

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
School of Energy Systems
Energiatekniikka

**SAAREKEKÄYTTÖÖN KYKENEVÄN MIKROVERKON
HAASTEET SUOMESSA**
Challenges with island-usable microgrids in Finnish context

Lappeenrannassa 8.12.2020
Aleksi Lehtomäki TkK N

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Energiatekniikka

Alexi Lehtomäki

Saarekekäyttöön kykenevän mikroverkon haasteet Suomessa

2020

Ohjaaja: Ahti Jaatinen-Värri

17 sivua, 2 kuvaa ja 1 taulukko

Hakusanat: mikroverkko, älykäs sähköverkko, hajautettu energiantuotanto

Suomessa on paljon pinta-alaa, ja maa on siten hyvin soveltuva hajautetun tuotannon käyttöön. Hajautettujen uusiutuvien energianlähteiden tehokas käyttö kuitenkin vaatii muutoksia sähköverkkoinfrastruktuuriin. Tässä kandidaatin tutkielmassa tutkitaan, millaisia haasteita on mikroverkkoihin pohjautuvan järjestelmän käyttöönotossa, ja millaisia ratkaisuja niihin on löydetty.

Työ on toteutettu kirjallisuustyönä, ja aineistona on käytetty mikroverkkoja käsitteleviä tai muuten soveltuvia tutkimuksia maailmanlaajuisesti. Merkittävimmäksi haasteeksi havaittiin lainsäädännölliset ja hallinnolliset haasteet, sillä teknologiset haasteet ovat maailmanlaajuisesti pitkälti samat, ja siten tutkimus muualla maailmassa on sovellettavissa myös Suomeen. Suomen toimintaympäristöön soveltuva tehokas lainsäädäntö on tehtävä paikallisella tasolla, ja nykyinen järjestely ei sellaisenaan ole toimintakelpoinen mikroverkkoja ajatellen.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
LUT School of Energy Systems
Energy Technology

Alexi Lehtomäki

Challenges with island-usable microgrids in Finnish context

2020

Supervisor: Ahti Jaatinen-Värri

17 pages , 2 pictures ja 1 table

Keywords: microgrid, smart grid, distributed generation

Finland has a lot of area, and Finland is therefore highly suitable for distributed generation. The efficient use of distributed renewable energy resources requires the grid infrastructure to develop. This bachelor's thesis explores challenges with microgrid-based system and its introduction and the solutions that have been found for the issues.

This thesis is compiled from multiple international research papers concerning microgrids. The biggest challenges were found to be legal and governmental. This is because the technological challenges are similar worldwide, and therefore international research is applicable in Finland, but the legal challenges must be solved locally. The current legislation with electricity grids is not suitable for microgrids in its current state.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO.....	6
2 NYKYTILANNE.....	6
3 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO.....	7
Saarekekäyttöön soveltuva mikroverkko.....	8
4 MIKROVERKKOJEN HAASTEET.....	10
Tekniset haasteet.....	10
Energian tuotanto.....	10
Energian varastointi.....	12
Hallintajärjestelmä.....	15
Yhteiskunnalliset haasteet.....	16
Raha.....	17
Lainsäädäntö.....	18
5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	21
6 YHTEENVETO.....	22

SYMBOLILUETTELO

Lyhenteet

V2H	Vehicle to home
AC	Vaihtovirta
DC	Tasavirta
CHP	Lämmön ja sähkön yhteistuotanto

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan älykkään mikroverkkoteknologian käyttöönoton vaatimuksia. Tavoitteena on tutkia, mitä on tapahduttava, jotta mikroverkkojen käyttöönotto voi tapahtua. Älykkäiden sähköverkkojen alalla saarekekäyttöön kykenevät mikroverkot ovat vain yksi tulevaisuudennäkymä. Tässä työssä käsitellään pääsääntöisesti saarekekäyttöön kykeneviä mikroverkkoja ja niiden haasteita. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena tavoitteenaan selvittää eri maissa tehtyjen tutkimusten pohjalta haasteita suomalaisessa kontekstissa. Tutkimuksessa etsittiin kysymyksiä, joihin tarvitaan ratkaisu ennen laajamittaisen käyttöönoton mahdolliseksi tulemistä. Työssä haasteita on käsitelty niiden nykyisen tilan pohjalta. Joillakin osa-alueilla haasteita on merkittävästi enemmän kuin toisilla, sillä tekniset haasteet ovat maailmanlaajuisesti ratkaistavissa oleva asia lainsäädännöllisten ollessa paikallisesti ratkaistava.

