



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jere Vähä-Karvia

Hajautetun keskisuuren tuotantoverkon liityntäratkaisut

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautuminen: Sähköautomaatio

Tekijä: Jere Vähä-Karvia

Työn nimi: Hajautetun keskisuuren tuotantoverkon liityntäratkaisut

Ohjaaja: Matti Perälä

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 33

Liitteiden lukumäärä: 0

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää erilaisia keskisuuren hajautetun sähköntuotannon ja tuotantoverkon liityntäratkaisuja ja tutkia niiden merkitystä nykyisessä ja tulevaisuuden energijärjestelmissä. Työ toteutettiin Enersense PN Oy:lle. Tutkimus piti sisällään myös osion, jossa käsiteltiin kustannusarvioita siitä, mitä 20 kV:n sähköverkkoon liittyminen maksaa ja miten eri suuruiset kustannusarviot määräytyvät esimerkiksi etäisyyksien sekä asumistiheyden mukaan.

Työssä tarkasteltiin erilaisten energiaratkaisujen ja verkon liityntävaihtoehtojen vaikutuksia energiantuotannon tehokkuuteen, kestävyteen ja joustavuuteen. Samalla käytiin läpi energiaratkaisujen hyviä sekä huonoja puolia. Tavoitteena oli saada selkeä käsitys siitä, kuinka keskisuuri hajautettu tuotanto voi parantaa energiantuotannon kestävyttä sekä luotettavuutta ja mitä mahdollisuuksia ja suosituksia se voi tarjota alalla tapahtuvan kehityksen tueksi.

Tutkimuksen tuloksena saatiin tietoa siitä, että hajautetun tuotannon on todettu tarjoavan paljon uusia mahdollisuuksia etuineen nykyisille ja tuleville energijärjestelmille. Yksi merkittävä hyöty on energiantuotannon kestävyden ja luotettavuuden parantaminen. Keskisuuret hajautetut tuotantolaitokset voivat tarjota paikallista sähköntuotantoa, joka vähentää riippuvuutta keskitetystä energiantuotannosta ja lisää järjestelmän joustavuutta mahdollisissa häiriötilanteissa. Kustannusten osalta saatiin selville, että 20 kV:n sähköverkkoon liittymisessä kustannustehokkain ratkaisu jokaisessa kolmessa eri variaatiossa oli maakaapeli, kun otettiin huomioon vaihtelevat etäisyydet, keskeytyskustannukset, tehot ja eri olosuhteet.

¹ Asiasanat: Sähköntuotanto, aurinkoenergia, tuulivoima, hajautettu energiantuotanto, kustannustehokkuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author/s: Jere Vähä-Karvia

Title of thesis: Scalable connectivity solutions for a medium-sized production network

Supervisor(s): Matti Perälä

Year: 2024

Number of pages: 33

Number of appendices: 0

The aim of the thesis was to identify various connection solutions for medium-scale distributed electricity production and the production network and to investigate their significance in current and future energy systems. The thesis was conducted for Enersense PN Oy and it included a section addressing the cost estimates for connecting to a 20kV distribution network and how different cost estimates are determined based on such factors as distances and population density.

The study examined the effects of different energy solutions and network connection options on energy production efficiency, sustainability, and flexibility. Simultaneously, the advantages and disadvantages of these energy solutions were discussed. The goal was to gain a clear understanding of how medium-scale distributed production can improve the sustainability and reliability of energy production and what opportunities and recommendations it can offer to support the development in the field.

As the result of the study, it was discovered that distributed production offers many new opportunities with advantages for both current and future energy systems. One significant benefit is the improvement of energy production sustainability and reliability. Medium-scale distributed production facilities can provide local electricity production, reducing dependence on centralized energy production and increasing system flexibility during potential disruptions. Regarding costs, it was found that for connecting to a 20kV distribution network, the most cost-effective solution in each of the three variations was underground cabling, considering varying distances, capacities, and different conditions.

¹ Keywords: Electricity production, solar energy, wind power, decentralized energy production, cost efficiency

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
1 Johdanto	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	9
2 Yritysesittely	10
2.1 Enersense International Oyj	10
2.2 Enersense PN Oy.....	10
3 Keskisuuri hajautettu sähköntuotanto	11
3.1 Hajautettu energiantuotanto Suomessa	11
3.2 Haasteet ja mahdollisuudet	11
3.3 Nykytila ja tulevaisuus	13
3.4 Kustannustehokkaimmat liityntäratkaisut alueellisesti	13
3.4.1 Kehittämisyöhyke 1, kaupunki- ja taajama-alueet	13
3.4.2 Kehittämisyöhyke 2, maaseutualueet.....	15
3.4.3 Kehittämisyöhyke 3, saari ja kesämökkialueet.....	17
3.5 Liittymiskustannukset eri alueilla	19
4 Uusiutuvan energian ratkaisuja keskisuurelle tuotannolle.....	21
4.1 Hajautettu aurinkoenergia	21
4.1.1 Aurinkoenergian hyödyt	22
4.1.2 Aurinkoenergian haitat	23
4.2 Hajautettu tuulivoima.....	23
4.2.1 Tuulivoiman hyödyt.....	24
4.2.2 Tuulivoiman haitat.....	25
5 Hajautetut energiaratkaisut.....	26

5.1	Energian varastointijärjestelmät	26
5.2	Älykkäät sähköverkot (Smart Grids).....	26
5.3	Paikalliset mikroverkot.....	27
5.3.1	Mikroverkon hyödyt.....	28
5.3.2	Mikroverkon haasteet.....	29
5.4	Hybridijärjestelmät.....	30
6	Johtopäätökset.....	31
6.1	Selvityksen yhteenveto.....	31
6.2	Tulevaisuuden jatkotutkimukset	31
	LÄHTEET	33

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Aurinkopaneelijärjestelmä.....	21
Kuvio 1. Kehittämisyöhyke 1. Kaupunki- ja taajama-alueiden liityntäratkaisujen kustannukset.....	15
Kuvio 2. Harvaan asutun maaseutu alueen eri liityntäkustannukset	17
Kuvio 3. Kehittämisyöhyke 3. Saarikohteiden ja kesämökkialueiden liityntäratkaisujen kustannukset.....	19
Kuvio 4. Kustannustehokkaimmat liityntäratkaisut ja hintataso eri kehittämissyöhykkeillä	20
Kuvio 5. Havainnollistava kuvio mikroverkon rakenteesta	29
Taulukko 1. Kehittämisyöhykkeen 1 tyypillinen hankekokonaisuus	15
Taulukko 2. Kehittämisyöhykkeen 2 tyypillinen hankekokonaisuus	17
Taulukko 3. Kehittämisyöhykkeen 3 tyypillinen hankekokonaisuus	19

Käytetyt termit ja lyhenteet

Kehittämisyöhyke	Alue, jolla tehdään suunniteltuja tai käynnissä olevia hankkeita talouden, yhteiskunnan tai infrastruktuurin kehittämiseksi. Se voi olla kaupunki, kaupunginosa, maakunta tai valtio.
KJ-verkot	Keskijänniteverkot, johon sisältyy 1–36 kV:n jännitteet.
kV	Kilovoltti, tunnus kV on jännitteen yksikkö.
kW	Kilowatti, säteilyvirran yksikkö.
smart grid	Älykäs sähköverkko on sähkönsiirtojärjestelmä, joka yhdistää sähkövoimatekniikkaa sekä automaatio-, tieto- ja viestintäteknologioiden ratkaisuja.
V	Voltti, tunnus V on jännitteen yksikkö.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön taustalla vaikuttaa kasvava trendi, jossa kaikki toimijat eri sektoreilla siirtyvät kohti hajautettua tuotantoa vastatakseen energiasektorin muutoksiin ja kestäväen kehityksen haasteisiin. Hajautetussa tuotannossa energiantuotanto tapahtuu paikallisesti useista eri lähteistä, kuten aurinko- ja tuulivoimasta. Tämä muutos tarjoaa mahdollisuuden paikalliseen energiantuotantoon ja voi vähentää riippuvuutta perinteisistä suurista voimalaitoksista. Keskisuuren tuotantoyrityksen näkökulmasta hajautetun tuotannon edut, kuten energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys, ovat tärkeitä. Tämä lähestymistapa mahdollistaa resurssien tehokkaamman käytön ja vähentää ympäristövaikutuksia tuoden samalla kilpailuetuja yritykselle.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on syventyä keskisuuren hajautetun sähköntuotannon käsitteeseen ja sen rooliin nykyisessä ja tulevaisuuden energia-alalla. Eri energiaratkaisujen ja verkon liityntävaihtoehtojen ja kustannusten tarkastelu sekä niiden vaikutusten ja merkityksen analysointi energiantuotannon tehokkuuden, kestävyuden ja joustavuuden näkökulmasta ovat keskeisessä asemassa. Tavoitteena on tarjota kattava käsitys keskisuuren hajautetun tuotannon mahdollisuuksista ja haasteista sekä tuottaa suosituksia alan kehityksen tueksi kestäväen ja luotettavan energiantuotannon edistämiseksi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella yleisellä tasolla kustannustehokkainta vaihtoehtoa hajautetulle liityntäratkaisulle, kun hajautetusta tuotannosta halutaan liittyä 20 kV:n sähköverkkoon. Työssä käydään läpi, mikä olisi kustannusten näkökulmasta edullisin liittymisratkaisu sähköverkkoon ottaen huomioon asumistiheyden ja etäisyydet liityttävään verkkoon. Tarkoituksena on myös tutkia erilaisia liityntäratkaisuja, sekä minkälaisia järjestelmiä ne ovat, ja pohtia mikä vaihtoehto niistä voisi olla se kustannustehokkain ratkaisu.

