400–86 100 €/km. Lisäksi maakaapeliojan kaivaminen tavallisessa ympäristöolosuhteessa kustantaa 22 100 €/km. (Energiavirasto 2022) Erityisesti haja-asutusalueiden pitkät verkkoyhteydet aiheuttavat suuria maakaapelointikustannuksia.

Tarkastelussa laskettiin vuoden odotettujen keskeytysmäärien ja niiden avulla laskettujen keskeytyskustannusten lisäksi vuosien 2016–2019 keskeytystilastojen keskiarvoisten keskeytysmäärien sekä keskeytysaikojen avulla tunnin keskeytyskustannukset sekä vuoden keskeytyskustannukset vikakeskeytyksille ja suunnitelluille keskeytyksille esimerkkiverkossa. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 5. Tunnissa aiheutuneet keskeytyskustannukset on laskettu kaavan 2 sekä taulukon 2 arvojen avulla. Keskeytyksen kes-



tona käytettiin tuntia. Vuoden keskeytyskustannukset on laskettu kaavan 2 avulla taulukossa 2 esitettyjä yksikköhintoja sekä taulukossa 3 esitettyjä vuosittaisia keskeytysmääriä ja -aikoja käyttäen.

**Taulukko 5.** Keskeytyskustannukset vuosien 2016–2019 keskeytystilastojen perusteella esimerkkiverkossa.

	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	Yhteensä
KAH (€/h)	88,52	48,72	–
KAH (€/a)	566,41	44,98	611,39

Kuten taulukossa 5 esitetyistä tuloksista voidaan huomata, vikakeskeytyksen tunnissa aiheuttamat keskeytyskustannukset ovat suunniteltuja keskeytyskustannuksia suuremmat. Keskeytyksestä aiheutuneen haitan yksikköhinnat ovat vikakeskeytysten osalta suuremmat, joka aiheuttaa eron tunnissa aiheutuneissa keskeytyskustannuksissa. Ero yksikköhinnoissa johtuu siitä, että äkillisesti alkava sähkönjakelun keskeytyks aiheuttaa potentiaalisesti suurempia vahinkoja loppukäyttäjälle kuin suunniteltu keskeytyks, josta verkkoyhtiöllä on mahdollisuus ilmoittaa loppukäyttäjälle etukäteen.

Vuosien 2016–2019 aikana toteutuneiden keskeytysmäärien ja -aikojen pohjalta lasketuista keskeytyskustannuksista huomataan, että vikakeskeytykset aiheuttavat yli 90 % vuoden kaikista keskeytyskustannuksista esimerkkiverkon tapauksessa. Tämä johtuu siitä, että sekä vikakeskeytysten keskeytysmäärä, -aika sekä yksikköhinnat ovat suuremmat kuin suunniteltujen keskeytysten osalta.

Verrattaessa taulukossa 4 esitettyjä vikataajuuksien perusteella laskettuja vuoden keskeytyskustannuksia ja taulukossa 5 esitettyjä tilastojen perusteella laskettuja vuoden keskeytyskustannuksia huomataan, että tilastojen perusteella lasketut keskeytyskustannukset ovat huomattavasti suuremmat vikakeskeytysten ja kokonaiskeskeytyskustannusten osalta. Suunnitelluista keskeytyksistä vuodessa aiheutuneet keskeytyskustannukset ovat kuitenkin pienemmät kuin vikataajuuksien perusteella lasketut sekä avojohdon että maakaapelin tapauksessa.

Saarekekäytön avulla keskeytyskustannuksista saatavat taloudelliset hyödyt ovat esimerkkiverkon tapauksessa laskentatavasta riippuen noin 100–600 € vuodessa. Tarkasteluissa ei otettu huomioon saarekeverkon investointi-, käyttö- ja huoltokustannuksia, mahdollisten etä- tai manuaalisesti ohjattavien erottimien tai katkaisijoiden toiminta-ai-

koja, saarekekäytön mahdollistavien komponenttien vikaantumista tai saarekeverkon sisällä tapahtuvia vikoja. Myös vuosittaiset keskeytysmäärät ja keskeytysajat vaikuttavat keskeytyskustannuksien suuruuteen ja niistä saarekekäytön kautta saatavaan säästöön.

Keskeytyskustannusten lisäksi saarekekäyttö yli 12 h kestävässä sähköjakelun häiriöissä voi mahdollistaa vakiokorvauksilta välttymisen tilanteissa, joissa asiakkaille ei koidu käyttörajoituksia saarekekäytön aikana ja verkkoyhtiö vastaa saarekekäytöstä. Saarekekäytön vaikutusta vakiokorvauksiin ei ole kuitenkaan määritelty yksiselitteisesti sähkömarkkina-alaissa.

Oman saarekeratkaisun lisäksi verkkoyhtiö voisi ostaa toimitusvarmuus- tai kapasiteettijoustoa palveluna loppukäyttäjiltä, joilla on mahdollisuus saarekekäyttöön. Maatilyrittäjille osoitetussa kyselytutkimuksessa kysyttiin maatilyrittäjien näkemystä toimitusvarmuus- tai kapasiteettijoustoista maksettavasta korvauksesta. Maatilyrittäjät arvioivat korvauksen suuruutta varavoimalaitteiston käyttökustannusten kautta. Polttoainekäyttöisen varavoimalaitteiston käyttökustannukset koostuvat pääasiassa polttoainekustannuksista.

Dieselaggregaatin tai -generaattorin polttoaineen kulutus vaihtelee laitteen tyyppiin ja valmistajan mukaan. Lisäksi polttoaineen kulutus riippuu laitteiston nimellistehosta. Nimellisteholtaan suurempi varavoimalaitteisto kuluttaa enemmän polttoainetta kuin nimellisteholtaan pienempi laitteisto. Suhteessa tuotettuun energiaan nimellisteholtaan suurempi dieselaggregaatti tai -generaattori kuluttaa kuitenkin vähemmän polttoainetta kuin nimellisteholtaan pienempi laitteisto.

Polttoaineen kulutuksen dieselaggregaateilla tai -generaattoreilla oletetaan olevan esimerkkiverkon tapauksessa 0,25–0,4 l/kWh. Esimerkkiverkon aggregaatin polttoaineen kulutus on määritelty erikokoisten dieselaggregaattien polttoaineen kulutuksista. (AGCO Power 2017; Puutukkuri i.a.). Varavoimalaitteistolla tuotetun sähköenergian hinta saadaan laskettua kertomalla laitteiston polttoaineen kulutus polttoaineen hinnalla. Tilastokeskuksen vuoden 2022 dieselin hintatilastoista laskettu keskiarvo on 2 €/l (Poltonesteiden kuluttajahinnat 2023). Tällöin dieselaggregaatin käyttökustannuksiksi saadaan tuotetun energian mukaan 0,5–0,8 €/kWh. Esimerkiksi nimellisteholtaan 100 kW dieselaggregaatin tuntikohtaiseksi käyttökustannukseksi saadaan siis laitteiston polttoaineenkulutuksesta riippuen 50–80 €/h.

Myös joustopalvelun tarjoamiseen tarvittavan tuotantolaitteiston investointikustannukset voidaan laskea mukaan tarjotun palvelun hintaan. Investointikustannukset koostuvat varavoimalaitteiston sekä sen asentamiseen ja käyttöön tarvittavien oheislaitteiden hinnasta sekä asennus- ja suunnittelutyöstä. Kyselyyn vastanneet asiakkaat eivät olleet

kuitenkaan ottaneet huomioon investointikustannuksia arvioidessaan joustopalvelusta maksettavaa korvausta. Tämän voidaan arvioida johtuvan siitä, että kuluttajat olivat jo muista syistä hankkineet laitteiston, jolla on myös mahdollista tarjota joustopalveluja. Kuluttajat olisivat siis hankkineet varavoimalaitteiston ja käyttäisivät sitä myös ilman jouston tarjoamisen mahdollisuutta omiin käyttötarpeisiinsa. Tällöin joustopalveluiden tarjoamisesta saatavat tuotot ovat lisätuottoa tilanteessa, jossa joustopalvelun tarjoaja ei itse tarvitse varavoimalaitteistoaan ja se olisi muuten käyttämättömänä.

Jos joustopalvelun tarjoaja hankkii tuotantolaitteiston ainoastaan tai pääasiassa joustopalveluiden tarjoamista varten, palvelun tarjoaja oletettavasti laskee investointikustannukset osaksi joustopalvelun hintaa. Varavoimalaitteiston hinta riippuu pääasiassa laitteiston nimellistehosta sekä laitteiston tyypistä. Muita hintaan vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi laitteiston valmistaja. Polttoainekäyttöisten varavoimalaitteistojen hinnat vaihtelevat sadoista euroista useisiin kymmeneen tuhansiin euroihin. Nimellisteholtaan useiden satojen kilowattien laitteistojen hinnat määräytyvät tapauskohtaisesti.

Sähköverkkoyhtiöt voivat määritellä toimitusvarmuus- tai kapasiteettijoustopalvelun tarjoajalle maksettavan korvauksen keskeytyskustannusten perusteella. Palvelu voidaan hankkia myös muista syistä kuin sähkönjakelun keskeytysten takia, jolloin maksettavan korvauksen suuruuteen vaikuttavat jakeluverkkoyhtiön kannalta muut tekijät kuin keskeytyskustannusten suuruus. Näitä tekijöitä voivat olla esimerkiksi jakeluverkkoyhtiön maine sekä mahdollisten lykkääntyneiden tai poistuneiden investointikustannusten suuruus.

Esimerkkiverkon tapauksessa keskeytyskustannukset tunnin kestävälle keskeytykselle olivat vikakeskeytyksen tapauksessa 88,52 € ja suunnitellun keskeytyksen tapauksessa 48,72 €. Jos toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalvelun hintana käytetään edellä määritettyä 100 kW dieselaggregaatin tunnin polttoainekustannusta, huomataan, että keskeytyskustannukset ja palvelun hinta ovat hyvin lähellä toisiaan. Kyselyn vastauksissa käyttökustannusten lisäksi haluttiin korvausta myös palvelusta, jotta palvelun tarjoamisesta olisi mahdollista saada taloudellista voittoa. Lisäksi palvelun hintaan laskettaisiin mukaan myös investointi- ja huoltokustannukset, joten todellisuudessa palvelun hinta olisi polttoainekustannuksia suurempi.

Verkkoyhtiöt ovat veloitettuja hyödyntämään joustopalveluja niiden ollessa kustannustehokas vaihtoehto. Koska esimerkkiverkon tapauksessa vikakeskeytyksestä aiheutuneet keskeytyskustannukset ovat suuremmat kuin saarekekäytöstä aiheutuvat polttoainekustannukset, verkkoyhtiön näkökulmasta asiakkaan tarjoaman palvelun hyödyntämi-

sestä saataisiin kustannussäästöjä. Suunnitellun keskeytyksen yhteydessä polttoainekustannukset ovat suuremmat kuin keskeytykustannukset, joten tällöin saarekekäytön hyödyntäminen ei olisi kustannusten kannalta järkevää verkkoyhtiön näkökulmasta. Sekä vika- että suunnitelluissa keskeytyksissä loppukäyttäjän kannalta olisi järkevää siirtyä saarekekäyttöön, jotta vältetään sähkönjakelun keskeytyksen aiheuttamilta haitoilta.

Jos tuntikohtaisen toimitusvarmuusjoustopalvelun edellä määritetyn hinnan sekä taulukossa 4 esitettyjen vuosittaisten keskeytysaikojen avulla lasketaan vuosittaisista sähkönjakelun keskeytyksistä kertyneet kustannukset toimitusvarmuusjoustopalvelusta esimerkiksi verkkoverkon tapauksessa ja verrataan näitä kustannuksia taulukossa 4 esitettyihin vuosittaisiin keskeytykustannuksiin, voidaan arvioida toimitusvarmuusjoustopalvelun taloudellista kannattavuutta. Taulukossa 6 on esitetty toimitusvarmuusjoustopalvelun ostamisesta aiheutuvat kustannukset vuodessa, sekä kustannusten muutos verrattuna vuoden odotettuihin keskeytykustannuksiin kahdella palvelun hinnalla avojohdon ja maakaapelin tapauksessa vikakeskeytyksissä ja suunnitelluissa keskeytyksissä. Kustannusten pieneneminen on ilmoitettu negatiivisella luvulla ja kustannusten nousu positiivisella luvulla.