Työn ulkopuolelle on rajattu uusien ratkaisujen kehittäminen ja yleinen käsittelyn taso on rajattu idean ja sen käyttökelpoisuuden tasolle. Tarkat yksityiskohdat erinäisten teknologioiden käytöstä ja liityntäpisteistä on rajattu ulkopuolelle, kuten myös arviot eri konfiguraatioiden kannattavuudesta.

2 NYKYTILANNE

Suomessa käytetään tällä hetkellä tavanomaista sähköverkkojärjestelmää, jossa kuluttajat ja tuottajat ovat yleisesti eri toimijoita. Sähköverkko on välttämätöntä pitää jatkuvasti tasapainossa, ja tätä tavoitetta kohden sähkömarkkinat on muodostettu. Sähkömarkkinat tasaavat verkolle annetut panostukset rahallisesti tunnin askelissa. Tulevaisuudessa luultavasti siirrytään tiheämpään aikaväliin, sillä järjestelmän nykyinen laajuus ja monimutkaisuus ei ole enää käytännöllinen tunnin askelvälillä. Nykyinen sähköverkko on kuitenkin itsessään mahdollista siirtää älykkääseen toimintaan myös ilman mikroverkkoarkkitehtuuria, ja se voidaankin nähdä esiaskeleena. Tällä hetkellä on täysin mahdollista olla sähkön pientuottaja, ja myydä tarvittaessa sähköä verkkoon. Mikroverkossa tämä sama periaate laajennetaan ja pientuottajia ja kuluttajia yhdistetään yhdeksi keskenään toimivaksi yksiköksi.

Siemensin tarjoama virtuaalivoimalaitospalvelu on yksi edistysaskel kohti kulutusjouston normalisointia kuluttajille. Palvelun perusidea on kuluttaa enemmän tai vähemmän sähköä sähköverkon tarpeiden mukaisesti. Konkreettisenä esimerkkinä kulutusjousta nykyjärjestelmän puitteissa järjestelmä on askel kohti älykkäitä mikroverkkoja ja niiden käyttöönottoa. Älykkäille mikroverkoille tarpeellinen osa teknologiaa on siis jo tällä hetkellä saatavilla kiinteistöjen ylläpitäjille. Virtuaalivoimalaitostekniikka on muutenkin omalla tavallaan mikroverkon esiaste yhdistäessään useita käyttäjiä ja mahdollisesti tuottajia yhteiseen toimintaympäristöön. (Siemens, n.d)

Etäluettavia mittareita on asennettu Suomessa likimain kaikkiin käyttökohteisiin. Nämä ovat kuitenkin vain esiaste älykkäälle mittaustekniikalle, ja toisen sukupolven älykkäät mittarit laajamittaisessa käytössä ovat luultavasti joitakin vuosia tulevaisuudessa. Nykyiset älykkäät mittarit kuitenkin pystyvät vastaanottamaan kuormanohjauskomentoja, ja välittämään tiedon eteenpäin tai toimeenpanemaan sen. Vanhanaikaisen perinteisen sähkömittarin poistuminen käytöstä on jo kuitenkin merkittävä askel tiedon tehokkaaseen käyttöön sähköverkossa. Varsinkin seuraavan sukupolven mittaustekniikka voi osoittautua erittäin soveltuvaksi mikroverkon sisäiseenkin käyttöön. (Sarmala, 2019)