1.3 Työn rakenne

Alkuun käydään läpi johdantoa työn sisällöstä ja sen tarkoituksesta, minkä jälkeen siirrytään yritysesittelyyn, jossa esitellään Enersense International Oyj ja Enersense PN Oy. Tämän jälkeen keskitytään keskiuureen hajautettuun sähköntuotannon haasteisiin, mahdollisuuksiin sekä nykytilaan ja sen tulevaisuuden näkymiin. Seuraavaksi tarkastellaan erilaisia energiajärjestelmiä ja niihin liittyviä liityntäratkaisuja. Tämän jälkeen paneudutaan älykkäisiin sähköverkkoihin, paikallisiin mikroverkkoihin sekä hybridijärjestelmiin. Lopuksi johtopäätöksissä tiivistetään työn tulokset ja pohditaan mahdollisia jatkotutkimuksen suuntia ja tarkastellaan tulevaisuuden näkymiä.

2 Yritysesittely

2.1 Enersense International Oyj

Enersense International Oyj on Helsingin pörssiin listattu energia-alan yritys, joka perustettiin vuonna 2005. Sen pääkonttori sijaitsee Porissa (Enersense, i.a.). Yritys keskittyy tarjoamaan vihreän energian palveluita pyrkien edistämään päästötöntä ja energiaomavaraisempaa yhteiskuntaa laaja-alaisesti. Enersensen liiketoiminta-alueet on jaettu kolmeen segmenttiin: Power, Connectivity ja Industry.

Yritys toimii merkittävänä suunnannäyttäjänä energia-alan murroksessa ja pyrkii mahdollistamaan päästöttömän yhteiskunnan toteutumista (Enersense, i.a.). Enersensen monipuoliset palvelut tukevat pohjoismaisten ja kansainvälisten teollisuus-, energia-, tietoliikenne- ja rakennusalan yritysten menestystä. Tavoitteena on olla ensisijainen ja monipuolinen kumppani asiakkaille energia-alan muutoksessa. Enersensen tiimissä työskentelee noin 2 000 ammattilaista sekä Suomessa että kansainvälisesti he pyrkivät yhdessä rakentamaan kestävämpää ja puhtaampaa tulevaisuutta.

2.2 Enersense PN Oy

Työssä keskitytään Enersense International Oyj:n tytäryhtiöön, Enersense PN Oy:hyn, jonka liikevaihto vuonna 2022 oli 60,1 miljoonaa euroa (Enersense, i.a.). Yrityksen toimipaikkana toimii Harjavallan toimipiste.

Power-yksikössä työ keskittyy voimansiirtoverkkojen, sähköasemien ja tuulipuistojen suunnitteluun sekä asiantuntijapalveluihin (Enersense, i.a.). Lisäksi yksikkö osallistuu näiden kohteiden rakentamiseen ja luotettavaan kunnossapitoon. Enersense PN Oy tarjoaa myös sähköautojen latausratkaisuja aina latausasemien asentamiseen saakka.

Yrityksen toiminnassa korostuvat erityisesti energiainfrastruktuurin suunnittelu ja toteutus, mukaan lukien voimansiirtoverkot, sähköasemat ja tuulipuistot (Enersense, i.a.). Samalla Enersense PN Oy on mukana kehittämässä kestäviä ratkaisuja, kuten sähköautojen latausinfrastruktuuria edistäen siten vihreää ja kestävää tulevaisuutta.

3 Keskisuuri hajautettu sähköntuotanto

3.1 Hajautettu energiantuotanto Suomessa

Suomen energiantuotanto on suhteellisen hajautettua verrattuna moniin muihin Euroopan maihin (Energiamailma, i.a.-b). Pienimuotoinen energiantuotanto, kuten aurinkopaneelien ja aurinkokeräimien käyttö taloissa, on kasvanut voimakkaasti viime vuosina ja jatkaa edelleen kasvuaan. Monipuolinen ja hajautettu sähkön ja lämmön tuotantorakenne lisää energianhankinnan varmuutta.

Keskijänniteverkot (KJ-verkot) tarjoavat mahdollisuuden kehittää hajautettua energiantuotantojärjestelmää (Energiavirasto, 2023a, s. 54). Hajautetun energian, kuten aurinkopaneelien ja paikallisten energiavarastojen käytön kasvaessa KJ-verkot voivat tukea sähkön kaksisuuntaista virtausta. Tämä tarkoittaa, että kuluttajat voivat sekä ottaa sähköä verkosta että syöttää sitä sinne tarvittaessa. Tällainen järjestelmä edistää energiariippumattomuutta, huoltovarmuutta ja joustavuutta.

Hajautettua energiantuotantoa ei voida tarkastella pelkästään taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta nykyisessä markkinamallissa (Valtioneuvosto, 2017, s. 2). Uudenlaisia liiketoimintamalleja kehitellään aktiivisesti hajautetun tuotannon kontekstissa. Näissä hyödynnetään muita asiakkaille tarjottavia arvoja tai pyritään toimimaan poikkeavalla logiikalla nykyiseen energiamarkkinamalliin nähden. Hajautettu tuotanto avaa mahdollisuuksia yksityishenkilöille, yhteisöille ja pienille yrityksille osallistua aktiivisesti energiantuotantoon. Tämä merkitsee muutosta perinteiseen rooliin, jossa energiantuotanto on ollut pääasiassa suurten toimijoiden hallussa. Uudet liiketoimintamallit voivat liittyä esimerkiksi energian jakamiseen yhteisöjen kesken, uusiutuvan energian tuottamiseen yksittäisten kotitalouksien tasolla tai älykkäiden teknologisten ratkaisujen kehittämiseen hajautetun tuotannon tukemiseksi.

3.2 Haasteet ja mahdollisuudet

Sähkön tuotannossa kasvava osuus perustuu sääolosuhteisiin, jotka voivat vaihdella nopeasti (Törrönen, 2022). Tämä aiheuttaa aiempaa isompia ja nopeampia muutoksia sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainoon ja edelleen sähköverkon taajuuteen. Tilanteessa,

jossa taajuus laskee äkillisesti, voi olla tarpeen tehdä merkittäviä muutoksia sähköverkkoon. Hajautetut energialähteet tarjoavat mahdollisuuksia uusiutuvaan energiaan siirtymisessä ja suojaavat kotitalouksia energiahintojen nousulta, ne myös tuovat esiin muutoksia ja haasteita, joihin on valmistauduttava.

Hajautetun energian integroiminen sähköverkkoon edellyttää selvästi olemassa olevien sähköverkkojen kehittämistä ja parantamista, mikä voi sisältää automaation lisäämisen (Törrönen, 2022). Tämä kehitystyö vie aikaa, eikä yksinään ratkaise kaikkia ongelmia.

Siirtymistä kohti uusiutuvaa energijärjestelmää ei vain pidetä välttämättömänä vaan siihen myös kiirehditään (Törrönen, 2022). Hajautettujen energialähteiden, kuten aurinko- ja tuulivoiman sekä sähköautojen latausasemien, investoinnit ovat voimakkaassa kasvussa. Yhtenä haasteena on, kuinka tämä valtava hajautettujen energialähteiden kasvu hallitaan, koska perinteiset investoinnit, työkalut ja menetelmät eivät riittävästi tue sähköverkon siirto- ja jakeluyhtiöiden tarpeita näkyvyyden ja hallittavuuden suhteen.

Hajautettujen tuotantomuotojen kannattavuuden ja taloudellisten tukijärjestelmien lisäksi ei ole riittävää kuvaa hajautetun tuotannon yleistymisen edellytyksistä (Motiva, 2017, s. 99). Erityisesti tilanteessa, jossa hajautettujen tuotantoteknologioiden kustannukset ovat lähellä perinteisten tai keskitetympien tuotantomuotojen kustannuksia, myös muilla kuin taloudellisilla tekijöillä on suuri merkitys energian käyttäjien valintoihin. Käyttäjät voivat olla valmiita maksamaan enemmän esimerkiksi riippumattomuudesta tai uuden ympäristöystävälliseksi koetun teknologian käytöstä.

Hajautettuja tuotantoratkaisuja voidaan edistää myös kehittämällä uudenlaisia liiketoimintamahdollisuuksia niiden ympärille (Motiva, 2017, s. 99). Toimijoina voivat olla esimerkiksi perinteiset energiayhtiöt, pienet paikalliset toimijat tai suuret kansainväliset yhtiöt ja myös muut kuin perinteiset energiayhtiöt. Kuluttajille tarjotaan helposti hankittavia aurinkopaneeliratkaisuja, mikä on johtanut aurinkosähkö tuotannon kasvuun. Kuluttajat ovat halukkaita hankkimaan paneelit, vaikka se aiheuttaisi lisäkustannuksia, kunhan lisäkustannus pysyy kohtuullisena

3.3 Nykytila ja tulevaisuus

Voimakkain kasvu tällä hetkellä tapahtuu aurinkosähkön pientuotannossa (Energiateollisuus, i.a.). Pientuotanto tarkoittaa sähköntuotantolaitosta, joka on kytketty suoraan sähkönkäyttöpaikan yhteyteen, ja jonka pääasiallinen tarkoitus on tuottaa sähköä kyseiseen kulu- tuskohteeseen. Yleensä näiden laitteistojen teho vaihtelee muutamista kilowateista muuta- miin kymmeneen kilowatteihin. Omakotitalot, maatalot tai pienyritykset, jotka sijaitsevat sopi- villa alueilla, voivat harkita oman sähkön tuottamista pääasiassa omiin tarpeisiinsa esimer- kiksi pientuulivoimaloiden tai aurinkopaneelien avulla.