**Taulukko 6.** Toimitusvarmuusjoustopalvelun ostamisen taloudellisen kannattavuuden arviointi keskeytykustannusten odotusarvojen perusteella.

		Avojohto			Maakaapeli		
Toimitusvarmuusjoustopalvelun hinta		Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	Yhteensä	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	Yhteensä
50 €/h	Kustannukset vuodessa (€/a)	138,38	128,74	267,11	16,07	71,07	87,14
	Kustannusten muutos (€/a)	- 108,95 (- 44 %)	+ 6,86 (+ 6 %)	- 102,10 (- 28 %)	- 12,65 (- 44 %)	+ 3,79 (+ 6 %)	- 8,86 (- 9 %)
80 €/h	Kustannukset vuodessa (€/a)	221,40	205,98	427,38	25,70	113,72	139,42
	Kustannusten muutos (€/a)	- 25,93 (- 10 %)	+ 84,10 (+ 69 %)	+ 58,17 (+ 16 %)	- 3,01 (- 10 %)	+ 46,43 (+ 69 %)	+ 43,42 (+ 45 %)

Taulukossa 7 on puolestaan esitetty toimitusvarmuusjoustopalvelun ostamisesta aiheutuvat kustannukset vuodessa sekä kustannusten muutos verrattuna vuosien 2016–2019

keskeytystilastojen pohjalta laskettuihin keskeytyskustannuksiin kahdella palvelun hinnalla. Taulukossa esitetyt arvot on saatu määrittämällä toimitusvarmuusjoustopalvelun vuosikustannukset kertomalla toimitusvarmuusjoustopalvelun hinta taulukossa 3 esitetyillä vuosittaisilla keskeytysajoilla ja vertaamalla saatua palvelun hintaa taulukossa 5 esitettyihin vuosittaisiin keskeytyskustannuksiin. Kustannusten pieneneminen on merkattu taulukossa negatiivisella luvulla ja kustannusten nousu positiivisella luvulla.

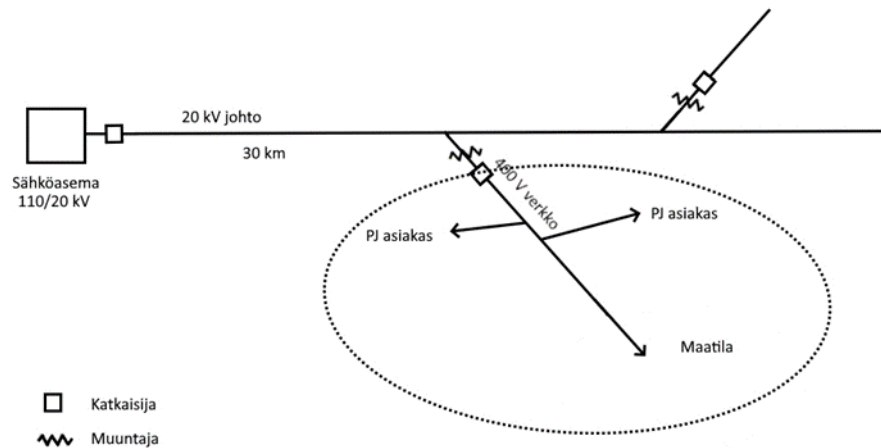
**Taulukko 7.** Toimitusvarmuusjoustopalvelun ostamisen taloudellisen kannattavuuden arviointi vuosien 2016–2019 keskeytystilastojen perusteella.

Toimitusvarmuusjoustopalvelun hinta		Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytys	Yhteensä
50 €/h	Kustannukset vuodessa (€/a)	317,00	47,50	364,50
	Kustannusten muutos (€/a)	- 249,41 (- 44 %)	+ 2,52 (+ 6 %)	- 246,89 (- 40 %)
80 €/h	Kustannukset vuodessa (€/a)	507,20	76,00	583,20
	Kustannusten muutos (€/a)	- 59,21 (- 11 %)	+ 31,02 (+ 69 %)	- 28,19 (- 5 %)

Esimerkkiverkon tapauksessa toimitusvarmuusjoustopalvelun ostaminen olisi siis verkko-yhtiön kannalta kannattavaa ainoastaan vikakeskeytysten aikana. Palvelun hinnan noustessa taloudellinen kannattavuus pienenee. Suunnitelluista keskeytyksistä kertyvät keskeytyskustannukset ovat pienemmät kuin toimitusvarmuusjoustopalvelun hinta, jolloin suunniteltujen keskeytysten yhteydessä ei ole kannattavaa ostaa toimitusvarmuusjoustopalvelua. Maakaapeloidussa verkossa kaikista keskeytyksistä saatujen säästöjen määrä on pienempi kuin avojohdolla, mikä johtuu maakaapeloidun verkon pienemmästä vuosittaisesta keskeytysmäärästä ja -ajasta.

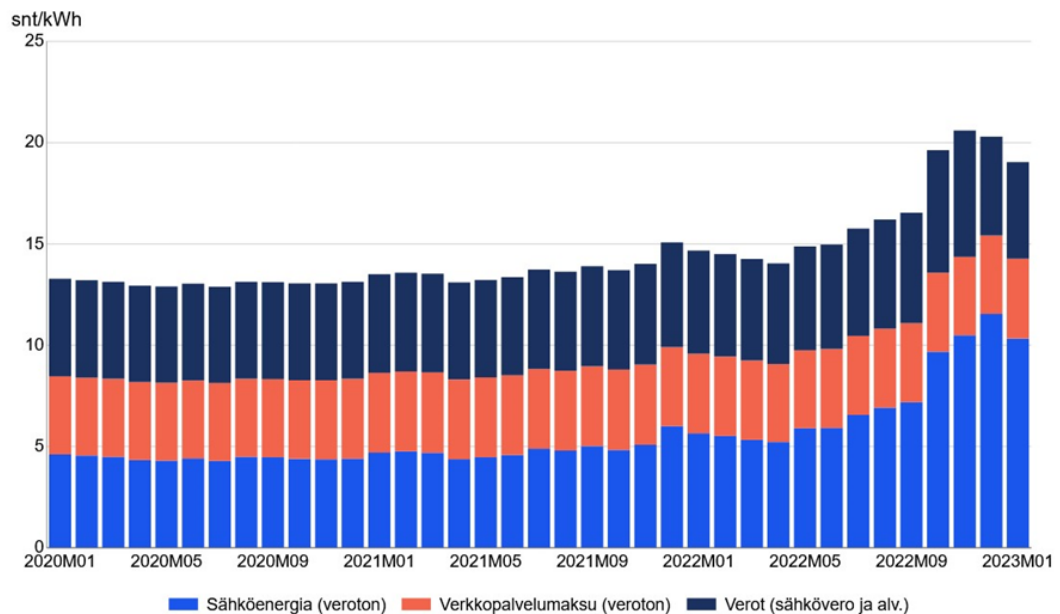
Kyselyn vastauksissa ilmeni, että maatilayrittäjät olivat kiinnostuneita mahdollisuudesta jakaa energiaressurssia naapureiden kanssa esimerkiksi energiayhteisöiden avulla. Kuvassa 23 on havainnollistettu mahdollinen energiayhteisöratkaisu esimerkkiverkon tapauksessa.

Energiayhteisöjen avulla keskeytyskustannuksia voidaan edelleen pienentää, jos useampi loppukäyttäjä on saarekekäytössä sähkönjakelun keskeytyksen ajan. Energiayhteisön avulla energiaressurssien hankkiminen olisi myös yksittäiselle loppukäyttäjälle halvempaa investoinnin jakautuessa.



**Kuva 23.** Energiayhteisö pienjänniteverkossa.

Saarekekäyttöä voidaan potentiaalisesti hyödyntää energiakustannusten pienentämisessä sähkön hinnan ollessa korkealla. Talvella 2022–2023 sähkön hinnat olivat ennätyskellisen korkeita. Kuvassa 24 on esitetty sähkön hinta yli 15 MWh vuodessa kuluttavalle kotitalousasiakkaalle vuosina 2020–2022. Korkeimmillaan sähkön hinta oli vuoden 2022 viimeisellä neljänneksellä, jolloin verollinen sähköenergian hinta oli noin 13 snt/kWh. Sähkön kokonaishinta, joka sisältää sähköenergian hinnan ja verkkopalvelumaksun veroineen, oli vuoden 2022 viimeisellä neljänneksellä keskimäärin noin 20 snt/kWh. (Energian hinnat 2023) Sähkön pörssihinnat voivat kuitenkin vaihdella tunteittain huomattavasti keskimääräisistä hinnoista, jolloin pörssihintaan sidotuissa tuotteissa sähkön hintataso voi vaihdella vuorokauden sisällä suuresti.



**Kuva 24.** Sähkön hinta vuodessa yli 15 MWh kuluttavalle kotitalousasiakkaalle (Energian hinnat 2023).

Esimerkkitarkastelussa dieseliä polttoaineenaan käyttävän varavoimalaitteiston käyttökustannuksiksi polttoaineen kulutuksen ja hinnan perusteella saatiin 50–80 snt/kWh. Polttoainekäyttöisen varavoimalaitteiston käyttäminen korkean sähkön hinnan aikaan ei siis ole kannattavaa, ellei sähkön hinta ole yli 50–80 snt/kWh riippuen varavoimalaitteiston polttoaineenkulutuksesta. Korkeimmillaan tuntikohtaiset sähkön pörssihinnat olivat vuoden 2022 elokuussa, jolloin verollinen sähkön hinta oli aamun ja alkuillan kulutshuippujen aikaan jopa yli 100 snt/kWh (Nord Pool 2023). Tällöin saarekekäyttö polttoainekäyttöisellä varavoimalaitteistolla on polttoainekustannuksiin verrattuna kannattavaa.

Enemmän energiaa kuluttavan kuluttajan sähköenergian hinta on usein halvempi kuin vähemmän kuluttavan asiakkaan. Koska esimerkkitarkastelussa tarkastellaan maatilaa, jonka vuosikulutus on yli 15 000 kWh, käytetään verollisen sähköenergian hintana 13 snt/kWh. Jotta dieselpolttoaineella toimivan varavoimalaitteiston hyödyntäminen saarekekäytössä korkean ostoenergian hinnan aikaan olisi kannattavaa verrattuna vuoden 2022 viimeisen vuosineljänneksen sähköenergian hintoihin, dieselin hinnan olisi oltava alle 0,52 €/l varavoimalaitteistolle, jonka polttoaineen kulutus on 0,25 l/kWh. Varavoimalaitteistolle, jonka polttoaineen kulutus on 0,4 l/kWh, dieselin hinnan olisi oltava alle 0,32 €/l.

Kannattavuustarkasteluissa voidaan hyödyntää myös vuoden 2022 kulutshuippujen aikaista sähkön hintatasoa. Tällöin dieselin hinnan olisi sähkön hinnan ollessa 100 snt/kWh oltava alle 4 €/l varavoimalaitteistolle, jonka polttoaineen kulutus on 0,25 l/kWh, jotta saarekekäyttö olisi kannattavaa verrattuna sähkön hintaan. Varavoimalaitteistolle, jonka polttoaineen kulutus on 0,4 l/kWh, dieselin hinnan olisi oltava alle 2,5 €/l. Kulutshuippujen aikaan saarekekäyttö polttoainekäyttöisen varavoimalaitteiston avulla olisi siis kannattavaa verrattuna nykyiseen dieselin hintatasoon.