3 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO

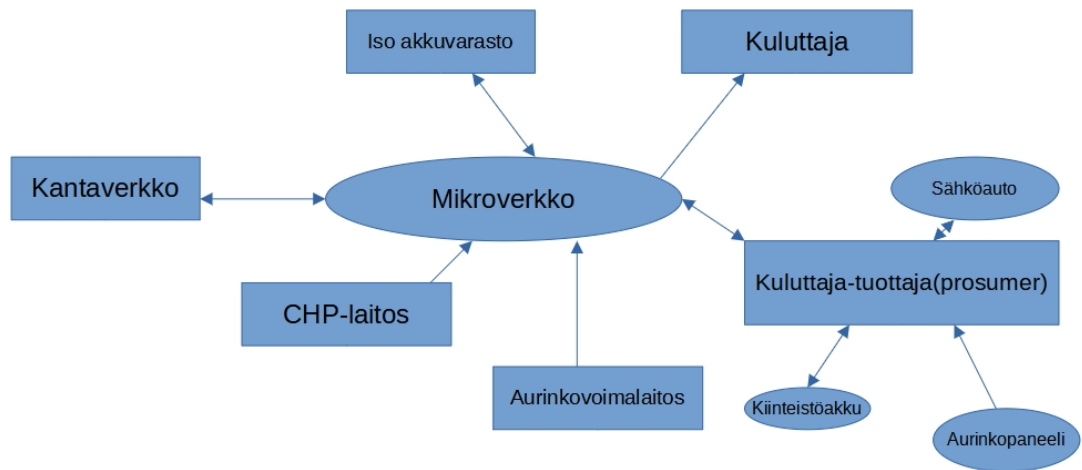
Älykäs sähköverkko on sähköverkon toteutustapa, jonka avulla on mahdollista tasata järjestelmän kulutuspiikkejä älykkäällä kysyntäjoustolla. Nykyinen käytössä oleva järjestelmä pohjautuu tuntitaseisiin, joiden kautta sähköverkon taajuuden ylläpitämisen vaatimat toimet tasataan verkon eri toimijoille yleensä rahallisesti. Älykkäiden sähköverkkojen perusosat ovat etäluettavat sähkömittarit, sähköyhtiöiden ICT-järjestelmät ja itse fyysinen sähköverkko. Itse sähkön siirtyminen on tekniikaltaan vastaavaa, kuin perinteisessä verkossakin, verkon käyttöä tehostetaan tietojärjestelmin. Metallisiin johtimiin itseensä ei tarvita muutoksia. Älykäs sähköverkko nähdään nykyistä yksisuuntaista mallia parempana monin osin. Älykäs verkko pystyy ratkaisemaan häiriötilanteita itsenäisesti ja parantamaan verkon resurssien käyttöä ja

ympäristöystävällisyyttä. Älykäs sähköverkko kykenee sulkemaan rikkinäisen osan ulos verkosta, jolloin sähkö kiertää tarvittaessa. Älykäs, varsinkin saarekekäyttöinen, verkko on myös paremmin luonnonvoimia ja hyökkäyksiä kestävä kuin tavanomainen sähköverkko hajautetun luonteensa avulla (Faisal et al., 2018). Älykkäässä sähköverkossa verkon jäsenet voivat omalla toiminnallaan osallistua verkon optimointiin automatisoidusti esimerkiksi sähköauton latauksen välityksellä, kun latauksen ajankohtaa siirretään tarpeiden mukaisesti siten, että verkon kuormahuiput tasoittuvat. Kuormahuippujen tasoittaminen on erittäin hyödyllistä, sillä kapasiteettia on oltava korkeimman huipun verran. Kapasiteetin lisääminen on yleisellä tasolla kallista, ja huippujen käsittelemiseen käytetään yleensä nopeasti saatavilla olevia energiantuotantomuotoja kuten kaasuturbiineja, joiden hyötysuhde ja ympäristöystävällisyys eivät ole parhaasta päästä.

Älykkäät sähköverkot mahdollistavat myös kaksisuuntaisen verkon käytön, jolloin kuluttajan ja tuottajan ero alkaa häilyä. Jo tällä hetkellä on mahdollista ruveta pientuottajaksi kiinteistönä, jolloin omaa tuotantoa on mahdollista myydä verkkoon, mikäli omaa käyttöä sähkölle ei ole yhtä paljon kuin tuotantoa. Mikroverkottomassa ratkaisussa ylijäämänsähkö myydään suoraan kantaverkkoon, kun mikroverkkojen tapauksessa ostaja sähkölle pyritään löytämään verkon sisältä.

Saarekekäyttöön soveltuva mikroverkko

Mikroverkko on paikallinen sähköverkko, jossa paikalliset sähkön tuottajat ja käyttäjät käyvät kauppaa keskenään ja keskitetysti mikroverkon ulkopuolen kanssa. Saarekekäyttöinen verkko on kytkettävissä irti kantaverkosta, jolloin kantaverkon häiriö ei vaikuta verkon alueen asukkaisiin. Mikroverkon tavoite on vähentää sähkön siirtomatkaa ja tehostaa paikallisesti tuotetun sähkön käyttöä. Sähkön paikallinen hajautettu tuotanto ja käyttö mahdollistaa uusiutuvien energianlähteiden käytön nykyistä tehokkaammin. Kantaverkkoon kytketty mikroverkko voi periaatteessa olla kokonaan uusiutuvien varassa. Kantaverkon ulkopuolelle rakennettu mikroverkko on käytännössä varustettava hybridiratkaisulla, jossa käytetään uusiutuvia energianlähteitä ja fossiilisia yhdessä toimitusvarmuuden takaamiseksi. Kuva 1 esittää kantaverkkoon kytketyn mikroverkon rakennetta yksinkertaistetussa muodossa.