Pienjänniteverkossa ennustetaan hajautetun tuotannon kasvavan 1,7 gigawatilla, mikä tar- koittaa, että kymmenen vuoden kuluttua liitettyjen tuotantolaitosten yhteenlaskettu nimellis- teho on viisinkertainen vuoden 2021 määrään verrattuna (Energiavirasto, 2023b, s. 1–2). Pienjänniteverkkoon liitettävän hajautetun tuotantolaitosten huomattava kasvu selittyy odo- tetulla tavalla. (Energiavirasto, 2023b, s. 2). Kehityssuunnitelmien ennusteiden mukaan vuonna 2031 pienjänniteverkkoon kytkettyjen hajautettujen tuotantolaitosten määrä on vii- sinkertainen verrattuna vuoden 2021 määrään. Yksittäisten tuotantolaitosten nimellisteho on pieni, mutta silti niiden suuri kappalemäärä tekee kokonaisuudesta merkittävän.

3.4 Kustannustehokkaimmat liityntäratkaisut alueellisesti

Seuraavassa luvussa vertaillaan kolmea eri kehittämisvyöhykettä, koska halutaan saada tietoa siitä, mikä olisi kustannustehokkain ratkaisu tietyllä kehittämisvyöhykkeellä. Vertai- lussa on kolme eri kehittämisvyöhykettä: kehittämisvyöhyke 1 kuvastaa kaupunki- ja taa- jama-alueita, kehittämisvyöhyke 2 kertoo maaseutualueista ja kehittämisvyöhyke 3 havain- nollistaa saari- ja kesämökkialueita.

3.4.1 Kehittämisvyöhyke 1, kaupunki- ja taajama-alueet

Kehittämisvyöhykkeellä 1 odotetaan suurinta sähkön käytön kasvua erityisesti asemakaava- alueilla (Lahti Energia, 2022, s. 4). Tämä huomioidaan investoinneissa, jolloin kaapelien mitoitus jätetään riittävän reiluksi ottaen huomioon kasvun varaukset kulutukselle. Lisäksi odotetaan hajautetun tuotannon lisääntyvän asemakaava-alueilla samoin kuin sähköautojen

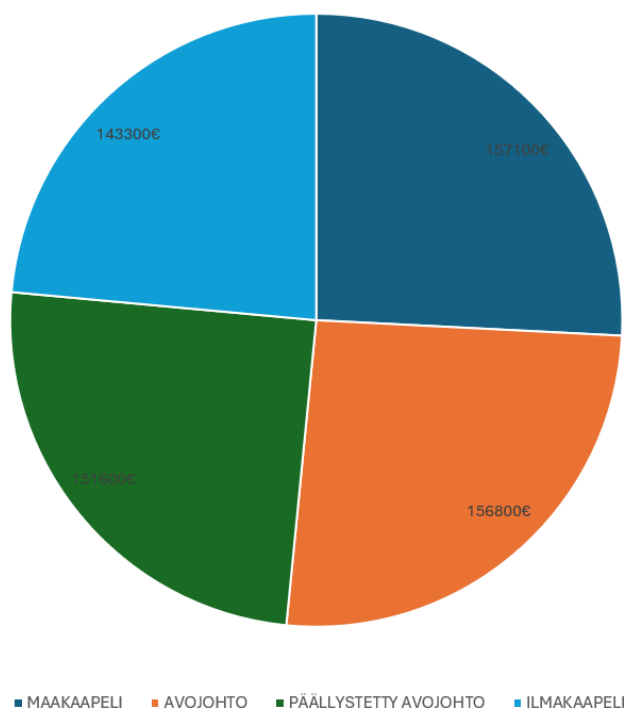
latauspisteiden sijoittumisen näille alueille. Teollisuuden prosessien sähköistyminen voi tuoda mukanaan suuria pistemäisiä investointitarpeita sähköverkkoon. Huomattavaa on, että koska sähköverkko on pääosin maakaapeloitu, myrskyillä ei ole merkittävää vaikutusta sähköjakeluun.

Taulukossa 1 on havainnollistettu kuvaus kaupunki- tai taajama-alueesta, jossa asutaan tiiviisti, ja jossa halutaan varmistaa sähköjakelun luotettavuus ja turvallisuus mahdollisimman kustannustehokkaasti (Lahti Energia, 2022, s. 11). Tässä ympäristössä parhaaksi ratkaisuksi on valittu maakaapelointi. Taulukon 1 kohteet ovat yleensä sellaisia, joita jaetaan muiden infrastruktuurin rakentajien kanssa, mikä auttaa alentamaan maakaapeloinnin kustannuksia yhteisrakentamisen avulla. Kuviossa 1 on vielä esitelty tarkempi kuvaus kehittämisvyöhykkeen 1 liityntäkustannuksista.

Taulukossa 1 kehittämisvyöhyke 1 keskittyy pääasiassa kaavoitettujen pientaloalueiden kehittämiseen, joissa sekä uusia rakennuksia rakennetaan että nykyistä katuverkostoa parannetaan (Lahti Energia, 2022, s. 12). Hankkeessa rakennetaan yksi uusi sähkömuuntamo ja sähköjohtojen kokonaispituudet maakaapeleilla ovat 0,5 kilometriä 20 kilovoltin (kV) jännitteellä ja 2,2 kilometriä 0,4 kV jännitteellä. Ilmajohdoilla käytettäessä 20 kV:n johdoilla pituuskerroin on 1,4, mikä johtuu tilan puutteesta ja maastollisista haasteista. Vastaavasti 0,4 kV:n johdoilla pituuskerroin on 0,9. Hankkeen keskimääräinen teho on 70 kilowattia (kW) ja arvioitu kuormituksen muutosprosentti on 0,5 prosenttia vuodessa.

Taulukko 1. Kehittämisyöhykkeen 1 tyypillinen hankekokonaisuus (Lahti Energia, 2022, s. 13)

	Kokonaiskustannus [€]	Investointikustannus [€]	Muut kertaluontoiset kustannukset [€]	Operatiiviset kustannukset [€]	KAH-kustannukset [€]	Muut kustannukset [€]
Maakaapeli (edullisin vaatimukset täyttävä ratkaisu)	157100	134200	10800	900	2800	8500
Avojohto	156800	77700	16000	2400	30600	30100
Päällystetty avojohto	151600	78200	16000	2400	24900	30100
Ilmakaapeli	143300	7800	16000	2500	16600	30200



Kuvio 1. Kehittämisyöhyke 1. Kaupunki- ja taajama-alueiden liityntäratkaisujen kustannukset (perustuu Lahti Energia, 2022, s. 13)

3.4.2 Kehittämisyöhyke 2, maaseutualueet

Taulukossa 2 on kuvattu harvaan asuttua aluetta, jossa edullisin ratkaisu hankkeille on yleensä maakaapelointi, kun kaapelointi on helppoa ja käytetään optimaalisesti 20 kV:n ja

400 V:n jännitetasoja (Lahti Energia, 2022, s. 11). Yksittäisissä tapauksissa, kun pienjännitehaarat ovat pitkiä, ilmajohto saattaa olla taloudellisempi vaihtoehto. Vaikeissa kaivuolosuhteissa ilmajohto, erityisesti keskijännitteellä PAS-johto ja pienjännitteellä AMKA, voi olla kustannustehokkain vaihtoehto. Kuviossa 3 on havainnollistettu kehittämisvyöhykkeen 2 liityntäratkaisujen välinen ero.

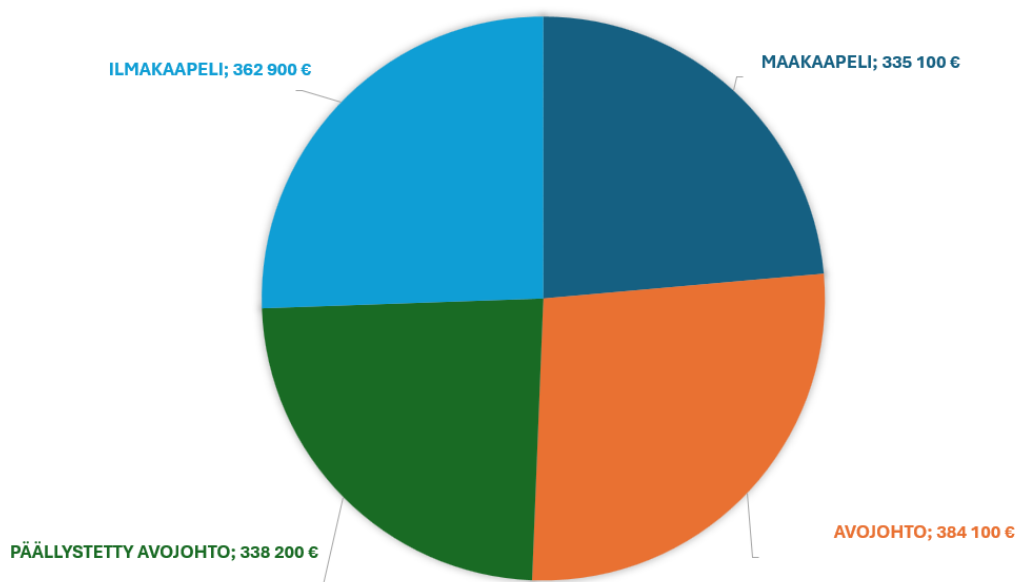
Kehittämisvyöhykkeellä 2 ennustetaan, että sähkön kysynnän kasvu maaseudun asema-kaava-alueiden ulkopuolella pysyy melko maltillisena (Lahti Energia, 2022, s. 4). Tämä mahdollistaa kaapelien tiukemman mitoituksen investoinneissa. Lisäksi odotetaan, että hajaute-
tun energiatuotannon käyttö yleistyy maaseudulla. Ilmajohtojen korjaamiseen on varattu 36 tuntia, sillä ne sijaitsevat pääosin teiden varsilla.