Akustoa voidaan hyödyntää saarekekäytössä polttoainekäyttöisen varavoimalaitteiston sijaan sähkön markkinahinnan vaihteluiden mukaisesti. Kuvasta 24 nähdään, että sähkön hinta on ollut halvimmillaan viimeisen kolmen vuoden sisällä vuoden 2020 kesällä, jolloin veroton sähköenergianhinta vuodessa yli 15 MWh kuluttavalle kuluttajalle oli noin 4 snt/kWh. Pörssihintaan sidottujen tuotteiden hinnat ovat olleet ajoittain erityisen alhaalla, kuten vuoden 2023 syyskuussa sähkön pörssihintojen ollessa ajoittain negatiivisia (Nord Pool 2023). Akusto voidaan ladata sähkön hinnan ollessa matalammalla tai esimerkiksi aurinkovoimalan tuottamalla sähköllä, ja purkaa sähkön hinnan ollessa korkealla.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Saarekekäytöllä on mahdollista saavuttaa monia hyötyjä, mutta energiaresursseihin ja saarekekäyttöön liittyy kuitenkin vielä joitain niiden käytön yleistymistä hidastavia seikkoja tai hyödyntämisen estäviä haasteita. Kyselytutkimuksen vastausten, kannattavuustarkastelujen ja kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä saarekekäytön ja hajautettujen energiaresurssien hyödyntämisestä, kehitysmahdollisuuksista sekä vielä selvittämistä kaipaavista tekijöistä.

Hajautetut energiaresurssit ja niiden mahdollistamat saarekekäytöt tulevat yleistymään tulevaisuudessa. Paikallisesti tuotetun uusiutuvan energian ja kysyntäjoustopon hyödyntämistä tukevia ratkaisuja tullaan edellyttämään entistä enemmän, ja rakentamisessa tullaan panostamaan päästöttömyyteen sekä rakennusten energiatehokkuuteen. Erilaisten järjestelmien määrän kasvaessa järjestelmien toimimisesta yhdessä tulee monimutkaisempaa.

Saarekekäyttöä tulisi mahdollisuuksien mukaan hyödyntää energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi. Tulevaisuudessa tulisi kuitenkin kiinnittää huomiota energiaresurssien ympäristöystävällisyyteen. Varavoimalaitteistot ovat tällä hetkellä pääasiassa polttoainekäyttöisiä. Euroopan unioni on asettanut päästörajoituksia esimerkiksi dieselillä ja bensiinillä toimiville varavoimalaitteistoille. Lisäksi päästötavoitteet kasvattavat polttoaineen hintojen myötä bensiini- ja dieselkäyttöisten varavoimalaitteistojen käyttökustannuksia.

Saarekekäytön ja joustopalveluiden avulla voidaan tasapainottaa tehotasapainon vaihteluita yleisen jakeluverkon tasolla. Uusiutuvan energian lisääntyvä hyödyntäminen aiheuttaa vaihtelevuutta sähkön tuotantoon. Lisäksi sähkön kulutus sekä sähköverkkojen kuormitus kasvavat. Pahimmassa tapauksessa saatetaan joutua talvena 2022–2023 keskusteluissa esille nousseeseen sähköpulatilanteeseen, jolloin voidaan joutua turvautumaan kiertäviin sähkökatkoihin tehotasapainon saavuttamiseksi. Sähköpulatilanteessa saarekekäytön avulla voitaisiin vähentää verkon kuormitusta, ilman että loppukäyttäjät joutuvat kokemaan sähkönjakelun keskeytystä. Kyselyn tuloksista kuitenkin ilmeni, että osa saarekekäytön mahdollistavista varavoimalaitteistoista oli käyttämättöminä pitkiä aikoja eikä niiden toiminnallisuutta testattu säännöllisesti. Tällöin varavoimalaitteistot eivät välttämättä ole toimintakuntoisia.



Saarekeratkaisut ovat keskenään hyvin erilaisia, ja niiden taloudellinen kannattavuus riippuu monesta eri tekijästä. Samanlainen saarekeverkkomalli ei käy kaikkialla, vaan ratkaisut on suunniteltava tapauskohtaisesti esimerkiksi kuormituksesta, energiaresursseista, ilmasto-olosuhteista ja saarekkeen sijainnista riippuen. Tämä hidastaa osaltaan saarekekäytön yleistymistä ja vaikeuttaa saarekekäytön taloudellisen kannattavuuden arviointia.

Suurin osa kyselyyn vastanneista jakeluverkkoyhtiöistä aikoi rakentaa tulevaisuudessa lisää saarekekäyttömahdollisuuksia. Jakeluverkkoyhtiöiden kannalta saarekeratkaisujen yleistymistä hidastaa kuitenkin osaltaan niiden eriarvoinen huomiointi verkkoliiketoiminnan valvontamallissa. Saarekeratkaisujen tulisi olla kustannuksiltaan muita vaihtoehtoja edullisempia tai muuten tuettuja, jotta jakeluverkkoyhtiöt näkisivät saarekeratkaisujen käytön kannattavaksi toimitusvarmuutta parannettaessa. Erilaisten joustopalveluiden kehittäminen ja hyödyntäminen tulee lisääntymään verkkoliiketoiminnan valvontamallin muutoksen myötä. Valvontamalliin lisätyn joustokannustimen kautta erilaisten joustopalveluiden hankkiminen lisää sallittua tuottoa, joka parantaa joustopalveluiden asemaa taloudellisesta näkökulmasta verrattuna muihin verkonkehitystoimenpiteisiin aiempia valvontamalleja paremmin.

Jakeluverkkoyhtiöiden omien saarekeratkaisuiden lisäksi myös loppukäyttäjien saarekeratkaisuille on hyödyntämispotentiaalia erityisesti haja-asutusalueella. Toimintatapojen ja ratkaisuiden kehittyessä saarekekäytön hyödyntäminen myös tapana lykätä, pienentää tai poistaa verkostoinvestointeja voi olla joissain tapauksissa kannattavaa. Loppukäyttäjien saarekekäyttöjen hyödyntämistä toimitusvarmuuden parantamisessa hidastaa kuitenkin liiketoiminta- ja sopimusmallien puuttuminen. Jakeluverkkoyhtiöillä ei ollut valmiita toimintamalleja asiakkaiden saarekekäyttöjen hyödyntämistä ajatellen. Lisäksi jakeluverkkoyhtiön on oltava varma loppukäyttäjien varavoima- tai saarekeratkaisun toimivuudesta sekä turvallisuudesta, jos niitä hyödynnettäisiin toimitusvarmuus- tai kapasiteettijoustoissa. Joustopalvelun aktivoitumistapa ja laskutus tulisi myös toteuttaa siten, ettei loppukäyttäjälle aiheudu ylimääräistä vaivaa palvelun tarjoamisesta.

Joustopalveluiden ja saarekeratkaisuiden yleistyessä valtakunnallisen tason määrittelyn tärkeys järjestelmille ja toimintatavoille korostuu. Nykyisessä sähkömarkkina- ja vakiokorvausten maksuperusteet ovat saarekekäytön sekä joustopalveluiden osalta tulkin- nanvaraisia erityisesti, jos jakeluverkkoyhtiö järjestää sähkönjakelun asiakkaalle syöttävän verkon vikatilanteen aikana muuten kuin verkkoyhtiön oman saarekeratkaisun avulla.

Monella loppukäyttäjällä on jo entuudestaan varavoimalaitteistoja tai muita energiaresursseja tai he aikoivat hankkia niitä tulevaisuudessa. Vaikka saarekekäyttöä ei loppukäyttäjien osalta vielä juurikaan hyödynnetty energiakustannusten pienentämiseen, se tulee yleistymään tulevaisuudessa. Sähkönjakelun keskeytysten aiheuttamien haittojen lisäksi kuluttajat ovat entistä tietoisempia sähkön hinnoista sekä eri energiatuotantotapojen ekologisuudesta. Tästä syystä kuluttajat hankkivat enenevässä määrin hajautettuja energiaresursseja ja osallistuvat kysyntäjouksoon. Pientuotannon ja kiinteistöjen energiajärjestelmien yleistyessä kulutuksen huipunleikkaus yleistyy, jolloin voidaan pienentää talouden energiakustannuksia. Joustopalveluiden yleistyessä energiaresursseja saatetaan hankkia energiakustannusten pienentämisen ja toimitusvarmuuden parantamisen ohella myös joustopalveluiden tarjoamista varten.

Kaupan alan yritysten ja huoltoasemien varavoimalaitteistojen ja saarekekäyttömahdollisuuksien tilaa ei saatu arvioitua kyselytutkimuksen perusteella. Kaupan alan yritysten ja huoltoasemien varautuminen pidempiaikaisiin sähkökatkoihin on tärkeää huoltovarmuuden, toimipisteiden toiminnan jatkumisen sekä hävikin minimoimisen kannalta. Energiaressien avulla voitaisiin myös säästää energiakustannuksissa. Esimerkiksi huoltoasemien varautuminen sähkönjakelun keskeytyksiin tukee myös polttoainekäyttöisiä varavoimalaitteistoja energiaresursseinaan käyttävien saarekeverkkojen toimintaa.

Loppukäyttäjien saarekeratkaisuiden yleistymistä hidastaa tiedon ja palveluratkaisuiden puute sekä investointien suuruus. Kyselyn vastauksissa korostui tarve luotettavalle tiedolle ja neuvonnalle varavoimalaitteistoista sekä saarekekäytöstä. Vaikka jakeluverkkoyhtiö tarjoaisi neuvontaa esimerkiksi verkkosivuillaan, kuluttajan voi olla haastavaa löytää omaan varavoima- tai saarekeratkaisuunsa liittyvää tietoa. Varavoiman asentamiseen ja ilmoitusvelvollisuuteen liittyvä tieto on usein mainintana esimerkiksi aurinkovoimaan liittyvän tiedon seassa. Kuluttaja ei välttämättä osaa etsiä esimerkiksi dieselgeneraattorin hankintaan, asentamiseen ja käyttämiseen liittyvää tietoa uusiutuvaan energiaan keskittyvältä sivustolta.

Kuluttajien voi olla myös vaikeaa hahmottaa, mistä laitteistoista tai muutostöistä jo olemassa oleviin laitteistoihin pitää tehdä ilmoitus alueelliselle jakeluverkkoyhtiölle. Ilmoitusvelvollisuus ei koske luokkien 1 ja 2 tuotantolaitoksia, eli tuotantolaitoksia, jotka eivät toimi rinnan yleisen jakeluverkon kanssa. Tästä johtuen 70 % kyselyyn vastanneista maataloista ei ollut ilmoittanut alueellaan toimivalle jakeluverkkoyhtiölle varavoimalaitteistostaan, ja jakeluverkkoyhtiöiden tiedossa oli lähinnä vain suurempien toimijoiden saarekeratkaisuja. Jakeluverkkoyhtiöillä ei myöskään ole velvollisuutta pitää yllä tietoja luokkaan 1 tai 2 kuuluvista varavoimalaitteistoista tai niiden syöttämistä saarekkeista. Koska

laitteistoista ei tarvitse tehdä ilmoitusta, niiden sähköturvallisuuksia sekä sopivuutta kohteeseen ei välttämättä ole varmistettu. Tästä voi aiheutua paloturvallisuusriski tai vaaratilanteita laitteistojen käyttäjille sekä korjaushenkilökunnalle esimerkiksi laitteiston syöttäessä virheellisesti sähköä ulkoiseen verkkoon.

Esitettyjen johtopäätösten perusteella voidaan esittää toimenpide-ehdotuksia, jotka voisivat osaltaan ratkaista saarekekäyttöön liittyviä haasteita sekä edistää saarekekäytön yleistymistä niin jakeluverkkoyhtiöiden kuin loppukäyttäjienkin osalta. Taulukkoon 8 on koottu luvussa esitettäviä toimenpide-ehdotuksia sekä toimenpiteeseen liittyvä kohde- tai vastuutaho.