Kuva 1: Yksinkertaistettu kaavio mikroverkon rakenteesta

Mikroverkko on luonnollisesti myös kykenevä myymään tuottamaansa ylijäämäsähköä kantaverkolle, mikäli tämä on taloudellisesti kannattavaa. Mikroverkko kykenee myös kysyntäjoustoon kantaverkkoa kohten, jolloin esimerkiksi ylimääräsähköä voidaan ostaa mikroverkon energiavarastoihin tai sähkön käyttöä välttää aikana, jolloin se on kallista, mutta oma tuotanto ei riitä kattamaan kulutusta. Mikroverkko näkyy kantaverkkoon päin yhtenä sähkön käyttökohteena, jolloin sähkönkäytön mittarointi ja tasapainotus mikroverkon sisällä tapahtuu mikroverkon sisäisesti. Saarekekäyttö on mikroverkkojen yksi tärkeimmistä eduista. Mikroverkkojen käytöllä voidaan vähentää siirtohäviöitä, parantaa paikallista sähkön toimitusvarmuutta, alentaa investointikustannuksia ja vähentää päästöjä. Sähkön laatua on myös helpompi kontrolloida pienemmässä skaalassa. (Yoldaş et al., 2017)

Mikroverkot ovat enimmäkseen Yhdysvalloissa kehitetty konsepti sähkön jakeluhäiriöiden vähentämiseksi. Kuitenkin teknologia on herättänyt kiinnostusta monissa muissakin paikoissa, muun muassa Euroopassa. EU-projektein on tutkittu verkkomallin käyttökelpoisuutta eurooppalaisessa käyttöympäristössä. Alueellinen energiaomavaraisuus on tavoiteltava tilanne, jonka saavuttamiseksi on saatava uusiutuvat energianlähteet erittäin

tehokkaaseen käyttöön, joka vaatii mikroverkkojen käyttöä. (Sarvaranta, 2010)

4 MIKROVERKKOJEN HAASTEET

Saarekekäyttöön kykenevän mikroverkkojärjestelmän käyttöönotossa on useita haasteita. Haasteita on useilla eri osa-alueilla; teknologia, yhteiskunta, raha ja lainsäädäntö

Tekniset haasteet

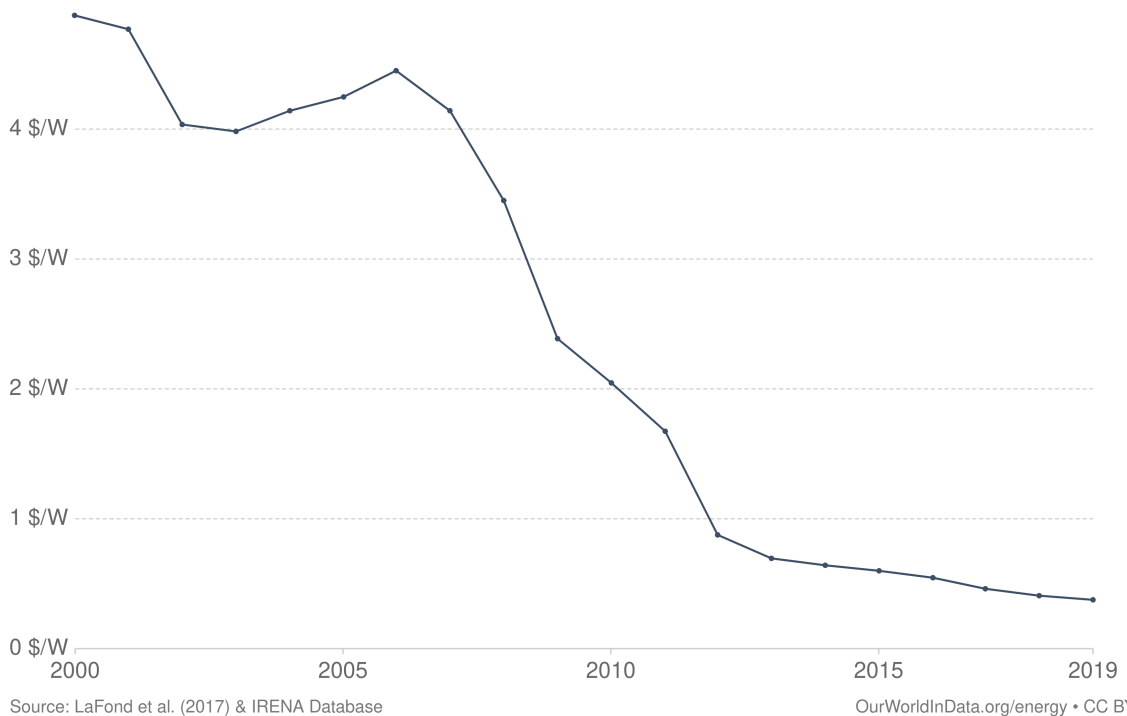
Mikroverkkojen kyky toimia tehokkaasti vaatii tapoja varastoida energiaa. Sähkönsiirtojärjestelmään integroitavien ICT-järjestelmien kehitys on välttämätöntä tehokkaalle verkon ohjaukselle. Yksinkertaisen logiikkaohjauksen kanssa pääsee kohtuullisen pitkälle, mutta koneoppiminen voi tuoda tehokkaampia järjestelmiä, jotka osaavat ennustaa asukkaiden tarpeita ja vastata niihin paremmin (Rosato et al., 2019).