Taulukossa 2 kehittämisvyöhyke 2 keskittyy maaseutualueisiin, joilla vanhaa ilmajohtoverkkoa, joka on saavuttanut tai ylittänyt käyttöikänsä uusitaan maakaapeloinnin avulla hel-
poissa kaivuolosuhteissa (Lahti Energia, 2022, s. 12). Useita pylväsmuuntamoita korvataan muutamalla puistomuuntamolla ja 20 kV:n ja 400 voltin (V) kaapelien yhteiskäyttö on kus-
tannustehokasta. Sähköjohtojen kokonaispituudet maakaapeleilla ovat 3,9 kilometriä 20 kV:n jännitteellä ja 2,2 kilometriä 0,4 kV:n jännitteellä. Hankkeen keskimääräinen teho on 40 kW ja arvioitu kuormituksen muutosprosentti on 0,5 prosenttia vuodessa. Tämän odote-
taan aiheuttavan sähkön käytön kasvua 0,5 prosenttia vuodessa hankkeen alueella.

Taulukko 2. Kehittämisyöhykkeen 2 tyypillinen hankekokonaisuus (Lahti Energia, 2022, s.13)

	Kokonaiskustannus [€]	Investointikustannus [€]	Muut kertaluontoiset kustannukset [€]	Operatiiviset kustannukset [€]	KAH-kustannukset [€]	Muut kustannukset [€]
Maakaapeli (edullisin vaatimukset täyttävä ratkaisu)	335100	275500	22100	4000	3800	29700
Avojohto	384100	193600	34200	20200	78300	57800
Päällystetty avojohto	338200	194400	34300	20400	31200	57900
Ilmakaapeli	362900	229200	37000	20400	19000	57300

KEHITTÄMISVYÖHYKE 2. HARVAAN ASUTUN ALUEEN LIITYNTÄRATKAISUJEN KUSTANNUKSET



Kuvio 2. Harvaan asutun maaseutualueen eri liityntäkustannukset (perustuu Lahti Energia, 2022, s. 13)

3.4.3 Kehittämisyöhyke 3, saari ja kesämökkialueet

Taulukossa 3 käsitteellään harvaan asuttuja saarikohteita, joissa osa asutuksesta on kausiluonteista (Lahti Energia, 2022, s. 11). Tyypillisesti kustannustehokkain ratkaisu tällaisissa hankkeissa on käyttää vesistökaapelointia runkoverkon rakentamisessa. Saaren helpoissa kaivuolosuhteissa voidaan hyödyntää maakaapelointia, kun taas

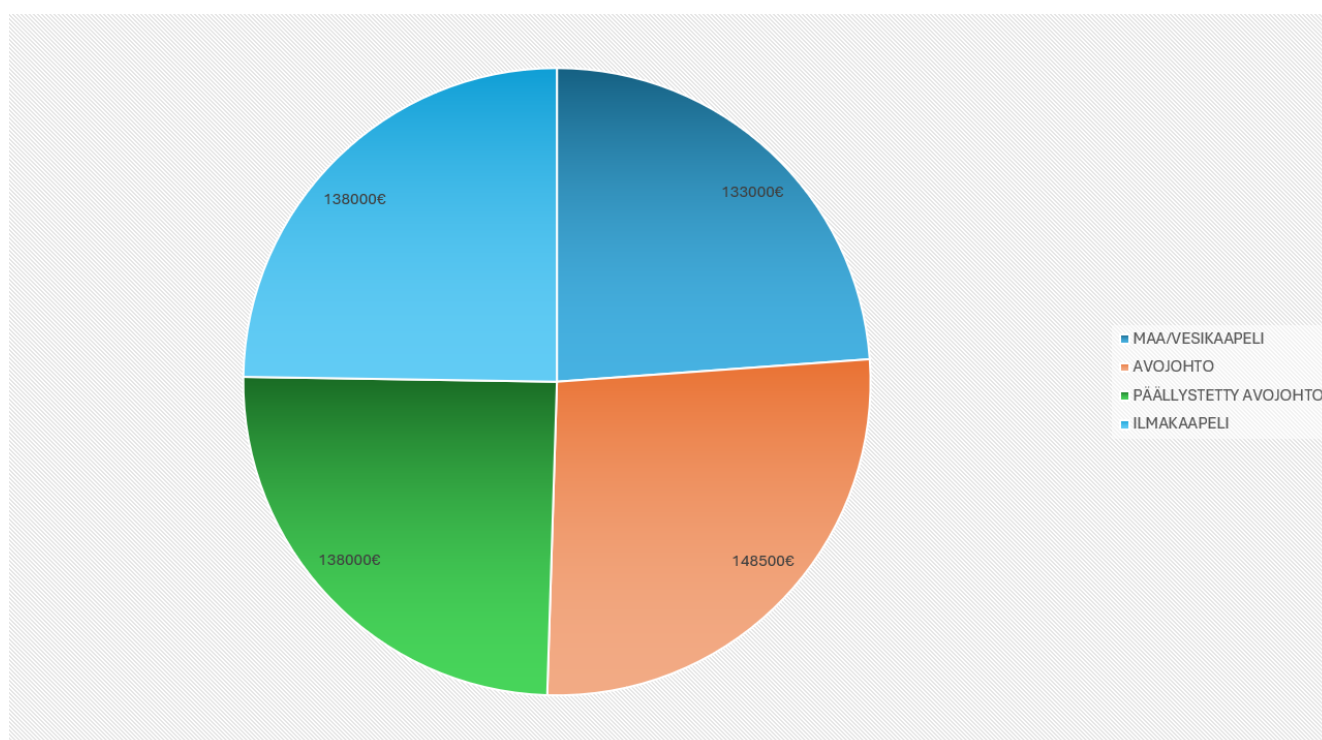
vaikeissa osuuksissa ilmajohto voi olla parempi vaihtoehto. Kuviossa 4 on esitelty tarkemmin kehittämisvyöhykkeen 3 liityntäkustannukset.

Kehittämisvyöhykkeellä 3, joka koostuu pääasiassa kesämökkialueista, ennustetaan sähkön käytön pysyvän melko samana (Lahti Energia, 2022, s. 5). Toisaalta, kun kesämökkien varustelu lisääntyy, saattaa olla lievää kasvua sähkön kulutuksessa. Alueella odotetaan myös hajautetun energiatuotannon lisääntyvän, erityisesti saarilla. Myrskyt voivat aiheuttaa sähkökatkoja saarilla, mutta korjaustoimet pyritään toteuttamaan mahdollisimman nopeasti, jotta sähkönjakelu palautuu takaisin normaaliksi.

Taulukon 3 kehittämisvyöhyke 3 kattaa saarikohteita, jotka sijaitsevat Lahti Energia sähköverkon jakelualueen vyöhykkeellä 3 (Lahti Energia, 2022, s. 12). Saaret sijaitsevat keskellä Vesijärveä eivätkä ole maayhteyden ulottuvilla, joten niille pääsy ja kaluston siirtäminen edellyttävät veneen tai lautan käyttöä. Saarten erityispiirteisiin kuuluvat haasteellinen saavutettavuus, vaikeakulkuinen maasto ja alttius myrskyille. Saarilla on yhteensä 13 sähköliittymää, joista ympärivuotinen sähkön käyttö kohdistuu pääasiassa vapaa-ajan asuntoihin sekä ravintola- ja virkistystoimintaan. Sähköverkko on pääosin ylittänyt käyttöikänsä ja osittain huonossa kunnossa toistuvien myrskyvaurioiden vuoksi. Saaren huipputeho on 50 kW, mutta kausiluonteisuuden vuoksi keskimääräinen teho on noin 10 kW. Saaren sähköverkkoa kehitettäessä on otettava erityisesti huomioon rantojen kallioisuus ja keskimääräisiä korkeammat vikataajuudet. Maakaapeliratkaisussa pylväsjohtot korvataan maakaapeloinnilla ja merkittävä osa kaapeleista kulkee vesistön alitse. Kaapelien kokonaispituus on 2,65 kilometriä, joista 2,10 kilometriä on vesialueella ja loput maalla. Ilmajohtoratkaisujen osalta leveämpi johtokatu ei ole käytettävissä maisemallisista ja luonnonsuojelullisista syistä.