**Taulukko 8.** Toimenpide-ehdotukset.

Toimenpide-ehdotus	Kohde- tai vastuutaho
Hajautetun tuotannon ja saarekekäyttömahdollisuuden suunnittelu mukana rakennuksen tai kohteen suunnittelun alusta asti.	Saarekeratkaisun omistaja/kohteen rakennuttaja
Ratkaisuiden ympäristöystävällisyyden huomioiminen käyttötarkoitus huomioiden.	Saarekeratkaisun omistaja
Valtakunnallisen tason määrittely, mitä laitteistoilta ja niiden käytöltä vaaditaan erilaisten ratkaisuiden yleistyessä.	Viranomaisen/jakeluverkkoyhtiö
Ilmoitusvelvollisuuden laajentamisen luokkiin 1 ja 2 hyötyjen ja vaikutusten selvitys.	Viranomaisen
Liiketoiminta- ja palvelumallien kehittäminen sekä jakeluverkkoyhtiöiden että loppukäyttäjien saarekeratkaisuille sekä niiden testaaminen.	Jakeluverkkoyhtiö/saarekeratkaisun omistaja
Käytössä olevien saarekekäyttömahdollisuuksien kartoittaminen sekä niiden toiminnallisuuden ja suojauksen toiminnan testaus.	Saarekeratkaisun omistaja/jakeluverkkoyhtiö
Omistajuus- ja vastuunjakokysymysten selvittäminen joustopalveluita ja saarekekäyttöä hyödynnettäessä.	Jakeluverkkoyhtiö/viranomaisen
Selvennys saarekekäytön ja joustopalveluiden vaikutuksista vakikorvauksiin ja regulaatiomallin joustokannustimien hyödyntämiseen.	Viranomaisen/jakeluverkkoyhtiö
Polttoaineen saatavuuden turvaaminen laajoissa ja pitempiaikaisissa sähkönjakelun keskeytyksissä parantamalla huoltoasemien varautumista	Huoltoasemat
Ulkoisten palveluntarjoajien palveluiden kehittäminen saarekekäyttöä ja energiayhteisöitä ajatellen.	Ulkoisen palveluntarjoaja/jakeluverkkoyhtiö
Energiaresurssiin, saarekekäyttöön ja energiayhteisöihin liittyvän tiedotuksen lisääminen.	Jakeluverkkoyhtiö/viranomaisen/Motiva
Henkilöstön koulutus varavoimalaitteistojen käytössä yrityksissä, joissa hyödynnetään varavoimalaitteistoja ja saarekekäyttöä.	Ulkoisen palveluntarjoaja/saarekeratkaisun omistaja
Markkina-alustojen kehittäminen.	Ulkoisen palveluntarjoaja

Erilaisten järjestelmien määrän kasvaessa hajautettuja energiaresursseja sekä niiden mahdollistamia saarekekäyttöjä esiintyy rakennuksissa aiempaa enemmän. Kohteen rakennuttajan tai saarekeratkaisun omistajan tulisi sisällyttää hajautetun tuotannon ja saarekekäyttömahdollisuuden suunnittelu alusta asti mukaan rakennuksen tai kohteen suunnitteluun. Tällöin hajautettujen energiaressien, taloteknisten järjestelmien ja muiden laitteistojen toiminnan yhteensovittaminen ja suojausten suunnitteleminen on yksinkertaisempaa.

Päästöjen vähentämiseksi polttoainekäyttöisten varavoimalaitteistojen sijaan saarekeratkaisuiden energiaresursseina voitaisiin hyödyntää esimerkiksi uusiutuvia energianlähteitä hyödyntäviä tuotantomuotoja, elektrolyysillä valmistettua vetyä polttoaineenaan käyttäviä polttonennoja tai akkupohjaisia varavoimalaitteistoja. Erittäin tärkeissä kohteissa, kuten sairaaloissa, täytyy kuitenkin ennen kaikkea huolehtia varavoiman saatavuudesta. Uusiutuvaa energiaa hyödyntävien tuotantomuotojen haasteena on sähkötuotannon vaihtelu esimerkiksi sääolosuhteiden mukaan. Saarekekäytössä tämä voi aiheuttaa haasteita saarekeverkon ollessa alttiimpi tehotasapainon vaihteluille. Saarekeverkossa tulisi olla energiaresursseja, joiden tuottamaa tehoa voidaan säätää tarvittaessa. Tehotasapainon vaihteluita voidaan tasapainottaa myös kuormanohjauksella. Kuormanohjausta hyödynnettiin kuitenkin hyvin vähän jakeluverkkoyhtiöiden ja loppukäyttäjien saarekekäytöissä.

Energiaresursseina voivat toimia myös kaksisuuntaista latausta eli V2G-latausta (Vehicle-to-Grid) hyödyntävät sähköautot, jotka tulevat muun Euroopan kehitystä seuraten yleistymään myös Suomessa. Sähköautoista voidaan kaksisuuntaisen latauksen avulla syöttää sähköä latauslaitteiston kautta yleiseen sähköverkkoon. Lisäksi V2H-ominaisuuden (Vehicle-to-Home) avulla sähköauton akkua voidaan hyödyntää kotitalouden saarekekäytössä muun muassa sähkönjakelun keskeytyksen aikana. V2G-ratkaisujen yleistyessä sekä kuluttajia että laitteistojen myyjiä tulisi tiedottaa V2G-laitteistoihin liittyvästä ohjeistuksesta.

Jakeluverkkoyhtiöiden saarekeratkaisuiden käytön edistämiseksi jakeluverkkoyhtiöiden tulisi kehittää erilaisia toimintamalleja saarekeratkaisuiden hyödyntämiseen toimitusvarmuuden parantamiseksi. Lisäksi näitä ratkaisuita tulisi kokeilla käytännössä. Ratkaisuja kehittäessä tulee varmistaa, ettei loppukäyttäjälle aiheudu ratkaisusta kohtuuttoman suuria lisäkustannuksia. Jotta saarekekäyttöä alettaisiin hyödyntää enemmän myös vaihtoehtona kaapelointi- tai verkon vahvistusinvestoinneille, saarekekäytön taloudellisen kannattavuuden arviointiin tulisi kehittää työkaluja.

Jakeluverkkoyhtiöiden tulisi määritellä yhtiölleen sopivat toimintatavat sekä sopimusmallit toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluille. Lisäksi omistajuus- ja vastuunjako kysymyksiä tulisi selvittää jakeluverkkoyhtiöiden ostaessa toimitusvarmuus- tai kapasiteettijoustopalveluita loppukäyttäjiltä tai osallistuessa loppukäyttäjän tekemään toimitusvarmuutta parantavaan investointiin. Vastuu joustopalvelusopimusten määräystenmukaisuudesta on viranomaisella, minkä takia jakeluverkkoyhtiöiden on hyväksyttävä palveluiden hankintaehdot Energiavirastolla.

Erilaisten saarekeratkaisuiden ja varavoimalaitteistojen yleistyessä on määriteltävä valtakunnallisella tasolla, mitä laitteistoilta ja niiden käytöltä vaaditaan. Tällöin esimerkiksi joustopalvelua hyödynnettäessä voitaisiin varmistua järjestelmän toimivuudesta ja turvallisuudesta. Lainsäädännöllisten määrittelyjen laatiminen on viranomaisen vastuulla, mutta saarekeratkaisujen ja joustopalveluiden yleistyessä sallittujen laitteistojen ja niiden asetusten määrittely sekä järjestelmien tarkistus ja valvonta on myös hyödyksi jakeluverkkoyhtiöille. Jakeluverkkoyhtiöiden tulisi määritellä ja tiedottaa verkkoalueellaan sijaitsevia loppukäyttäjiä sallituista laitteistoista ja toimintatavoista. Luokkiin 1 ja 2 kuuluvia tuotantolaitteistoja koskeva ilmoitusvelvollisuus voisi myös parantaa näiden järjestelmien sähköturvallisuutta. Viranomaisen tulisi selvittää ilmoitusvelvollisuuden laajentamisen hyötyjä ja vaikutuksia.

Käytössä olevat saarekekäyttömahdollisuudet tulisi kartoittaa sekä niiden toiminnallisuus ja suojauksen toiminta tulisi testata, jotta niitä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi sähköpuolatilanteessa keventämään kuormitusta. Laitteistojen turvallisuudesta ja toiminnallisuudesta huolehtiminen on saarekekäyttömahdollisuuden omistajan vastuulla. Kohteeseen sopiva laitteisto ja sen säännöllinen huolto pidentävät laitteiston käyttöikä ja parantavat siitä saatavia hyötyjä. Lisäksi laitteiston huollon laiminlyönnin takia aiheutuneet vaaratilanteet tai vahingot omaisuudelle eivät välttämättä kuulu vakuutuksen korvauspiiriin.

Saarekekäytön ja erilaisten joustopalveluiden yleistyessä viranomaisen tulisi tarkentaa ja selventää niiden vaikutuksia vakiokorvauksiin erityisesti tilanteissa, joissa jakeluverkkoyhtiö ostaa loppukäyttäjältä toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalvelun tai osallistuu loppukäyttäjän tekemään toimitusvarmuutta parantavaan investointiin. Lisäksi vaikutuksia joustokannustimen hyödyntämiseen tulisi tarkentaa. Lainsäädännöllisiä linjauksia määriteltäessä sekä erilaisia liiketoimintamalleja ja ratkaisuita kehittäessä tulee varmistaa, että sähkönjakelu ja sen hinnoittelu sekä erilaiset palvelut ovat tasapuolisia ja syrjimättömiä loppukäyttäjien kesken. Vastuu lainsäädännöllisistä määrittelyistä on viranomaisella, mutta jakeluverkkoyhtiöiden pitäisi olla mukana määrittelyjä tehtäessä.

Kuluttajien energioresursseihin ja saarekekäyttöön liittyvää tiedotusta tulisi selventää ja lisätä ratkaisuiden yleistyessä. Tiedon tulisi olla helppotajuista sekä sitä tulisi olla helposti saatavilla monista luotettavista lähteistä, kuten jakeluverkkoyhtiöiden, Energiaviraston sekä Motivan verkkosivustoilta. Myös varavoimalaitteistoja omistavien yritysten tulisi huolehtia henkilökunnan ohjeistamisesta varavoimalaitteiston käytössä taloudellisten tappioiden ja henkilövahinkojen välttämiseksi. Asianmukainen ohjeistus on varavoimalaitteiston omistajan vastuulla, jonka tulisi järjestää koulutus järjestelmän käyttäjille järjestelmän toteuttaneelta taholta tai ulkoiselta palveluntarjoajalta.

Loppukäyttäjien saarekeratkaisuille ja niihin liittyville joustopalveluille tulisi kehittää liiketoimintamalleja, joita saarekekäytön omistajat voisivat kehittää yhdessä jakeluverkkoyhtiöiden kanssa. Loppukäyttäjät hyötyisivät myös palveluratkaisusta, jonka loppukäyttäjä voisi ostaa ulkoiselta palveluntarjoajalta. Tällöin loppukäyttäjän olisi yksinkertaisempaa hyödyntää varavoimalaitteistoja ja erilaisia saarekekäyttöratkaisuja sekä tarjota joustopalveluita verkkoyhtiöille. Palveluntarjoajien tulisi kehittää yhdessä jakeluverkkoyhtiöiden kanssa kaikille osapuolille kannattavia palvelumalleja. Muun muassa teollisuusyritykset ja kaupan ala voisivat hyötyä esimerkiksi siirrettävien varavoimalaitteistojen avulla toteutetusta saarekekäytöstä, jonka voisi ostaa palveluna. Erilaisista palveluratkaisusta voisi olla hyötyä myös energiayhteisöiden perustamisessa ja toiminnassa. Neuvonta ja selkeät toimintamallit helpottaisivat energiayhteisöiden perustamista esimerkiksi taloyhtiöissä. Palveluratkaisuiden kehittymistä hidastaa kuitenkin vielä kysynnän puute sekä varavoimalaitteistoihin ja saarekeratkaisuihin liittyvät kustannukset.

Energiayhteisöiden kautta investoinnit energioresursseihin olisivat yksittäiselle kuluttajalle pienemmät, jolloin kynnyksien niiden hankkimiselle pienenee. Energiayhteisöiden avulla loppukäyttäjien on myös mahdollista investoida suurempiin energioresursseihin, mikä on yksikkökustannusten kannalta edullisempaa. Kuluttajien omistamien energioresurssien myötä saarekekäyttö ja erilaiset palvelut jakeluverkkoyhtiölle yleistyvät.