Energian tuotanto

Hajautettua energiantuotantoa voidaan toteuttaa melkein millä tahansa energiantuotantomuodolla. Esimerkiksi ydinvoima ei kuitenkaan nykymuodossaan juurikaan sovellu hajautettuun tuotantoon suurien yksikkökustannustensa ja -kokonsa vuoksi. Uusiutuvien energianlähteiden käyttö on hajautetusti hyvin luonnollista, sillä aurinkopaneelit ja tuulivoimalat on joka tapauksessa hajasijoitettava, sillä ne vievät paljon pinta-alaa suhteessa saatuun tehoon (Fthenakis and Kim, 2009). Mikroverkossa Suomessa on käytännöllistä käyttää CHP-laitosta, jotta alueen kaukolämpöverkkoa voidaan ajaa polttamalla biomassaa. CHP-laitos kykenee myös paikkaamaan verkon sähköntarvetta, kun verkon uusiutuvat osat eivät tuota tarpeeksi energiaa verkon tarpeisiin. Hajautetun tuotannon toteuttaminen uusiutuvilla energianlähteillä on tullut merkittävästi edullisemmaksi 2000-luvulla. Alla olevissa kuvaajissa on esitetty uusiutuvien energianlähteiden hinnankehitystä kapasiteettia kohden. Kuva 2 kuvaa aurinkopaneelien hinnan kehitystä 2000-luvulla. Hinta on laskenut merkittävästi lyhyessä ajassa, ja aurinkopaneeliteknologia on kohtalaisen edullista varsinkin kesäkauden energiantarpeen tyydyttämiseen.

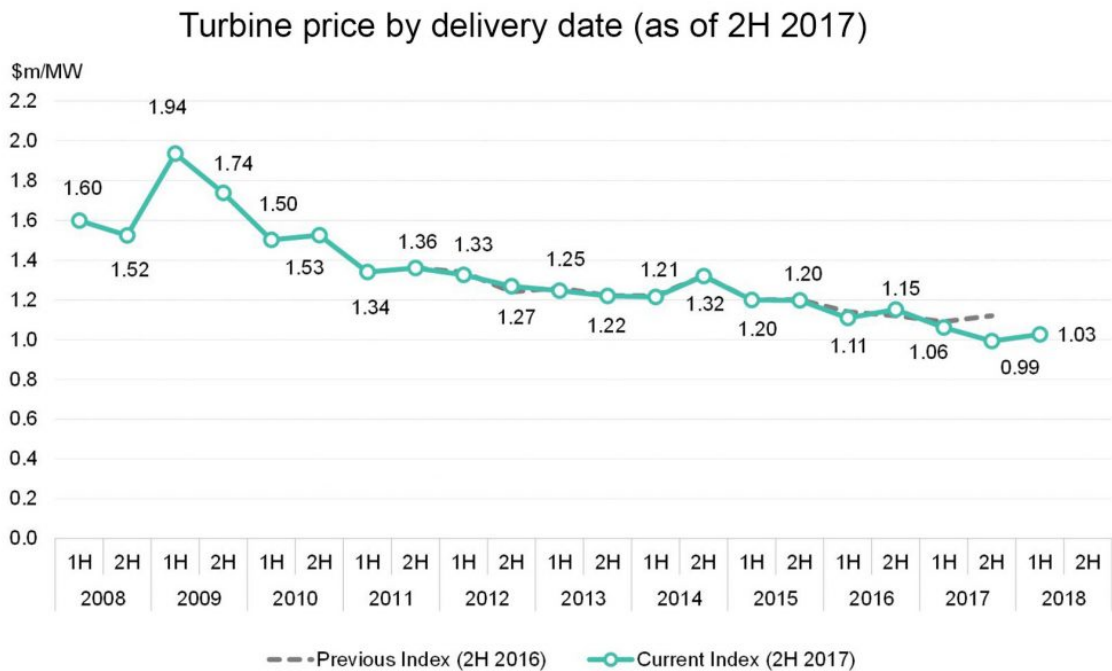
Solar PV module prices

Global average price of solar photovoltaic (PV) modules, measured in 2019 US\$ per Watt.