Taulukko 3. Kehittämisyöhykkeen 3 tyypillinen hankekokonaisuus (Lahti Energia, 2022, s. 13)

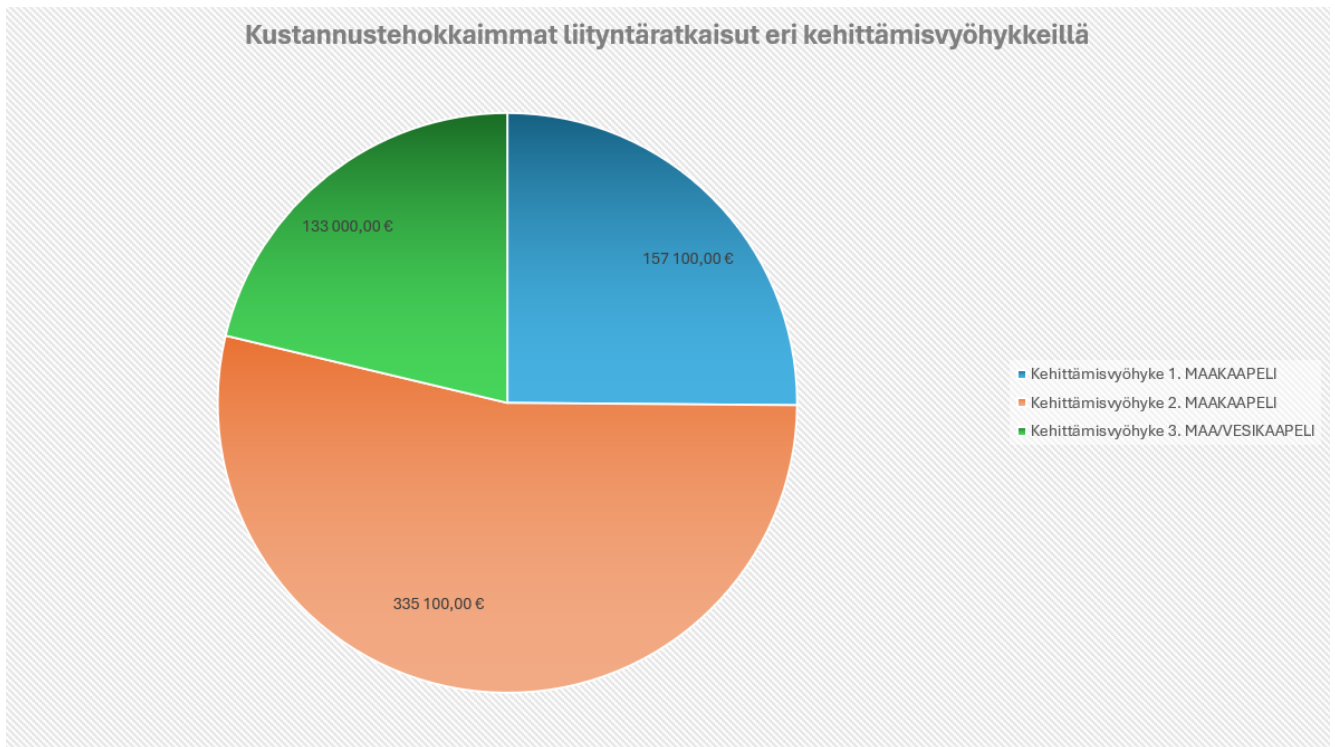
	Kokonaiskustannus [€]	Investointikustannus [€]	Muut kertaluontoiset kustannukset [€]	Operatiiviset kustannukset [€]	KAH-kustannukset [€]	Muut kustannukset [€]
Maa/vesikaapeli	133000	105000	8500	500	3500	15500
Avojohto	148500	60500	15000	15000	26000	32000
Päällystetty avojohto	138000	61000	15000	15000	15000	32000
Ilmakaapeli	138000	63500	15000	15000	19000	32000



Kuvio 3. Kehittämisyöhyke 3. Saarikohteiden ja kesämökkialueiden liityntäratkaisujen kustannukset (perustuu Lahti Energia, 2022, s. 13)

3.5 Liittymiskustannukset eri alueilla

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi jokaisella kehittämisvyöhykkeellä valikoitui maakaapelointi (Lahti Energia 2022, s. 13). Kuvion 4 avulla havainnollistetaan eri kehittämisvyöhykkeiden keskinäinen hintavertailu maakaapelointiliitynnässä.



Kuvio 4. Kustannustehokkaimmat liityntäratkaisut ja hintataso eri kehittämisvyöhykkeillä (perustuu Lahti Energia, 2022, s. 13)

4 Uusiutuvan energian ratkaisuja keskisuurelle tuotannolle

4.1 Hajautettu aurinkoenergia

Aurinkoenergia on uusiutuva energiamuoto, joka hyödyntää auringon säteilyenergiaa suoraan aurinkopaneeleilla tai -keräimillä (Ermen, 2015). Suomen olosuhteissa aurinkoenergia on erittäin houkutteleva vaihtoehto, sillä sen käytöstä ei aiheudu haittaa ympäristölle tai ihmisille ja sen käyttöönotto on suhteellisen edullista.

Aurinkolämmitysjärjestelmät ottavat aurinkoenergiaa suoraan talteen ja siirtävät sen lämpövarastoon, josta se voidaan tarvittaessa siirtää käyttökohteisiin (Energiamailma, i.a.-a). Aurinkolämpöä voidaan tuottaa hajautetusti kiinteistökohtaisesti asennetuilla keräimillä tai keskitetysti suuremmalla keräinalueella, josta lämpö siirtyy kaukolämpöverkkoon.



Kuva 1. Aurinkopaneelijärjestelmä

Suomessa aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää alkukevästä loppusyksyyn, eli maaliskuusta syyskuun loppuun saakka (Ermen, 2015). Tämä aikajakso tarjoaa mahdollisuuden aurinkoenergian tehokkaaseen hyödyntämiseen, ja aurinkoenergian osuuden odotetaan kasvavan entisestään tulevaisuudessa.

Aurinkopaneelien avulla toteutettu aurinkoenergian hyödyntäminen vähentää sähkölaskun määrää kolmanneksella jo ensimmäisen vuoden aikana (Ermen, 2015). Investoidun pääoman vuotuinen tuotto on viisi prosenttia, mikäli tuotetun sähkön käyttää itse. Aurinkolämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset voi kuitata takaisin alle kolmessa vuodessa, jonka jälkeen käyttöveden vuotuiset lämmityskustannukset putoavat jopa neljännekseen entisestä. Tämä merkitsee jo huomattavaa säästöä.

4.1.1 Aurinkoenergian hyödyt

Ympäristöystävällisyys, aurinkovoiman keskeinen piirre, perustuu sen puhtauteen ja uusiutuvuuteen (Energiamailma, i.a.-a). Aurinkovoima on merkittävästi ympäristöystävällisempi vaihtoehto verrattuna perinteisiin energialähteisiin, koska se ei aiheuta ilmansaasteita tai kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmät ovat pitkäikäisiä ja kestäviä, mikä mahdollistaa niiden toiminnan vuosien ajan ilman suuria huoltotarpeita.

Aurinkovoiman tarjoama energia lisää merkittävästi itsenäisyyttä ja energiavarmuutta (Energiamailma, i.a.-a). Sitä voidaan hyödyntää paikoissa, joissa sähköverkkoa ei ole saatavilla. Tämä on erityisen tärkeää syrjäisillä alueilla tai kehittyvissä maissa. Aurinkovoimajärjestelmiä voidaan myös soveltaa erikokoisiin tarpeisiin ja skaalata pienistä järjestelmistä suuriin aurinkovoimaloihin, mikä tekee siitä joustavan ja monipuolisen energialähteen.

Lisäksi aurinkosähköjärjestelmien käyttökustannukset ovat yleensä alhaiset verrattuna perinteisiin energialähteisiin (Energiamailma, i.a.-a). Aurinkovoiman alkuvaiheen investointikustannukset saattavat olla korkeat, mutta pitkällä aikavälillä sen taloudelliset ja ympäristölliset hyödyt ovat merkittäviä. Kaikki nämä tekijät tekevät aurinkovoimasta houkuttelevan

vaihtoehdon kestävästä energiantuotannon edistämisestä ja ilmastonmuutoksen torjunnassa.

4.1.2 Aurinkoenergian haitat

Aurinkovoiman hyödyntämisessä on monia etuja, mutta samalla myös haasteita, jotka on tärkeää tunnistaa ja ratkaista (Energiamailma, i.a.-a). Alkuvaiheen investointi aurinkovoiman hankkimiseen voi olla merkittävä, sillä aurinkovoimalan perustamiskustannukset voivat olla korkeat. Järjestelmän pitkän aikavälin kustannukset ovat yleensä alhaiset, mutta alkuvaiheen investointi saattaa silti olla esteenä aurinkovoiman laajamittaiselle käytölle, erityisesti kehitysmaissa tai alueilla, joilla taloudelliset resurssit ovat rajalliset.

Lisäksi aurinkovoiman tuotanto vaihtelee sääolosuhteiden mukaan, mikä voi vaikuttaa järjestelmän tehokkuuteen (Energiamailma, i.a.-a). Pilviset päivät tai lyhyet päivät voivat vähentää aurinkovoiman tuotantoa, mikä saattaa vaikuttaa energiantuotannon luotettavuuteen.

Aurinkosähkön varastointi akkuihin voi olla kallista ja haasteellista suurissa mittakaavoissa, mikä lisää aurinkovoiman käyttöönoton kokonaiskustannuksia (Energiamailma, i.a.-a). Lisäksi aurinkopaneelien asennus vaatii tilaa, joka voi olla rajoittava tekijä tietyissä ympäristöissä, kuten kaupunkialueilla tai tiheästi asutuilla alueilla.

Aurinkovoiman tehokkuus riippuu myös sijoituspaikan aurinkoisuudesta ja suunnasta, joka voi vaikuttaa järjestelmän soveltavuuteen tietyillä alueilla (Energiamailma, i.a.-a). Näiden haasteiden tunnistaminen ja niiden tehokas hallinta ovat avainasemassa aurinkovoiman kestävästä ja laajan käytön mahdollistamisesta tulevaisuudessa.

4.2 Hajautettu tuulivoima

Tuulivoima on yksi maailman nopeimmin kasvavista uusiutuvan energian lähteistä (Sähkö.info, 2023). Tuulivoima perustuu tuulivoimaloiden käyttöön, jotka muuntavat tuulen liike-energian sähköenergiaksi.