Hajautetuilla energioresursseilla tuotettua energiaa ja joustopalveluita voitaisiin hyödyntää myös paikallisilla energiamarkkinoilla, joilla kuluttajat voisivat käydä keskenään kauppaa. Saarekeverkon ollessa liittyneenä ulkoiseen verkkoon energioresurssien tuottamalla sähköllä tai kysyntäjoustolla voidaan osallistua myös sähkömarkkinoille aggregaattorin avulla. Loppukäyttäjät voivat myös itse kaupata tuottamaansa sähköä virtuaalisen energiayhteisön sisällä. Kuluttajia varten tulisi kehittää markkina-alustoja, joilla kaupankäynti olisi yksinkertaista.

## 8. YHTEENVETO

Hajautettujen energiaressurssien yleistyessä mahdollisuudet hyödyntää saarekekäyttöä lisääntyvät. Saarekeratkaisun voi omistaa esimerkiksi jakeluverkkoyhtiö tai loppukäyttäjä, ja saarekekäytöstä voidaan hyötyä niin taajamassa kuin haja-asutusalueilla.

Saarekekäyttöön tarvitaan siirrettäviä tai kiinteitä energiaressursseja, kuormia sekä verkon- tai energianhallintajärjestelmä. Energiaressurit voivat olla uusiutuvaa tai uusiutumaton energiaa hyödyntäviä tuotantolaitoksia, kuten aurinkovoimaloita tai dieselgeneraattoreita, tai energiavarastoja kuten akustoja. Saarekekäytön aikana saarekkeen sähköntuotannon ja -kulutuksen on oltava tasapainossa, joka voidaan saavuttaa säätämällä saarekkeen energiaressurssien sähköntuotantoa tai muuttamalla sähkönkulutusta esimerkiksi irrottamalla ei-kriittisiä kuormia.

Sähköverkkoyhtiöt hyödyntävät saarekeratkaisuja yleisimmin keskeytyskustannusten pienentämiseen vikakeskeytyksissä tai suunnitelluissa keskeytyksissä. Taloudellista hyötyä voi saada myös verkkoinvestointien lykkääntymisestä tai välttämisestä. Lisäksi saarekekäytöllä on mahdollista vaikuttaa vakiokorvauksiin, jos sähkökatkon kesto saadaan alle 12 tuntiin verkkoyhtiön oman saarekekäytön tai ostetun toimitusvarmuusjoutopalvelun avulla. Nykyisen verkkoliiketoiminnan näkökulmasta maakaapelointi on saarekekäyttöä kustannustehokkaampi vaihtoehto verkon toimitusvarmuuden kehittämiseen, mutta seuraavissa valvontamalleissa tullaan huomioimaan paremmin muutkin ratkaisut.

Loppukäyttäjät hyödyntävät saarekeratkaisuja energiakustannuksissa säästämiseen tai välttääkseen sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuvia haittoja. Energiayhteisöt voivat edistää hajautettujen energiaressurssien hankkimista ja saarekeverkkojen yleistymistä jatkamalla kustannukset energiayhteisön jäsenten kesken. Saarekekäyttöä voidaan hyödyntää kysyntäjoustossa, jolloin loppukäyttäjä vähentää ostoenergian määrää kalliin sähkön hinnan aikana tai siirtää kulutusta hetkelle, jolloin sähkön hinta on edullisempi. Saarekeverkot voivat myös tarjota tukipalveluita kuten osallistumista taajuusreserviin.

Diplomityössä selvitettiin kyselytutkimuksella jakeluverkkoyhtiöillä, kaupan alan yrityksillä, huoltoasemilla ja maatilayrittäjillä käytössä olevia saarekekäyttöjä ja varavoimalaitteistoja sekä niiden hyödyntämistä. Kaupan alan yrityksiltä ja huoltoasemilta saatujen vastausten vähäisyydestä johtuen niiden varavoimalaitteistoista ja niiden saarekekäyttötapauksista ei saatu tehtyä päätelmiä.

Tällä hetkellä saarekekäyttöä hyödynnetään sekä jakeluverkkoyhtiöissä että loppukäyttäjien toimesta eniten erilaisissa keskeytystilanteissa turvaamaan kriittisten kuormien toimintaa tai pienentämään taloudellisia tappioita. Jakeluverkkoyhtiöt hyödynsivät saarekekäyttöä pienentämään keskeytyskustannuksia. Maatilayrittäjillä on oltava eläintensuojelumääräysten ja erilaisten tukien velvoittamana varavoimalaitteisto turvaamaan laitteistojen toimintaa. Osalla maatioista varavoimalaitteistoa käytettiin pienentämään energia-kustannuksia korkean ostoenergian hinnan aikana, mutta tämä ei ollut pääasiallinen syy varavoimalaitteiston hankinnalle.

Yleisimmin käytössä oli polttoainekäyttöisiä varavoimalaitteistoja, jotka otettiin käyttöön manuaalisesti ohjaten lyhyen katkon kautta. Akkupohjaisia ratkaisuja käytettiin vain yksittäisissä tapauksissa, ja ne olivat loppukäyttäjillä vielä harvinaisempia kuin jakeluverkkoyhtiöillä. Siirrettävät varavoimalaitteistot olivat yleisempi ratkaisu, koska niillä on enemmän käyttökohteita kuin kiinteillä varavoimalaitteistoilla. Siirrettävien varavoimalaitteistojen käyttöönotto vie kuitenkin enemmän aikaa, ja varavoimalaitteiston kuljettaminen pitkiä matkoja voi olla haasteellista.

Maatilayrittäjien saarekekäytöillä oli varauduttu pidempiin sähkönjakelun keskeytyksiin kuin jakeluverkkoyhtiöiden saarekekäytöillä. Laitteistojen käyttömäärät olivat yleisimmin muutamasta kerrasta noin kymmeneen kertaan vuodessa. Erityisesti maakaapelointi haja-asutusalueilla oli vähentänyt laitteistojen käyttötarvetta. Haasteet saarekekäytössä liittyivät varavoiman riittävyyteen, varavoimalaitteiston riittävään vikavirran syöttökykyyn, polttoaineen riittävyyteen sekä maatilayrittäjien osalta riittämättömään ohjeistukseen, vaikka osassa yhtiöistä tarjottiin neuvontaa varavoimalaitteistoihin liittyen.

Verkkoyhtiöillä ei ollut tarkkaa tietoa verkkoalueellaan sijaitsevista asiakkaiden saarekekäyttöratkaisuista, koska verkosta erillään toimivista varavoimalaitteistoista ei ole ilmoitusvelvollisuutta. Myös maatilayrittäjien vastauksista ilmeni, ettei suurin osa ollut ilmoittanut varavoimalaitteistostaan alueellaan toimivalle jakeluverkkoyhtiölle.

Kyselyn perusteella jakeluverkkoyhtiöt olisivat valmiita hyödyntämään ja maatilayrittäjät tarjoamaan toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluita, jos niiden kustannukset olisivat kummallekin osapuolelle liiketaloudellisesti kannattavia sekä toteutus teknisesti toimiva. Saarekekäytön taloudellista kannattavuutta arvioitiin kyselyssä ilmenneiden yleisimpien käyttötapausten sekä kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Jakeluverkkoyhtiön saarekekäytöstä saatava säästö oli esimerkkiverkon tapauksessa 100–600 € vuodessa riippuen keskeytysten määrästä.



Kyselyn pohjalta tarkasteltiin myös toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalvelun kannattavuutta jakeluverkkoyhtiön kannalta. Koska maatilayrittäjät eivät olleet ottaneet investointikustannuksia huomioon arvioidessaan palvelun hintaa, se arvioitiin varavoimalaitteiston kuluttaman polttoaineen hinnan perusteella. Dieselaggregaatin käyttökustannuksiksi saatiin tuotetun energian mukaan 0,5–0,8 €/kWh. Nimellistehoaltaan 100 kW dieselaggregaatin tuntikohtaiseksi käyttökustannukseksi ja siten tarjotun palvelun hinnaksi saatiin esimerkkiverkon tapauksessa laitteiston polttoaineenkulutuksesta riippuen 50–80 €/h. Esimerkkiverkon tapauksessa keskeytyskustannukset tunnin kestäväälle keskeytykselle olivat vikakeskeytyksen tapauksessa 88,52 € ja suunnitellun keskeytyksen tapauksessa 48,72 €.

Verkkoyhtiön näkökulmasta asiakkaan tarjoaman palvelun hyödyntämisestä olisi mahdollista saada kustannussäästöjä vikakeskeytysten aikana. Suunnitellun keskeytyksen yhteydessä saarekekäytön hyödyntäminen ei olisi kustannusten kannalta järkevää verkkoyhtiön näkökulmasta. Loppukäyttäjän kannalta saarekekäyttöön siirtyminen on kannattavaa aina keskeytyksen sattuessa, jotta vältytään sähkönjakelun keskeytyksen aiheuttamilta haitoilta.

Sähkön tuottaminen saarekkeessa dieselkäyttöisillä varavoimalaitteistoilla korkean ostotoenergian hinnan aikaan todettiin olevan kannattavaa, jos ostosähkön hinta on yli 50–80 snt/kWh riippuen varavoimalaitteiston polttoaineenkulutuksesta. Potentiaalisesti keinoksi pienentää energiakustannuksia arvioitiin myös akuston hyödyntäminen sähkön hinnan vaihteluiden mukaan tai itse tuotetun uusiutuvan energian varavoiminen käytettäväksi korkean sähkön hinnan aikana.

Saarekekäytön laajempi hyödyntäminen vaatii vielä toimenpiteitä muun muassa jakeluverkkoyhtiöiltä, viranomaiselta, palveluntarjoajilta sekä saarekekäyttäjien omistajilta. Eri-alaisten saarekeratkaisuiden ja loppukäyttäjien tarjoamien joustopalveluiden yleistyessä järjestelmien ja toimintatapojen valtakunnallisen tason määrittelyn tärkeys korostuu. Joustopalveluita tarjoavien loppukäyttäjien tasapuolista kohtelua ajatellen säädöksiin on tehtävä tarkennuksia saarekekäytön ja joustopalveluiden vaikutuksista vakiokorvauksiin sekä joustokannustimen hyödyntämiseen. Sallitut laitteistot sekä niiden asetukset on määriteltävä erilaisten laitteistojen ja saarekeratkaisuiden turvallisuuden varmistamiseksi. Saarekeratkaisuiden ja varavoimalaitteistojen sähköturvallisuutta voitaisiin parantaa myös laajentamalla ilmoitusvelvollisuus luokan 1 ja 2 laitteistoihin, mutta toimenpiteen vaikutuksia tulisi selvittää kokonaisvaltaisemmin. Laitteistojen turvallisuudesta ja toiminnallisuudesta huolehtiminen on saarekekäyttömahdollisuuden omistajan vastuulla,

mutta järjestelmien turvallisuuden sekä toimivuuden tarkastaminen on myös jakeluverkkoyhtiöiden kannalta tärkeää etenkin niiden hyödyntäessä loppukäyttäjien saarekeratkaisuja esimerkiksi toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluna.

Sekä jakeluverkkoyhtiöiden että loppukäyttäjien saarekeratkaisuilla on hyödyntämispotentiaalia toimitusvarmuuden parantamisessa haja-asutusalueilla, mutta niille tulisi kehittää liiketoiminta- ja sopimusmalleja. Lisäksi jakeluverkkoyhtiöiden hyödyntäessä loppukäyttäjien saarekeratkaisuita toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustopalveluihin omistajuus- ja vastuunjakokysymyksiä tulee selvittää.