Kuva 2: Aurinkopaneelien hinnankehitys (Our world in data, 2020)

Kuva 3 näyttää tuuliturbiinien hinnankehityksen vuodesta 2008. Tuulivoiman laitteistokustannukset ovat laskemassa hitaasti. Uusiutuvat energianlähteet ovat kohtalaisen edullisia asentaa, ja mikroverkossa niistä saadaan käytettyä suuri osa potentiaalista. Ajallinen vaihtelu tuotannossa kuitenkin pakottaa uusiutuvien laajan käytön yhteyteen myös suurehkoja energiavarastoja, joiden kustannukset voivat olla merkittävästi suuremmat kuin itse uusiutuvan energiantuotannon. Jos käytetään samalla CHP-laitosta, kaasuturbiinia tai dieselgeneraattoria, on verkon itsenäinen saarekekäyttöisyys merkittävästi helpommin saavutettavissa. Lämmöntuotanto on Suomessa tarpeen, joten polttamiseen perustuva laitos on hyödyksi myös alueen lämmitykseen. Myös muut kuin tuuli- ja aurinkovoima ovat mahdollisia energiamuotoja mikroverkossa, esimerkiksi aaltovoima.



Source: Bloomberg New Energy Finance.

Kuva 3: Tuuliturbiinien hinnank kehitys (BloomberNEF, 2019)

Saarekekäyttöisten mikroverkkojen tarpeisiin on riittävästi erilaisia energian tuotantotapoja, ja niiden yhteiskäyttö on hyvin mahdollista. Erilaiset teknologiat jatkavat kehittymistään tulevaisuudessa, jolloin nykyistä tilannetta parempia vaihtoehtoja on kohtuullista olettaa tulevan saataville. Saarekekäyttöisten mikroverkkojen toteutus on erittäin mahdollista kohtuullisin kustannuksien energiantuotannon suhteen.

Energian varastointi

Energiavarastojen kehitys on välttämätöntä mikroverkkojen tehokkaalle toiminnalle saarekkeena. Lyhyen aikavälin epätasaisuutta voidaan tasapainottaa esimerkiksi vauhtipyörään pohjautuvalla järjestelyllä, kun pidemmän aikavälin tasaamiseen tarvitaan akkuja. Akut ovat tällä hetkellä kohtuullisen kalliita, joten kapasiteetin määrä ei voi olla kovin suuri. Lämpöakkua voidaan lämmittää sähköllä, jolloin esimerkiksi alueen kaukolämpöjärjestelmän tai teollisuuslaitoksen käyttöön on saatavilla lämpöä tasaisesti tuotannon muutoksista huolimatta (Elstor, 2020). Energia kuitenkin 'pilaantuu' kun se muutetaan lämmöksi, sillä sitä ei saa tehokkaasti takaisin muihin muotoihin, joten lämmöksi muuttamista tulisi käyttää vain runsaan ylituotannon kanssa. Lämpöpumppua käyttämällä lämmöntuotanto sähkönsä kanssa on tehokasta ja edullista. Lämpövaraston on

oltava riittävän suuri, ja lämmönkäytön riittävää, että varastoon lämmön pumppaaminen on mahdollista myös pidemmällä aikavälillä. Suomen olosuhteissa olisi mahdollista hyödyntää kaukolämpöä ja kaukokylmää ajamalla järjestelmää kohti äärimmäisiä lämpötila-arvoja silloin kuin energiaa on saatavilla ylimäärin. Lämpöpumput luonnollisesti ovat merkittävästi suoraa sähkövastusta energiatehokkaampia. Lämmön ja sähköntuotannon optimointiin keskenään on erilaisia malleja, joilla kustannukset saadaan minimoitua (Awad et al, 2009).