Tuulivoiman etuihin kuuluvat sen puhtaus, uusiutuvuus ja vähäiset hiilidioksidipäästöt verrattuna perinteisempiin energiantuotantomuotoihin, kuten fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaan sähköntuotantoon (Sähkö.info, 2023). Suomessa tuulivoiman rakentaminen alkoi selvästi myöhemmin kuin monissa muissa Euroopan maissa, mutta vuosista 2012–2013 lähtien se on edistynyt merkittävästi (Suomen Tuulivoimayhdistys, i.a.). Viime vuosina tuulivoiman osuus Suomen sähkönkulutuksesta on lisääntynyt jatkuvasti.

Hajautettu tuotanto on tullut yhä suosittumaksi tuulivoimateollisuudessa, jossa pienten tuulivoimaloiden sijoittamista lähelle sähkön käyttöpaikkoja, kuten asuinalueita tai teollisuusalueita, harkitaan (Sähkö.info, 2023). Sähkön siirtotarvetta vähennetään ja energiatehokkuutta parannetaan. Paikallisia energialähteitä voidaan hyödyntää, mikä tukee alueellista itsenäisyyttä energiantuotannossa.

Kaikki nämä teknologiat ja lähestymistavat yhdessä auttavat tuulivoiman tehokasta integrointia sähköverkkoon edistäen uusiutuvan energian kestäväää käyttöä (Sähkö.info, 2023). Riippuvuutta perinteisistä fossiilisista polttoaineista vähennetään, mikä puolestaan edistää puhtaampaa ja kestävämpää energiantuotantoa.

4.2.1 Tuulivoiman hyödyt

Tuulivoiman käyttö tarjoaa monia merkittäviä etuja sähköntuotannossa (Vattenfall, i.a.). Ensinnäkin tuulivoima vähentää sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjä korvaamalla perinteisillä fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä markkinoilla. Tämä edistää merkittävästi ilmastotavoitteiden saavuttamista ja ympäristön suojelua.

Toiseksi tuuli on uusiutuva ja päästötön energialähde, jota on käytettävissä lähes rajattomasti (Vattenfall, i.a.). Tuulivoimaloiden sijoittaminen strategisesti voi myös vähentää niiden ympäristövaikutuksia, mikä edistää kestäväää kehitystä ja ympäristönsuojelua.

Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston LUT:n tutkimusten mukaan maalla sijaitseva tuulivoimala on kaikkein edullisin tapa tuottaa sähköä, mikä osoittaa tuulivoiman kustannustehokkuuden (Vattenfall, i.a.). Lisäksi lähes 80 prosenttia tuulivoimaloissa käytetyistä raaka-aineista voidaan kierrättää, mikä edistää kiertotaloutta ja resurssitehokkuutta.

Tuulivoiman lisääminen vähentää myös säätövoiman tarvetta, mikä vähentää sähköntuotannon kustannuksia ja lisää sen tehokkuutta (Vattenfall, i.a.). Tuulivoimala tuottaa energiaansa takaisin niin nopeasti, että se maksaa itsensä takaisin yleensä 3–9 kuukaudessa, mikä on lyhyempi aika kuin mitä sen valmistamiseen, kuljettamiseen, pystyttämiseen ja purkamiseen kuluu aikaa.

Yhteiskunnallinen tavoite tuulivoiman tukemisessa on kannustaa teknologian kehittämiseen ja ympäristöteknologioiden kustannusten alentamiseen (Vattenfall, i.a.). Tämä auttaa tuulivoimaa kilpailemaan sähkömarkkinoilla ilman tukia, sekä edistää samalla energiasektorin kestävästä kehitystä ja siirtymistä puhtaampaan ja kestävämpään energiantuotantoon.

4.2.2 Tuulivoiman haitat

Tuulivoiman käyttöön liittyy myös joitakin haasteita ja haittoja, jotka on otettava huomioon sen laajamittaisessa käytössä (Vattenfall, i.a.). Yksi merkittävä haaste on säätövoiman tarve. Tuuliturbiinit tuottavat sähköä vain tietyllä tuulennopeudella, joka tarkoittaa sitä, että tarvitaan muita sähköntuotantolähteitä, kun tuulen nopeus ei ole optimaalinen. Lisäksi tuulivoiman hiilidioksidipäästöt eivät ole täysin olemattomia. Tuulivoiman kokonaispäästöt ovat noin 10 grammaa hiilidioksidia per tuotettu kilowattitunti. Nämä päästöt liittyvät pääasiassa tuulivoimalan rakentamisen, kokoamisen, kuljettamisen ja huollon aiheuttamiin päästöihin.

Ympäristövaikutukset ovat myös merkittävä tekijä (Vattenfall, i.a.). Tuulivoima on ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin monet muut energiantuotantomuodot, mutta sillä on silti negatiivisia vaikutuksia ympäristöön. Näihin kuuluvat muun muassa maiseman muutokset, lintujen ja muiden eläinten elinympäristöjen häiriintyminen sekä äänipäästöt.

Tuulivoiman tukijärjestelmästä aiheutuu kustannuksia, joka voi vaikuttaa negatiivisesti sen taloudelliseen näkökulmaan (Vattenfall, i.a.). Tukijärjestelmien käyttöönotto ja ylläpito voivat lisätä sähkön hintaa ja aiheuttaa haasteita markkinoiden kilpailukyvyille.

5 Hajautetut energiaratkaisut

5.1 Energian varastointijärjestelmät

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen maapallolla edellyttää, että kaikki lisäävät merkittävästi uusiutuvan energian osuutta (Eaton, i.a.). Sähköautojen yleistyminen tulee olemaan suuri muutos kaikille energiantuotantoon, sekä sen jakeluun ja kulutukseen osallistuville toimijoille. Energian varastointi tulee mahdollistamaan sen, että kodinomistajat, yritykset, teollisuuslaitokset ja kaupungit voivat varastoida energiaa aina kun sitä on saatavilla ja käyttää sitä tarpeen mukaan. Aurinkopaneelien ja energian varastointijärjestelmien avulla paikallisesti tuotettua uusiutuvaa energiaa voidaan hyödyntää suuremmissa määrin kotien ja rakennusten sähkötarpeeseen tai sähköautojen lataukseen. Energian varastointi tulee mahdollistamaan energian käytön kaikkien kannalta.

Varastointijärjestelmät keräävät ylimääräistä energiaa talteen ja vapauttavat sen tarpeen mukaan (Wago corporation, 2024). Tämä auttaa lisäämään aurinkoenergian käyttöä kotitalouksissa ja yrityksissä, sekä vähentämään sähköverkon äkillisiä kuormituspiikkejä ja tarjoamaan varavoimaa lyhytaikaisiin vaihteluihin.

5.2 Älykkäät sähköverkot (Smart Grids)

Älykkäästi toimiva sähköverkko kykenee joustavaan ja kaksisuuntaiseen energian siirtoon, joka mahdollistaa energian virtauksen molempiin suuntiin hajautetun tuotannon myötä (Motiva, 2024). Lisäksi tiedonsiirto asiakkaan ja verkkoyhtiön välillä tapahtuu kaksisuuntaisesti.

Älykäs sähköverkko, eli "smart grid", toimii markkinapaikkana hajautetulle energiantuotannolle, jossa energiaa tuotetaan useissa pienissä yksiköissä (Opetushallitus, i.a.). Tulevaisuudessa asiakkaat saattavat omatoimisesti tuottaa sähköä omassa kotitaloudessaan ja myydä ylimääräisen energian sähköverkkoon. Esimerkiksi kotona asennettu tuulivoimala voi generoida enemmän sähköä tuulisina päivinä kuin kotitaloudessa tarvitaan.

Älykkäiden sähköverkkojen avulla on mahdollista integroida hajautettua energiantuotantoa, kuten aurinkopaneeleita ja pientuulivoimaloita, sekä hyödyntää kuluttajien joustoa

sähkökulutuksessa (Energiavirasto, 2023b, s. 55). Tulevaisuuden jakeluverkoilta edellytetään kykyä sopeutua ja reagoida hajautetun tuotannon ja kulutuksen vaihteluihin. Tämä tarkoittaa, että jakeluverkkojen taajuuden nopeat vaihtelut tulevat todennäköisesti lisääntymään, mikä voi aiheuttaa haasteita muille verkon käyttäjille. Esimerkkejä tästä kehityksestä on jo havaittavissa pääkaupunkiseudulla, jossa jakeluverkon taajuuden vaihtelut ovat tuottaneet vaikeuksia sähkökäyttäjille.

Sähköntuotannon hajautettu varastointi erilaisiin akustoihin eristyksissä olevissa kohteissa on tähän asti ollut harvinaista, mutta sen odotetaan yleistyvän (Motiva, 2024). Akustoja voidaan hyödyntää paitsi kiinteistöissä myös säätöelementteinä siirto- ja jakeluverkoissa. Tulevaisuudessa sähköautojen akustoissa voitaisiin mahdollisesti varastoida ylimääräistä sähköntuotantoa, mikä toimisi hajautettuna sähkövarastona ja auttaisi tasapainottamaan verkon kuormitusta.

Älykkään sähköverkon toimivuus vaatii tehokasta huolellisesti suunniteltua ja toteutettua automaatiota (Motiva, 2024). Tilanteessa, kun tuuli- ja aurinkosähkö kasvaa verkossa huomattavasti eikä kysyntä riitä sen täysimääräiseen käyttöön, ylimääräinen sähkö voidaan varastoida eri tavoin, kuten lämmitykseen tai jäähdytykseen. Tulevaisuudessa sähkön ylituotantoa voidaan mahdollisesti hyödyntää myös vedyn tuotantoon.