Loppukäyttäjien kannalta saarekeratkaisuiden yleistymistä hidastaa liiketoiminta- ja palvelumallien puutteen lisäksi tiedon puute sekä investointien suuruus. Ulkoiselta palveluntarjoajalta ostettavat palvelut varavoima- ja saarekeratkaisuille sekä energiayhteisöille voisivat helpottaa loppukäyttäjien osallistumista energiamarkkinoille sekä parantaa toimitusvarmuutta. Tietoa ja neuvontaa energiaresursseista, saarekekäytöstä sekä energiayhteisöistä tulisi olla helposti saatavilla eri lähteistä. Lisäksi varavoimalaitteistoja omistavien yritysten tulisi huolehtia henkilökunnan ohjeistamisesta taloudellisten tappioiden ja henkilövahinkojen välttämiseksi. Investointien suuruuteen voidaan puolestaan vaikuttaa yksittäisen loppukäyttäjän kannalta esimerkiksi energiayhteisöillä. Eri toimijoiden tulisi osallistua saarekekäyttöjen kehittämiseen sekä varautua sähkökatkoihin varavoimalaitteistoilla tukeakseen yhteiskunnan toimintaa.

## LÄHTEET

Abu-Sharkh, S., Arnold, R. J., Kohler, J., Li, R., Markvart, T., Ross, J. N., Steemers, K., Wilson, P. & Yao, R. (2006). Can microgrids make a major contribution to UK energy supply?. *Renewable & sustainable energy reviews*, Vol.10 (2). pp. 78–127.

Adefarati, T., Bansal, R. C., Bettayeb, M. & Naidoo, R. (2022). Technical, economic, and environmental assessment of the distribution power system with the application of renewable energy technologies. *Renewable energy*, Vol.199. pp. 278–297.

AGCO Power. (2017). VP-sarja. Saatavilla (viitattu 18.7.2023): [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiP2Lj8va7\\_AhWaR\\_EDHcMLAgw4MhA-WegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.agcopower.com%2Fwp-content%2Fuploads%2FVP\\_sarja.pdf&usg=AOvVaw2WYVSf92hUuG9CtpxdrGPW](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiP2Lj8va7_AhWaR_EDHcMLAgw4MhA-WegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.agcopower.com%2Fwp-content%2Fuploads%2FVP_sarja.pdf&usg=AOvVaw2WYVSf92hUuG9CtpxdrGPW)

Alaperä, I., Hakala, T., Honkapuro, S., Manner, P., Pylvänäinen, J., Kaipia, T. & Kulla, T. (2019). Battery system as a service for a distribution system operator. *CIREC Conference*. 5 p.

Antikainen, J., Repo, S. & Järventausta, P. (2009). Designing intended island operation in distribution networks. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähköenergiatekniikan laitos. 29 s.

Asetus 375/2011: Valtioneuvoston asetus broilereiden suojelusta. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavilla (viitattu 24.5.2023): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110375>

Asetus 405/2017: Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavilla (viitattu 24.5.2023): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170405>

Asetus 610/2023: Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavilla (viitattu 24.5.2023): <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230610#Pidm45843169623296>

Borg, S. (i.a.). Kyselylomakkeen laatiminen. Saatavilla (viitattu 2.5.2023): <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/kyselylomake/laatiminen/>

Debusschere, V., Utrilla, C., Palacios, N. A., Mandelli, S., Sigrist, L. & André, R. (2018). Technical requirements for the operation of microgrids in both interconnected and islanded modes. *CIREC*. 166 p.

Energian hinnat. (2023). Sähkön keskimääräinen kuluttajahinta nousi uuteen ennätykseen vuoden 2022 viimeisellä neljänneksellä. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavilla (viitattu 22.8.2023): <https://www.stat.fi/julkaisu/cl8lal5p5lsmd0cw1981ta2nc>

Energiateollisuus. (2020). Sähkön keskeytystilastot 2010–2019. Saatavilla (viitattu 17.7.2023): [https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/sahkon\\_keskeytystilastot\\_2010-2019.html#material-view](https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/sahkon_keskeytystilastot_2010-2019.html#material-view)

Energiavirasto. (i.a.-a). Verkkoliiketoiminnan luvanvaraisuus. Saatavilla (viitattu 28.6.2023): <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-luvanvaraisuus>

Energiavirasto. (i.a.-b). Verkkotoiminnan julkaisut. Saatavilla (viitattu 31.5.2023): <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>

Energiavirasto. (2021a). Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla - Sähkön jakeluverkkotoiminta. Saatavilla (viitattu 29.6.2023): [https://energiavirasto.fi/hinnoittelun-valvonta#sahkoverkkotoiminnan\\_kohtuullisen\\_hinnoittelun\\_laskelmat](https://energiavirasto.fi/hinnoittelun-valvonta#sahkoverkkotoiminnan_kohtuullisen_hinnoittelun_laskelmat)

Energiavirasto. (2021b). Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2021 (excel). Saatavilla (viitattu 31.5.2023): [https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/S%C3%A4hk%C3%B6verkon\\_tekniset\\_tunnusluvut\\_2021.xlsx/99814498-f505-850e-94fe-3afea9793d28?t=1666868431770](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12862527/S%C3%A4hk%C3%B6verkon_tekniset_tunnusluvut_2021.xlsx/99814498-f505-850e-94fe-3afea9793d28?t=1666868431770)

Energiavirasto. (2022). Sähköverkon yksikköhinnat 2022–2023 (excel). Saatavilla (viitattu: 15.8.2023): [https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/S%C3%A4hk%C3%B6verkot\\_Yksikk%C3%B6hinnat+J%C3%A4mf%C3%B6rpriser+2022-2023.xlsx/5b3437a9-5b3d-03c7-f5a2-fbf68248b0de?t=1640157186109](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/S%C3%A4hk%C3%B6verkot_Yksikk%C3%B6hinnat+J%C3%A4mf%C3%B6rpriser+2022-2023.xlsx/5b3437a9-5b3d-03c7-f5a2-fbf68248b0de?t=1640157186109)

Energiavirasto. (2023). Valvontamenetelmät kuudennella 1.1.2024 – 31.12.2027 ja seitsemännellä 1.1.2028 – 31.12.2031 valvontajaksolla. 101 s.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001 uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti. Saatavilla (viitattu 13.3.2023): <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2019/944 sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä ja direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti. Saatavilla (viitattu 13.3.2023): <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj>

Faure, M., Salmon, M., El Fadili, S. & Payen, L. (2017). Urban microgrids - Overview, challenges and opportunities. 55 p.

Gao, D. W. (2015). Energy Storage for Sustainable Microgrid. Elsevier. 142 p.

Hakanen, P., Hakala, P. & Lehman, E. (2019). Varavoimakoneet ja -laitokset (4., uudistettu painos.). Sähkötieto. 230 s.

Han, X., Zhang, H., Yu, X. & Wang, L. (2016). Economic evaluation of grid-connected micro-grid system with photovoltaic and energy storage under different investment and financing models. Applied energy, Vol.184. pp. 103–118.

Hildén, A. & Kettunen, M. (2021). LEMENE-mikroverkon sähkön laadun mittaukset ja saarekekäyttö. Saatavilla (viitattu 31.5.2023): <http://www.senecc.fi/lemene-mikroverkon-sahkon-laadun-mittaukset-ja-saarekekaytto/about>

Hirsch, A., Parag, Y. & Guerrero, J. (2018). Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. Renewable & sustainable energy reviews, Vol.90. pp. 402–411.

Husein, M. & Chung, I.-Y. (2018). Optimal design and financial feasibility of a university campus microgrid considering renewable energy incentives. *Applied energy*, Vol.225. pp. 273–289.

IEEE Std 1547.4-2011. IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems. IEEE. pp. 1–54.

IEEE Std 2030.9-2019. IEEE Recommended Practice for the Planning and Design of the Microgrid. IEEE. pp. 1–46.

Kainulainen, M. 2019. Haja-asutusalueen jakeluverkkoa tukevien akkuvarastojen hyödyntämispotentiaali Elenian verkkoalueella. Diplomityö. Tampereen yliopisto. 59 s.

Kaustell, K., Huitu, H., Kivinen, T., Laajalahti, M., Nikander, J., Näkkilä, J., Palmio, A., Pastell, M., Suokannas, A., Tuhkanen, EM., Tuunainen, P. & Vasara, E. (2017). Sähkönjakeluhäiriöiden vaikutukset elintarviketuotannon jatkuvuuteen. Luonnonvarakeskus. 69 s.

Keckman-Koivuniemi, H. (i.a.). Aineistotyytit. Saatavilla (viitattu 2.5.2023): <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/aineistotyytit/aineistotyytit/>

Kohti toimintavarmaa myymäläverkkoa. (2021). Varmuuden vuoksi 13.10.2021. Saatavilla (viitattu 17.11.2022): <https://www.varmuudenvuoksi.fi/artikkeli/kohti-toimintavarmaa-myymalaverkkoa>

Kolehmainen, M. (2019). Energiayhteisöjen toimintamallit ja lainsäädäntö Suomessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 120 s.

Kumpulainen, L., Laaksonen, H., Komulainen, R., Martikainen, A., Lehtonen, M., Heine, P., Silvast, A., Imris, P., Partanen, J., Lassila, J., Kaipia, T., Viljainen, S., Verho, P., Järventausta, P., Kivikko, K., Kauhaniemi, K., Lågland, H. & Saaristo, H. (2006). Verkkovisio 2030 Jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio. Espoo VTT Tiedotteita – Research Notes. 88 s.

Lana A., Kaipia T., Pinomaa A., Nuutinen P., Narayanan A. & Partanen J. (2017). LVDC network integrated functionalities for demand response. 2017 IEEE Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM). pp. 262–269.

Lehtiniemi, K. (2018). Häiriötilanteessa Suomeen tarvitaan 70 hätävirralla toimivaa huoltoasemaa, nyt niitä on vain neljä – Miten löpö maksettaisiin?. MTV Uutiset. Saatavilla (viitattu 17.11.2022): <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/hairioutilanteessa-suomeen-tarvitaan-70-hatavirralla-toimivaa-huoltoasemaa-nyt-niita-on-vain-nelja-miten-lopo-maksettaisiin/6719142#gs.igrp3x>

Lempäälän Energia. (i.a.). LEMENE-esite. Saatavilla (viitattu 26.1.2023): [http://www.lempaalanenergia.fi/files/upload\\_pdf/21540/LEMENE%20esite.pdf](http://www.lempaalanenergia.fi/files/upload_pdf/21540/LEMENE%20esite.pdf)

Linnasalmi, M. (2018). Fingrid saa Sellosta uuden reservikohteen. Fingrid-lehti. Saatavilla (viitattu 3.4.2023): <https://www.fingridlehti.fi/fingrid-saa-sellosta-uuden-reservikohteen/>

Mikkonen, R. (2020). Polttokennot ja vetyteknologia. Luentomoniste. 91 s.

Myymälöiden häiriönsietokykyä parannetaan laajassa projektissa. (2022). Kaupan liitto 1.6.2022. Saatavilla (viitattu 22.11.2022): <https://kauppa.fi/uutishuone/2022/06/01/myymaloiden-hairionsietokyky-parannetaan-laajassa-projektissa/>

Niemimaa, N. (2020). Joustokannustin jakeluverkkoliiketoiminnan valvontamallissa kuudennella valvontajaksolla. Tampereen yliopisto. 102 s.

Nord Pool. (2023). Day-ahead prices. Saatavilla (viitattu 31.8.2023): <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Hourly/?dd=FI&view=table>

Nuutinen P., Kaipia, T., Peltoniemi, P., Lana, A., Pinomaa, A., Salonen, P., Partanen, J., Lohjala, J. & Matikainen, M. (2013). Experiences from use of an LVDC system in public electricity distribution. CIRED Conference. 4 p.

Pahkala, T., Uimonen, H. & Väre, V. (2018). Joustava ja asiakaskeinen sähköjärjestelmä - Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. 40 s.

Partanen, J. (2018). Sähkönsiirtohinnot ja toimitusvarmuus. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu. Energia 43/2018. 71 s.

Partanen, J., Lassila, J. & Haakana, J. (2020). Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan sääntely ja kehittäminen. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. 69 s.

Planas, E., Andreu, J., Gárate, J. I., Martínez de Alegría, I. & Ibarra, E. (2015). AC and DC technology in microgrids: A review. Renewable & sustainable energy reviews, Vol.43. pp. 726–749.