Sähköautot ovat yksi erittäin potentiaalinen tapa tasata mikroverkkoa. Tavanomainen sähköauton latauspiste on yksisuuntainen, jolloin auto ottaa sähköä verkosta akkuihinsa, ja lopettaa akkujen ollessa täynnä. Kaksisuuntainen latausjärjestelmä mahdollistaa sähköauton akuston käytön verkon tai asuinrakennuksen tarpeiden palvelemiseen. Esimerkiksi asuinalue, jolla on paljon sähköautoja mahdollistaa autojen akustojen käytön verkon tai talon energiavarastona ilman erillistä akkua. Sähköauton latauksen älykäs käyttö talon oman energiankulutuksen kattamiseen (V2H) voi laskea sähkönkäytön kustannuksia 48% verrattuna älyttömään lataukseen. Yhdistettynä kodin energiahallintajärjestelmään, joka mikroverkossa on tarpeen voidaan saavuttaa 62.5% kustannusten lasku verrattuna kulutusjoustottomaan järjestelyyn (Erdinc et al., 2015). Näistä luvuista voidaan päätellä sähköautojen olevan merkittävä osa ratkaisua, ja sähköautojen yleistymisen olevan merkittävää mikroverkkojen käyttöönotolle kustannustehokkaasti, sillä sähköautojen akustot voivat palvella pienen skaalan energiavarastoina latauspistokkeessa kiinni ollessaan. Suomen tavoite sähköautojen suhteen on 250 000 kappaletta vuoteen 2030 mennessä. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Tässä tavoiteluvussa on kuitenkin nousupainetta, ja se voi lähitulevaisuudessa muuttua merkittävästi, esimerkiksi kaksinkertaistua (Yle, 2020). Sähköautojen latauspisteet ovat tällä hetkellä keskittyneet kaupunkialueille, eritoten pääkaupunkiseudulle Tesla Club Finlandin ja Sähköautoilijat Ry:n ylläpitämän latauskartan mukaan. Koreassa tehdyn tutkimuksen mukaan infrastruktuuri ei kuitenkaan ole merkittävä tekijä sähköautojen käyttöönotossa käytösäteeseen verrattuna (Kim and Heo, 2019). Infrastruktuuri ja valtion tuki havaittiin molemmat pieniksi vaikuttimiksi verrattuna käytösäteeseen, jolloin voidaan päätellä sähköautojen teknologian kehityksen ja akkuteknologian kehityksen olevan merkittävä tarve sähköautojen laajamittaisen käyttöönoton kannalta. Infrastruktuuri kehitty

markkinaehtoisesti vastaamaan tarpeeseen.

Sekä lämmön että sähkön varastointi voidaan toteuttaa eri tasoilla. Energian tuotanto- ja käyttökohteisiin voidaan liittää omat pienikokoiset varastointiratkaisut, joiden avulla voidaan tasata pienet muutokset tuotannossa ja kulutuksessa paikallisesti. Keskitetty varastointiratkaisu vastaa verkon tarpeiden tyydyttämisestä, kun verkossa ei ole saatavilla tuoretta energiaa. Näiden tasojen väliin on mahdollista lisätä esimerkiksi noin korttelin kokoisen alueen oma varastointijärjestely. Suuressa skaalassa voidaan käyttää samoja menetelmiä kuin kantaverkossakin, esimerkiksi pumppuvoimalaitos voi hyvinkin tehokkaasti vastata alueen varastoinnintarpeesta, mikäli sellainen on mahdollista helposti alueelle rakentaa. Tämä kuitenkin vaatii soveltuvia pinnanmuotoja ja tilaa tekoaltille. (Faisal et al., 2018)

Varsinkin vaihtovirtaverkossa tarvitaan jatkuvaa varastonkäyttöä tasaamiseen. Vaihtovirtaverkossa on käytännöllistä käyttää vauhtipyörää verkon inertian lisäämiseksi, jolloin verkko ei ole niin herkkä muutoksille kummassakaan suunnassa. Teknologia on suhteellisen yksinkertaista, mutta investointikustannuksiltaan kallista. Tasavirtaverkko on varastoinnin kannalta hieman yksinkertaisempi, ja verkon taajuus ei ole jatkuva huolenaihe. Akku kytkettynä tasavirtajärjestelmään suoraan tasaa jännitettä automaattisesti, mutta edestakaisesta virrankulusta syntyy haittoja akun käyttöiälle (Kumar et al., 2017). Tästä syystä usein käytetään DC-DC -muuntajaa akkupohjaisen varastojärjestelmän liittämiseen.