5.3 Paikalliset mikroverkot

Mikroverkot ovat paikallisia sähköverkkoja, jotka ovat kooltaan pienempiä kuin perinteinen kantaverkko (Teknologiateollisuus, 2020). Ne voivat toimia joko osana kantaverkkoa tai itsenäisinä saarekkeina, joissa sähkön tuotanto ja siirto ovat omavaraisia suhteessa ympäröivään järjestelmään.

Perinteisessä sähköverkossa sähkö siirtyy yksisuuntaisesti tuotantolaitoksilta kuluttajille, ja järjestelmän toiminta perustuu historiallisiin tietoihin markkinoista (Teknologiateollisuus, 2020). Mikroverkoissa energia voi sen sijaan liikkua kumpaankin suuntaan, ja niissä voi olla sekä keskitettyä että hajautettua energiantuotantoa.

Mikroverkko toimii siten, että sähköä tuotetaan ja kulutetaan samassa paikassa (Schneider Electric, 2024). Tämä eroaa perinteisestä sähköverkosta, jossa sähkö tuotetaan suurissa voimalaitoksissa ja jaetaan sitten pitkin siirtolinjoja. Mikroverkoissa käytetään erilaisia energianlähteitä, kuten aurinkopaneeleja ja dieselgeneraattoreita, tarvittaessa sähköä voidaan varastoida akkujärjestelmään. Tämä mahdollistaa sähkön käytön esimerkiksi sähkökatkosten aikana tai kun verkon kysyntä kasvaa.

Mikroverkko on itsenäinen energiaverkko, joka palvelee tiettyä maantieteellistä aluetta, kuten kampusta, sairaalakompleksia, yrityskeskusta tai kaupunginosaa (DS New Energy, 2023). Siinä voi olla yksi tai useampi hajautettu energianlähde, kuten aurinkopaneeleja, tuuliturbiineja, yhteistuotantoa sähkölle ja lämmölle tai generaattoreita, jotka tuottavat sähköä. Useimmissa nykyaikaisissa mikroverkoissa on myös energiavarasto, yleensä akut, ja joissakin on nyt myös sähköautojen latauspisteitä. Mikroverkko, joka on liitetty lähellä oleviin rakennuksiin, toimittaa sähköä sekä mahdollisesti lämpöä ja jäähdytystä asiakkailleen kehittyneiden ohjelmistojen ja ohjausjärjestelmien avulla.

5.3.1 Mikroverkon hyödyt

Mikroverkot tarjoavat useita etuja perinteisiin keskusverkkoihin verrattuna (DS New Energy, 2023). Ensinnäkin ne mahdollistavat paikallisen energiantuotannon, mikä vähentää tehotto-
muutta, joka liittyy sähkön siirtämiseen pitkiä matkoja sähkönsiirtoverkon kautta. Tämä paikallinen energiantuotanto voi myös edistää energiaomavaraisuutta ja resilienssiä alueilla, joilla sähköverkon häiriöt ovat yleisiä.

Toiseksi mikroverkot ovat itsensä ylläpitäviä ja voivat toimia itsenäisesti irrottautumalla keskusverkosta tarvittaessa (DS New Energy, 2023). Tämä tekee niistä erityisen hyödyllisiä tilanteissa, kuten luonnonkatastrofien aiheuttamien katkojen aikana, jolloin keskusverkon toiminta saattaa olla häiriintynyt.

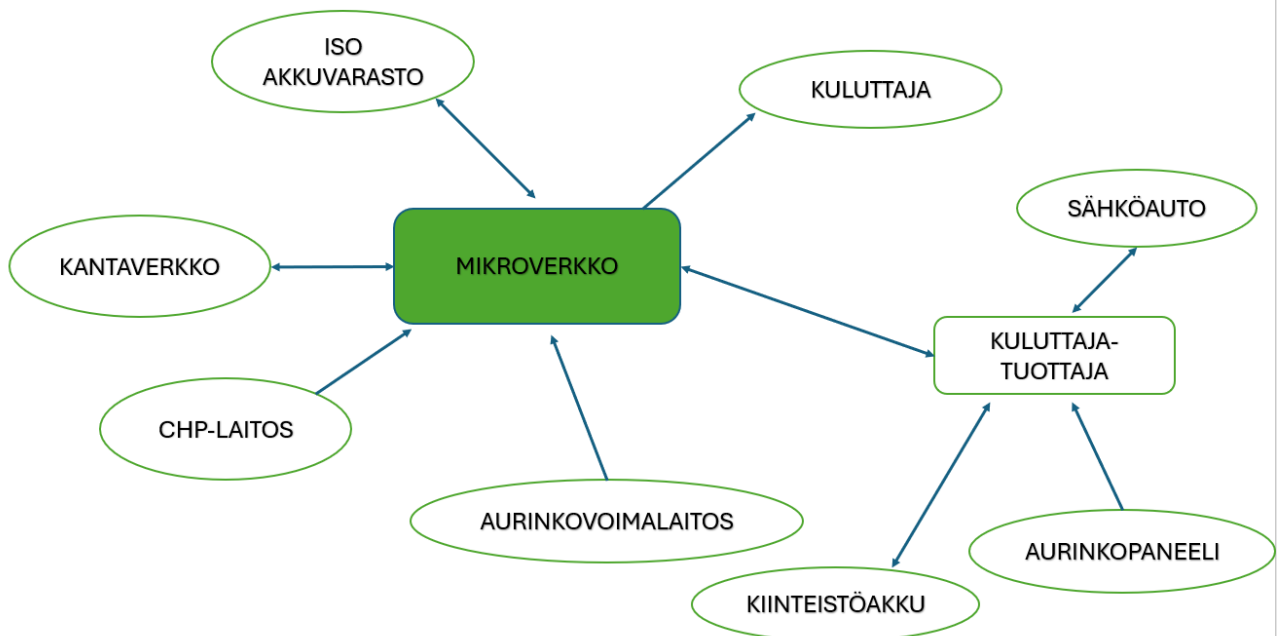
Lisäksi mikroverkoissa käytetään älykkäitä hallintajärjestelmiä, kuten mikrogrid-ohjaimia, jotka optimoivat resurssien käyttöä ja vastaavat asiakkaiden energiantarpeisiin (DS New Energy, 2023). Tämä älykäs hallinta mahdollistaa energian tehokkaan jakelun ja vähentää hävikkiä, mikä edistää energian käytön kestävyyttä ja resurssitehokkuutta.

5.3.2 Mikroverkon haasteet

Mikroverkot tarjoavat useita etuja perinteisiin sähköverkkoihin verrattuna mutta niiden käytössä on myös joitakin haasteita (DS New Energy, 2023). Yksi näistä haasteista on rajoitettu itsenäisyys. Useimmat mikroverkot pysyvät yhdistettyinä sähköverkkoon, mikä tarkoittaa, että ne eivät toimi täysin itsenäisesti. Tämä voi rajoittaa niiden kykyä toimia luotettavasti esimerkiksi sähkökatkojen aikana.

Toinen haaste on korkea alkuinvestointi (DS New Energy, 2023). Mikroverkkojen perustaminen ja käyttöönotto voi vaatia merkittäviä alkuinvestointeja, kuten laitteiden hankintaa ja asennusta sekä infrastruktuurin rakentamista. Tämä saattaa olla este niiden laajemmalle käytölle, erityisesti resurssien niukkuudesta kärsivillä alueilla tai kehittyvissä maissa.

Lisäksi teknologiset haasteet voivat vaikeuttaa mikroverkkojen käyttöä ja hallintaa (DS New Energy, 2023). Monimutkainen teknologia ja tarve jatkuvasti päivittää ja ylläpitää järjestelmiä voivat aiheuttaa haasteita niiden tehokkaassa toiminnassa. Lisäksi teknologian nopea kehitys voi tehdä vanhoista järjestelmistä nopeasti vanhentuneita ja tarpeettomia.



Kuvio 5. Havainnollistava kuvio mikroverkon rakenteesta (soveltaen Lehtomäki, 2020, s. 9)

5.4 Hybridijärjestelmät

Uusiutuvat hybridienergiajärjestelmät ovat kokonaisvaltaisia energiaratkaisuja, jotka yhdistävät erilaisia uusiutuvan energian tuotanto- ja varastointiteknologioita yhdeksi järjestelmäksi (Nrel, 2021). Näitä järjestelmiä pidetään merkittävänä osana laajempaa hybridienergiaratkaisujen kategoriaa. Niiden rooli on korostunut, kun pyritään saavuttamaan mahdollisimman suuri tehokkuus ja kustannussäästöt tulevaisuuden hiilidioksidittomissa sähköverkoissa.

Haja-asutusalueilla, joissa rakennuskaava ei rajoita investointeja on usein mahdollista hyödyntää samanaikaisesti useampaa uusiutuvan energian tuotantomuotoa (Kiwatti, i.a.). Tässä tapauksessa on järkevää yhdistää aurinkopaneelijärjestelmään tuuligeneraattoriratkaisu, mikä mahdollistaa sähköntuotannon omavaraisuusasteen entisestään parantamisen.

Useissa tapauksissa aurinkoenergia valikoituu ensimmäiseksi uusiutuvan energian lähteeksi, mutta vuodenaikojen vaihtelu saa käyttäjät harkitsemaan ympärivuotisen uusiutuvan energian tuotantomahdollisuutta erityisesti talviaikaan (Kiwatti, i.a.). Tällöin tuulivoima tarjoaa merkittävän lisän sähköntuotantoon energiankulutuksen huippu-aikaan, jolloin markkinahinnatkin ovat korkeimmillaan.