Polttonesteiden kuluttajahinnat. (2023). Helsinki: Tilastokeskus. Saatavilla (Viitattu 18.7.2023): [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ehi/statfin\\_ehi\\_pxt\\_12ge.px/table/tableViewLayout1/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_12ge.px/table/tableViewLayout1/)

Puutukkuri. (i.a.). Timco TCLE5500SDG 400V diesel aggregaatti. Saatavilla (viitattu 18.7.2023): <https://puutukkuri.fi/tuotteet/516/>

Rajesh, R. & Carolin Mabel, M. (2015). A comprehensive review of photovoltaic systems. Renewable & sustainable energy reviews, Vol.51. pp.231–248.

Repo, S. (2019). Distributed energy resources in electricity networks: Impacts of DG on reliability. Luentokalvot. 33 s.

Ruokavirasto. (2020). Eläinten hyvinvointikorvauksen sitomusehdot 2021. Saatavilla (viitattu 24.5.2023): <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/elaintuet/elainten-hyvinvointikorvaus/elainten-hyvinvointikorvauksen-sitomusehdot/elainten-hyvinvointikorvauksen-sitomusehdot-2021/#id-sahkontuotannon-varajarjestelma>

Ruokavirasto. (2023). Nautojen ehdot (eläinten hyvinvointikorvauksen sitomusehdot 2023). Saatavilla (viitattu 24.5.2023): <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/elaintuet/elainten-hyvinvointikorvaus/ehk-naudat/EHK-naudat-2023/>

Sener. (2001). Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon. 25 s.

Shahparasti, M., Laaksonen, H., Kauhaniemi, K., Lauttamus, P., Strandberg, S. & Strandberg, J. (2022). Inrush Current Management During Medium Voltage Microgrid Black Start With Battery Energy Storage System. IEEE access, Vol.10. pp. 42273–42282.

Siukola, T. (2023). Keskeytyskustannusten ja vakiokorvausten muodostuminen. Sähköpostikeskustelu 28.8.2023. Viestin saaja: Pertti Järventausta.

Soshinskaya, M., Crijns-Graus, W. H. J., Guerrero, J. M. & Vasquez, J. C. (2014). Microgrids: Experiences, barriers and success factors. *Renewable & sustainable energy reviews*, Vol.40. pp. 659–672.

Stadler, M., Cardoso, G., Mashayekh, S., Forget, T., DeForest, N., Agarwal, A. & Schönbein, A. (2016). Value streams in microgrids: A literature review. *Applied energy*, Vol.162 (C). pp. 980–989.

Suihkonen, R. (2022). Suomeen 300 kauppaa, joita sähkökatkot eivät lamauta. *Keskisuomalainen* 25.4.2022.

Sähkömarkkinalaki 2013/588. Saatavilla (viitattu 15.8.2023): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O5L13P100>

Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu & VTT. (2021). Prosumer Centric Energy Communities towards Energy Ecosystem (ProCemPlus). Tampereen yliopisto. 80 s.

Tolvanen, P. (2022). Sähkökatko pysäyttäisi lähes kaikki bensapumput Suomessa – huoltoasemia on yritetty suojata katkoilta kohta kymmenen vuotta lainoin tuloksin. *Yle*. Saatavilla (viitattu 17.11.2022): <https://yle.fi/a/3-12535915>

Uski, S., Rinne, E. & Sarsama, J. (2018). Microgrid as a cost-effective alternative to rural network underground cabling for adequate reliability. *Energies (Basel)*, Vol.11 (8). 16 p.

Vihavainen, P & Tkachenko, E. (2022). Selvitys keskeytyksen aiheuttaman haitan kustannuksista. AFRY Management Consulting Oy. 44 s.

Wang, R., Hsu, S.-C., Zheng, S., Chen, J.-H. & Li, X. I. (2020). Renewable energy microgrids: Economic evaluation and decision making for government policies to contribute to affordable and clean energy. *Applied energy*, Vol.274, Article 115287. 11 p.

# LIITE A: KYSELY JAKELUVERKKOYHTIÖILLE

Kysely sähköverkkoyhtiöille saarekeratkaisuista, niiden käytöstä ja hyödyntämisestä tulevaisuudessa

\* Pakollinen

Verkkoyhtiön omat saarekeratkaisut

1. Vastaajan nimi ja asema sekä yrityksen nimi \*

2. Onko yrityksenne toteuttanut verkkoalueellaan tilapäisiä sähköverkon suunniteltuja saarekkeita?

Kyselyssä otetaan huomioon kaikilla jännitetasoilla sijaitsevat saarekekäytöt. Saarekkeena voi toimia esimerkiksi kokonainen keski- tai pienjännitelähtö, pienjännitteinen muuntopiiri tai keskijännitehaara. Saarekkeen energiasurssit voivat olla muun muassa sekä kiinteät että siirrettävät aggregaattit, generaattorit, akustot tai UPS-järjestelmät. Kyselyssä ei kuitenkaan oteta huomioon kiinteistöjen taloteknisiä turvajärjestelmiä, joita ovat esimerkiksi paloilmoin- ja turvavalaisusjärjestelmät.

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

3. Aikooko yrityksenne rakentaa tulevaisuudessa edellytyksiä hyödyntää tilapäisiä sähköverkon saarekkeita verkkoalueellaan? \*

- Kyllä
- Ei
- Ei vielä ajankohtaista
- Ei vielä tiedossa
- En osaa sanoa

4. Aikooko yrityksenne rakentaa tulevaisuudessa lisää sähköverkon saarekekäytön mahdollisuuksia verkkoalueelleen?

- Kyllä
- Ei
- Ei vielä ajankohtaista
- Ei vielä tiedossa
- En osaa sanoa

5. Millaisia energiasurssit saarekekäytön mahdollistamiseksi käytetään? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Kiinteät varavoimalaitteistot
- Siirrettävät varavoimalaitteistot
- Kiinteät akkuväzäzot
- Siirrettävät akkuväzäzot
- UPS-järjestelmät
- Muu



6. Millä jännitetasolla saarekekäyttömahdollisuudet sijaitsevat? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Pienjännite  
 Keskiäännite  
 Suurjännite  
 En osaa sanoa

7. Mitä tarkoitusta varten yrityksenne on rakentanut saarekekäytön mahdollisuuksia? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Suunniteltuja työkeskeytyksiä varten, kuten esimerkiksi jakelumuntajan vaihto  
 Keskeytystilanteiden hallintaa varten sisältäen kaikki saarekkeen kuormat (vrt. alla, jossa puhutaan erityisesti keskeytysherkästä kuormasta)  
 Keskeytysherkän kuorman turvaamiseksi esimerkiksi tehopulatilanteissa  
 Verkon vahvistusinvestointien vaihtoehtona pölkkeustilanteiden hallinnan tukena  
 Muu

8. Miten usein saarekkeita on hyödynnetty?

9. Miten pitkään keskeytykseen saarekekäytössä on varauduttu?

10. Miten saarekekäyttöön siirrytään? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Suoraan, ilman sähkökatkoa  
 Lyhyen sähkökatkon kautta  
 En osaa sanoa  
 Muu

11. Miten saarekekäytöstä kytketään takaisin syöttävään verkkoon? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Suoraan, ilman sähkökatkoa  
 Lyhyen sähkökatkon kautta  
 En osaa sanoa  
 Muu

12. Tehdäänkö varavoimailteistojen ohjaukset manuaalisesti, paikallisautomaatiolla tai onko niissä etäohjaus ja -monitorointimahdollisuus? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Manuaalisesti  
 Paikallisautomaatiolla  
 Etäohjauksen ja -monitoroinnin avulla  
 En osaa sanoa  
 Muu

13. Voidaanko kuormia ohjata saareketilan aikana?

Kuormien ohjauksella tarkoitetaan sitä, että saareketilan aikana voidaan valikoida tai vaihtaa kuormia, joille syötetään sähköä.

- Kyllä  
 Ei  
 En osaa sanoa

14. Mitä kuormia voidaan ohjata ja miten?

15. Miten sähköturvallisuus ja suojausten toimivuus varmistetaan siirryttäessä saarekekäyttöön, saarekekäytön aikana ja kytkeydyttäessä takaisin syöttävään verkkoon?

16. Miten usein teette varavoimalaitteistojen toiminnallisuuden testausta?

- Useammin kuin puolen vuoden välein
- Puolen vuoden välein
- Kerran vuodessa tai harvemmin
- Ei testata
- En osaa sanoa

17. Millaisia haasteita verkkoyhtiön omista saarekekäyttölanteissa on ollut?

**Yhtiön verkkoalueella olevien asiakkaiden omistamien varavoimalaitteistojen mahdollistamien saarekekäyttöjen hyödyntäminen**

18. Onko verkkoalueellanne asiakkaiden omistamia varavoimalaitteistoja, joita voidaan käyttää saarekekäytössä? \*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

19. Miten paljon yrityksenne verkkoalueella on asiakkaiden omistamia varavoimalaitteistoja, joita voidaan käyttää saarekekäytössä?

20. Millaisia haasteita asiakkaiden saarekekäyttölanteissa on ollut?

21. Ottavatko asiakkaat yrityksenne yhteyttä omia varavoimaratkaisuja suunnitellessaan? \*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

22. Millaisia asioita tässä yhteydessä käsitellään?

23. Tarjoaako yrityksenne neuvontaa asiakkaiden omiin varavoimaratkaisuihin? \*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

24. Millaista neuvontaa yrityksenne tarjoaa?

25. Miten paljon olisitte valmiita maksamaan korvauksia asiakkaalle, jos voisitte hyödyntää heidän varavoima- tai saarekeratkaisujaan verkon kapasiteetti- tai toimitusvarmuusjoustoihin?

**Saarekekäytön kehitystarpeet ja mahdollisuudet**

27. Millaisia kehitystarpeita ja mahdollisuuksia näette varavoiman ja saarekekäytön laajempaan hyödyntämiseen sekä toiminnan kehittämiseen?

28. Vapaa sana: palautetta ja ajatuksia esimerkiksi kyselystä, varavoimasta, saarekekäytöstä tai niiden nykytilasta ja hyödyntämisestä tulevaisuudessa.

# LIITE B: KYSELY MAATILAYRITTÄJILLE

Kysely maatioille varavoimalaitteistoista, niiden käytöstä sekä hyödyntämisestä tulevaisuudessa

\* Pakollinen

Varavoimalaitteistot ja niiden käyttökokemukset

1. Mikä on tilanne tuotantosuunta? \*

2. Minkä verkkoyhtiön alueella tilanne sijaitsee?

3. Onko tilallanne käytössä varavoimalaitteistoja?

Kyselyssä ei oteta huomioon kiinteistön taloteknisiä turvajärjestelmiä, joita ovat esimerkiksi paloilmoin- ja turvavalaistusjärjestelmät.

\*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

4. Aiotteko hyödyntää varavoimalaitteistoja tulevaisuudessa? \*

- Kyllä
- Ei
- Ei vielä ajankohtaista
- Ei vielä tiedossa
- En osaa sanoa

5. Mitä siirrettäviä tai kiinteitä varavoimalaitteistoja aiotte hyödyntää tulevaisuudessa? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Kiinteä aggregaatti tai generaattori
- Siirrettävä aggregaatti tai generaattori
- Kiinteä akusto
- Siirrettävä akusto
- UPS
- En osaa sanoa
- Muu

6. Mitä siirrettäviä tai kiinteitä varavoimalaitteistoja teillä on käytössä? (Vastaattehan jokaisen varavoimalaitteiston osalta.)

Kyselyssä ei oteta huomioon kiinteistön taloteknisiä turvajärjestelmiä, joita ovat esimerkiksi paloilmoin- ja turvavalaistusjärjestelmät.

	En osaa sanoa	Ei ole	1	2	3-4	5 tai enemmän
Kiinteä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kiinteä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
UPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Kuinka suuria varavoimalaitteistot ovat nimellisteholtaan? (Vastaattehan jokaisen varavoimalaitteiston osalta.)

	En osaa sanoa	Ei ole	Alle 10 kW	10 kW -	100 kW -	1000 kW -	Yli 2000 kW
Kiinteä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kiinteä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
UPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Mikä on tilanne jakeluverkon liittymispisteen liittymän koko ja sähkönkulutuksenne vuosienergiat?

9. Aiotteko hankkia seuraavan 5 vuoden sisällä lisää varavoimalaitteistoja? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Kiinteän aggregaatin tai generaattorin
- Siirrettävän aggregaatin tai generaattorin
- Kiinteän akuston
- Siirrettävän akuston
- UPS-järjestelmän
- Ei hankita uusia varavoimalaitteistoja
- Ei ole vielä ajankohtaista
- Ei ole vielä tiedossa
- En osaa sanoa
- Muu

10. Minkä takia olette hankkineet varavoimalaitteistoja? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Lainsäädäntö velvoittaa hankkimaan varavoimalaitteiston
- Sähkön riittävyyden turvaaminen eläinten hyvinvointia ylläpitävien laitteiden toiminnan takia
- Taloudellisista syistä
- Sähkönlaadun parantamiseksi
- Käyttöturvallisuuden parantamiseksi
- En osaa sanoa
- Muu

11. Jos vastasitte hankkineenne varavoimalaitteiston lainsäädännöllisistä syistä, mikä säädös velvoitti hankkimaan varavoimalaitteiston?

12. Missä tilanteissa varavoimalaitteistoja on käytetty? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Syöttävän verkon vikatilanteissa
- Suunniteltujen käyttökeskeytysten yhteydessä
- Korkean ostoenegian hinnan aikana pienentämään energiakustannuksia
- Tehopulan aikana keventämään verkon kuormitusta
- En osaa sanoa
- Muu

13. Miten usein varavoimalaitteistoja on käytetty?

14. Miten pitkään sähkönjakelun keskeytykseen varavoimalaitteistolla on varauduttu?

15. Miten saarekekäyttöön siirrytään? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

Sähköverkon saarekekäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa sähköverkon osa erotetaan suunnitellusti muusta sähköverkosta itsenäisesti toimivaksi saarekkeeksi. Esimerkiksi maatia, jolla on toiminnassa varavoimalaitteisto sähkönjakelun keskeytyksen aikana, on saarekekäytössä.

- Suoraan, ilman sähkökatkoa
- Lyhyen sähkökatkon kautta
- En osaa sanoa
- Muu

16. Miten saarekekäytöstä kytkeydytään takaisin syöttävään verkkoon? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Suoraan, ilman sähkökatkoa
- Lyhyen sähkökatkon kautta
- En osaa sanoa
- Muu

17. Tehdäänkö varavoimalaitteistojen ohjaukset manuaalisesti, paikallisautomaatiolla tai onko niissä etäohjaus ja -monitorointimahdollisuus? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Manuaalisesti
- Paikallisautomaatiolla
- Etäohjauksen ja -monitoroinnin avulla
- En osaa sanoa
- Muu

18. Voidaanko kuormia ohjata saareketilan aikana?

Kuormien ohjauksella tarkoitetaan sitä, että saareketilan aikana voidaan valikoida tai vaihtaa kuormia, joille syötetään sähköä. \*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

19. Mitä kuormia voidaan ohjata ja miten?

20. Miten olette varmistaneet, että laitteistonne täyttää sähköturvallisuusvaatimukset?

21. Miten sähköturvallisuus ja suojauksen toimivuus varmistetaan siirryttäessä saarekekäyttöön, saarekekäytön aikana ja kytkeydyttäessä takaisin syöttävään verkkoon?

22. Miten usein teette varavoimalaitteistojen toiminnallisuuden testausta?

- Useammin kuin puolen vuoden välein
- Puolen vuoden välein
- Kerran vuodessa tai harvemmin
- Ei testata
- En osaa sanoa

23. Oletteko ilmoittaneet alueellanne toimivalle verkkoyhtiölle varavoimalaitteistanne?

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

24. Olisitteko valmiit siirtymään saarekkeeseen, jos verkkoyhtiö niin pyytäisi (esimerkiksi keventämään verkon kuormitusilannetta)?

Sähköverkon saarekekäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa sähköverkon osa erotetaan suunnitellusti muusta sähköverkosta itsenäisesti toimivaksi saarekkeeksi. Esimerkiksi maatila, jolla on toiminnassa varavoimalaitteisto sähköjakelun keskeytyksen aikana, on saarekekäytössä.

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

25. Miten paljon teidän tulisi saada korvausta per tunti tällaisesta saarekkeeseen siirtymisestä?

26. Millaisia haasteita varavoimalaitteistojen käyttötilanteissa on ollut?

#### Saarekekäytön kehitystarpeet ja mahdollisuudet

27. Millaisia kehitystarpeita ja mahdollisuuksia näette varavoiman ja saarekekäytön laajempaan hyödyntämiseen sekä toiminnan kehittämiseen?

28. Vapaa sana: palautetta ja ajatuksia esimerkiksi kyselystä, varavoimasta, saarekekäytöstä tai niiden nykytilasta ja hyödyntämisestä tulevaisuudessa.

# LIITE C: KYSELY KAUPAN ALAN YRITYKSILLE JA HUOLTOASEMILLE

Kysely kaupan alan yrityksille ja  
huoltoasemille varavoimalaitteistoista ja  
niiden saarekekäytöstä

\* Pakollinen

Varavoimalaitteistot ja niiden käyttökemukset

1. Mitä toimialaa yrityksenne edustaa? \*

2. Minkä verkkoyhtiön alueella yrityksenne sijaitsee?

3. Onko yrityksellänne käytössä varavoimalaitteistoja?

Kyselyssä ei oteta huomioon kiinteistön taloteknisiä turvajärjestelmiä, joita ovat esimerkiksi paloilmoin- ja turvavalvostusjärjestelmät.

\*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

4. Aikooko yrityksenne hyödyntää varavoimalaitteistoja tulevaisuudessa? \*

- Kyllä
- Ei
- Ei vielä ajankohtaista
- Ei vielä tiedossa
- En osaa sanoa

5. Mitä siirrettäviä tai kiinteitä varavoimalaitteistoja yrityksenne aikoo hyödyntää tulevaisuudessa? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Kiinteä aggregaatti tai generaattori
- Siirrettävä aggregaatti tai generaattori
- Kiinteä akusto
- Siirrettävä akusto
- UPS
- En osaa sanoa
- Muu



6. Mitä siirrettäviä tai kiinteitä varavoimälaitteistoja yrityksellänne on käytössä? (Vastaattehan jokaisen varavoimälaitteiston osalta.)

Kyselyssä ei oteta huomioon kiinteistön taloteknisiä turvajärjestelmiä, joita ovat esimerkiksi paloilmoitin- ja turvalaistujärjestelmät.

	En osaa sanoa	Ei ole	1	2	3-4	5 tai enemmän
Kiinteä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kiinteä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
UPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Kuinka suuria varavoimälaitteistot ovat nimellisteholtaan? (Vastaattehan jokaisen varavoimälaitteiston osalta.)

	En osaa sanoa	Ei ole	Alle 10 kW	10 kW -	100 kW -	1000 kW -	Yli 2000 kW
Kiinteä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä aggregaatti tai generaattori	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kiinteä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siirrettävä akusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
UPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Mikä on yrityksenne jakeluverkon liittymispisteen liittymän koko ja sähkönkulutuksen vuosienenergia?

9. Aikooko yrityksenne hankkia seuraavan 5 vuoden sisällä lisää varavoimälaitteistoja? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Kiinteän aggregaatin tai generaattorin
- Siirrettävän aggregaatin tai generaattorin
- Kiinteän akuston
- Siirrettävän akuston
- UPS-järjestelmän
- Ei hankita uusia varavoimälaitteistoja
- Ei ole vielä tiedossa
- En osaa sanoa
- Muu

10. Minkä takia olette hankkineet varavoimälaitteistoja? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Lainsäädäntö velvoittaa hankkimaan varavoimälaitteiston
- Taloudellisista syistä
- Sähkönlaadun parantamiseksi
- Käyttöturvallisuuden parantamiseksi
- En osaa sanoa
- Muu

11. Jos vastasitte hankkineenne varavoimailaiteiston lainsäädännöllisistä syistä, mikä säädös velvoitti hankkimaan varavoimailaiteiston?

12. Missä tilanteissa varavoimailaitteistoja on käytetty? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Syöttävän verkon vikatilanteissa
- Suunniteltujen käyttökeskeytysten yhteydessä
- Korkean ostoenergian hinnan aikana pienentämään energiakustannuksia
- Tehopulan aikana keventämään verkon kuormitusta
- En osaa sanoa
- Muu

13. Miten usein varavoimailaitteistoja on käytetty?

14. Miten pitkään sähköjakeleen keskeytykseen varavoimailaitteistolla on varauduttu?

15. Miten saarekekäyttöön siirrytään? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

Sähköverkon saarekekäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa sähköverkon osa erotetaan suunnitellusti muusta sähköverkosta itsenäisesti toimivaksi saarekkeeksi. Esimerkiksi huoltoasema, jolla on toiminnassa varavoimailaitteisto sähköjakeleen keskeytyksen aikana, on saarekekäytössä.

- Suoraan, ilman sähkökatkoa
- Lyhyen sähkökatkon kautta
- En osaa sanoa
- Muu

16. Miten saarekekäytöstä kytkeydytään takaisin syöttävään verkkoon? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Suoraan, ilman sähkökatkoa
- Lyhyen sähkökatkon kautta
- En osaa sanoa
- Muu

17. Tehdäänkö varavoimailaitteistojen ohjaukset manuaalisesti, paikallisautomaatiolla tai onko niissä etäohjaus ja -monitorintimahdollisuus? (Voitte valita yhden tai useamman vaihtoehdon.)

- Manuaalisesti
- Paikallisautomaatiolla
- Etäohjauksen ja -monitoroinnin avulla
- En osaa sanoa
- Muu

18. Voidaanko kuormia ohjata saareketilan aikana?

Kuormien ohjauksella tarkoitetaan sitä, että saareketilan aikana voidaan valikoida tai vaihtaa kuormia, joille syötetään sähköä.

\*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

19. Mitä kuormia voidaan ohjata ja miten?

20. Miten olette varmistaneet, että laitteistonne täyttää sähköturvallisuusvaatimukset?

21. Miten sähköturvallisuus ja suojausten toimivuus varmistetaan siirryttäessä saarekekäyttöön, saarekekäytön aikana ja kytkeydyttäessä takaisin syöttävään verkkoon?

22. Miten usein teette varavoimalaitteistojen toiminnallisuuden testausta?

- Useammin kuin puolen vuoden välein
- Puolen vuoden välein
- Kerran vuodessa tai harvemmin
- Ei testata
- En osaa sanoa

23. Oletteko ilmoittaneet alueellanne toimivalle verkkoyhtiölle varavoimalaitteistanne?

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

24. Olisitteko valmiit siirtymään saarekkeeseen, jos verkkoyhtiö niin pyytäisi (esimerkiksi keventämään verkon kuormitustilannetta)?

Sähköverkon saarekekäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa sähköverkon osa erotetaan suunnitellusti muusta sähköverkosta itsenäisesti toimivaksi saarekkeeksi. Esimerkiksi maatila, jolla on toiminnassa varavoimalaitteisto sähköjakelun keskeytyksen aikana, on saarekekäytössä.

\*

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

25. Miten paljon teidän tulisi saada korvausta per tunti tällaisesta saarekkeeseen siirtymisestä?

26. Millaisia haasteita varavoimalaitteistojen käyttötilanteissa on ollut?

#### Saarekekäytön kehitystarpeet ja mahdollisuudet

27. Millaisia kehitystarpeita ja mahdollisuuksia näette varavoiman ja saarekekäytön laajempaan hyödyntämiseen sekä toiminnan kehittämiseen?

28. Vapaa sana: palautetta ja ajatuksia esimerkiksi kyselystä, varavoimasta, saarekekäytöstä tai niiden nykytilasta ja hyödyntämisestä tulevaisuudessa.