6 Johtopäätökset

6.1 Selvityksen yhteenveto

Selvityksen tulokset osoittavat, että keskisuuren hajautetun sähköntuotannon käsite on keskeisessä roolissa sekä nykyisessä että tulevaisuuden energia-alalla. Hajautetulla tuotannolla on monia etuja, kuten energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys, erityisesti keskisuurten tuotantoyritysten ja yksityisten asiakkaiden näkökulmasta. Selvityksessä havaittiin, että liittymiskustannukset riippuvat merkittävästi asumistiheydestä, sekä sijainnista ja myös siitä, minkä tyyppistä liityntävaihtoehtoa käytetään 20 kV:n sähköverkkoon liityttäessä. Selvityksessä tarkasteltiin erilaisia energiaratkaisuja yleisellä tasolla ja saatiin arvokasta tietoa niiden toiminnasta. Verkon liityntävaihtoehdot korostavat tarvetta löytää taloudellisia ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja, vaikka ne eivät aluksi välttämättä ole edullisimpia vaihtoehtoja, ne ovat kustannustehokkaimpia ja luotettavimpia vaihtoehtoja.

Eri energiaratkaisujen vertailussa todettiin, että jokaisella ratkaisulla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Esimerkiksi aurinkoenergia on ympäristöystävällinen ja helppo asentaa, mutta energian tuotanto riippuu sääolosuhteista ja voi näin ollen olla hyvin vaihtelevaa. Tuulivoima tarjoaa vakaata ja ennustettavaa tuotantoa, mutta sen tuottavuus on myös yhtä riippuvainen sääolosuhteista kuten aurinkoenergiankin. Lisäksi energiavarastojärjestelmät, kuten akut ja muut varastointiratkaisut, voivat parantaa hajautetun tuotannon tehokkuutta ja joustavuutta.

Voidaan todeta, että keskisuuren hajautetun tuotannon avulla voidaan parantaa energiantuotannon kestävyyttä, luotettavuutta ja joustavuutta. Selvityksen perusteella suositellaan jatkotutkimusta eri energiaratkaisujen ja liityntävaihtoehtojen mahdollisuuksista sekä niiden vaikutuksesta energiasektorin kehitykseen ja kestävyYTEEN.

6.2 Tulevaisuuden jatkotutkimukset

Teknologian kehitys energia-alalla avaa uusia mahdollisuuksia ja haasteita hajautetun tuotannon liittämiseksi sähköverkkoon. Esimerkiksi älykkäät sähköverkot tarjoavat tehokkaampaa energianhallintaa, mutta niiden käytön ja vaikutusten ymmärtäminen on tärkeää.

Kustannukset ovat tärkeä tekijä hajautetun tuotannon liityntäratkaisuissa. Aurinko- ja tuuli-voiman kustannusten laskiessa liittymiskustannukset voivat silti muodostaa esteen. Jatkotutkimuksessa voitaisiin selvittää taloudellista kannattavuutta ja kustannusten optimointia. Energiavarastointi tarjoaisi tulevaisuuden ratkaisun vaihtelevan tuotannon tasapainottamiseen ja kysynnänhallintaan. Energiavarastointiteknologioita tulisi tutkia, sekä niiden kykyjä ja sovellusmahdollisuuksia eri tilanteissa. Yhteiskunnalliset ympäristövaikutukset on otettava huomioon, vaikka hajautettu tuotanto vähentää päästöjä ja lisää energiaturvallisuutta, se voi aiheuttaa haasteita maisemalle ja paikallisille yhteisöille. Jatkotutkimuksien tekeminen näiden vaikutusten arvioinnista ja kestävien ratkaisujen löytämisestä olisi tarpeellista.

LÄHTEET

- DS New Energy. (5.11.2023). *What is Microgrid?* <https://fi.solarmoo.com/info/what-is-a-microgrid-82163499.html>
- Eaton. (i.a.). *Energian varastointi*. <https://www.eaton.com/fi/fi-fi/products/energy-storage.html>
- Energiamaailma. (i.a.-a). *Aurinkoenergia*.
<https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/aurinkovoima/>
- Energiamaailma. (i.a.-b). *Energiantuotanto*.
<https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/>
- Energiateollisuus. (i.a.). *Sähkön pientuotanto*.
<https://energia.fi/energiatietoa/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon-pientuotanto/>
- Energiavirasto. (10.11.2023a). *Verkkotoimintaan sitoutunut oikaistu omaisuus ja pääoma – keskijännite-(KJ-) verkkojen rooli lisääntyy yhteiskunnan sähköistyessä*.
<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Lausunnot+vahvistusp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6sluonnos+s%C3%A4hk%C3%B6+kantaverkkotoiminta.pdf/93b50cba-8e69-69d0-b5c5-5f45a9d50b09/Lausunnot+vahvistusp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6sluonnos+s%C3%A4hk%C3%B6+kantaverkkotoiminta.pdf?t=1700035714472>
- Energiavirasto. (19.6.2023b). *Yhteenvetoraportti 2022 sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmista*.
<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/22104830/Yhteenvetoraportti+vuoden+2022+s%C3%A4hk%C3%B6njakeluverkon+kehitt%C3%A4missuunnitelmista.pdf/859c5434-0979-9c27-6f5e-8a1a53f8472e/Yhteenvetoraportti+vuoden+2022+s%C3%A4hk%C3%B6njakeluverkon+kehitt%C3%A4missuunnitelmista.pdf?t=1687176575693>
- Enersense. (i.a.). *Päästöttömien energiaratkaisujen toteuttaja*. Haettu 15.11.2023,
<https://enersense.fi/>
- Ermen. (26.9.2015). *Mitä on aurinkoenergia?* <https://www.ermen.fi/mita-on-aurinkoenergia/>
- Kauppalehti. (8.12.2020). *Uusiutuvat energialähteet ja hajautetun energiantuotannon resurssit ovat tulevaisuutta*. <https://www.kauppalehti.fi/kumppanisisallot/ifs/uusiutuvat-energiälähteet-ja-hajautetun-energiantuotannon-resurssit-ovat-tulevaisuutta/>
- Kiwatti. (i.a.) *Kaavoitus ei ole esteenä uusiutuvien energian tuotantomuodoille*.
<https://www.kiwatti.fi/ratkaisut/haja-asutusalueiden-hybridijärjestelmat/>

- Lahti Energia. (2022). *Kehittämissuunnitelma 2022*. https://www.lahtienergia.fi/wp-content/uploads/2023/02/Kehittamissuunnitelma_2022_LES_lopullinen.pdf
- Lehtomäki, A. (8.12.2020). *Saarekekäyttöön kykenevän mikroverkon haasteet Suomessa*. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162011/kandity%C3%B6_Aleksi-lehtom%C3%A4ki.pdf
- Motiva. (27.1.2017). *Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa*. https://www.motiva.fi/files/18392/Hajautetun_uusiutuvan_energiantuotannon_potentiaali_kannattavuus_ja_tulevaisuuden_nakymat_Suomessa.pdf
- Motiva. (31.1.2024). *Älykkäät sähköverkot – aurinkosähkö osana tulevaisuuden sähköjärjestelmää*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/alykkaat_sahkoverkot_-_aurinkosahko_osana_tulevaisuuden_sahkojarjestelmaa
- Nrel. (2021). *Are Hybrid Systems Truly the Future of the Grid?* <https://www.nrel.gov/news/features/2021/are-hybrid-systems-truly-the-future-of-the-grid.html>
- Opetushallitus. (i.a.). *Energiantuotanto: Älykäs sähköverkko – energian internet*. <https://www.oph.fi/fi/oppimateriaali/luovasti-luonnonvaroista/luonnonvarojen-kayttajia/energiantuotanto>
- Schneider Electric. (2024). *Mikä mikroverkko on?* <https://www.se.com/fi/fi/work/solutions/microgrids/>
- Suomen Tuulivoimayhdistys. (i.a.). *Tuulivoima Suomessa*. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>
- Sähkö.info. (30.6.2023). *Tuulivoima Suomessa 2023: Voimakasta kasvua*. <https://www.xn--shk-gla6g.info/tuulivoima-suomessa-2023-lue-kuinka-voimakkaasti-tuotanto-kasvaa/>
- Teknologiaeollisuus. (20.04.2020). *Syrjäseuduilta kaupunkeihin – mikroverkot mahdollistavat vähähiilisen energiantuotannon yleistymisen*. <https://teknologiaeollisuus.fi/fi/ajankohtaista/artikkeli/mikroverkot-mahdollistavat-vahahiilisen>
- Törrönen, M. (23.9.2022). *Hajautettujen energianlähteiden valtava kasvu tuo kiinnostavia haasteita sähköverkkoyhtiöille*. <https://blog.siemens.com/2022/09/hajautettujen-energianlahteiden-valtava-kasvu-tuo-kiinnostavia-haasteita-sahkoverkkoyhtiöille/>

Valtioneuvosto. (27.1.2017). *Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali*.
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80901/Hajautetun%20uusiutuvan%20energiantuotannon%20potentiaali.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vattenfall. (i.a.). *Tuulivoima ja sen hyödyt ja haitat*.
<https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/tuulivoima>

WAGO Corporation. (i.a.). *Energiavarastojärjestelmät*.
<https://www.wago.com/fi/saehkoevoimatekniikka/energian-varastointijaerjestelmaet>