Superkondensaattoreita voidaan käyttää mikroverkoissa lyhytaikaiseen tasaamiseen. Borrego Springs Community Microgridissa käytetään superkondensaattoreita lyhyen aikavälin tasaukseen (Pratt ja Bialek, 2019). Superkondensaattorit ovat hyvin soveltuvia lyhyiden ja suurien piikkien tasoittamiseen, sillä ne voidaan ladata ja tyhjentää nopeasti. Superkondensaattoreiden tehotiheys on erinomainen, mutta energiatiheys on akkuja merkittävästi heikompi. (Hulttinen, 2019)

Energian varastointi on teknisistä haasteista vaikeimpia, sillä suuren energiamäärän varastoiminen tavalla, jolla se on myös helposti hyödynnettävissä on vaikeaa. Rajallinen

syklikesto lisää kustannuksia akkujen kanssa, sillä ne on uusittava säännöllisesti. Tällä hetkellä saatavilla olevalla teknologialla on kuitenkin mahdollista rakentaa mikroverkkojärjestelmä, joka säästää sekä kustannuksia että ympäristöä, kuten Borrego Springsissä ja Fremontissa (Pratt ja Bialek, 2019)(Bradley, 2019). Power-to-X -teknologia on mahdollinen tulevaisuudennäkymä, jossa energiaa käytetään synteettisen polttoaineen valmistamiseen (LUT, 2020). Nykyisin tekniikka on vielä alkuvaiheessa, ja mikroverkolle merkittävän skaalan hyödyntämiskelpoisuus on siten vasta spekuloitavissa. Merkittävä määrä ylijäämäenergiaa mikroverkossa on kuitenkin varsinkin kesäisin hyvin mahdollinen tilanne, jolloin polttoaineen valmistaminen talvella käytettäväksi voi muodostua järkeväksi ratkaisuksi.

Hallintajärjestelmä

Älykkään verkon keskeinen osa, joka kehittyy nopeasti. Useita erilaisia malleja verkon hallintaan on esitetty. Hallintajärjestelmän on tasattava mikroverkon toimintaa reaaliaikaisesti, jotta sähköverkko pysyy toimintakuntoisena ja sähkön laatu on hyvää. Saarekekäytössä hallintajärjestelmän merkittävimmät haasteet ovat kaksisuuntainen virrankulku, järjestelmän mallinnus, vakauden takaaminen, matalan inertian aiheuttama herkkyys muutoksille ja epävarmuustekijöiden huomiointi. (Olivares ym , 2014)

Mikroverkon hallinnasta voidaan kuitenkin poistaa monimutkaisutta käyttämällä tasavirtaista verkkoa. Tasavirtaverkossa verkon taajuudesta, loistehosta ja harmoniasta ei tarvitse vaihtovirtaverkon tavoin huolehtia. Hajautetut tuotantoyksiköt eivät tarvitse monimutkaista ja kallista sykronointijärjestelmää tasavirtajärjestelmää käytettäessä (Roslan et al., 2019). Tasavirtaisen mikroverkon käytössä on kuitenkin huonona puolena hankalampi yhteensopivuus olemassaoleviin järjestelmiin. Pelkkä energiavaraston tarkka hallinta ei pysty tasaamaan verkon toimintaa riittävän hyväksi. On välttämätöntä, että myös tuotanto ja kulutus joustavat verkon tarpeiden mukaisesti tarkasti ja nopeasti.

Merkittävänä hallintajärjestelmän haasteena voidaan nähdä saarekekäyttöisen verkon tahdistaminen takaisin verkkoon saarekekäytön jälkeen, sillä tällöin tapahtuu tilanne, jossa kaksi verkon osaa eivät ole synkronoituja keskenään. Mikroverkon tilanne riippuu hyvin

monista muuttujista, jolloin järjestelyn on oltava kykenevä tekemään nopeita verkonlaajuisia säätöjä, jotta kummankaan verkon laatu ei kärsi. Tasavirtaisessa mikroverkossa liitoskohdassa täytyy olla molempiin suuntiin toimivat muuntoratkaisut erikseen. Mikroverkon liittäminen takaisin kantaverkkoon on helpompaa, sillä tasavirtaisen verkon laadun ylläpito on merkittävästi yksinkertaisempaa. Tämä johtuu siitä, että tasavirtaisessa verkossa on pidettävä huolta vain jännitteesta, kun vaihtovirtaisessa mikroverkossa myös taajuus on saatava pysymään sallituissa rajoissa, jolloin ongelmaan tulee uusi ulottuvuus. Tasavirtaisen verkon on kohtalaisen helppo käyttää vaihtovirtaa kantaverkosta, sillä tasasuuntaajat ovat vanhaa ja toimivaksi havaittua teknologiaa. Toiseen suuntaan tehon siirtäminen on merkittävästi hankalampaa. Ratkaisuksi on ehdotettu Active-Front-End -rakenteella varustettua taajuusmuuttajaa, joka kykenee suorittamaan siirtoa molempiin suuntiin. Tasavirtaisen verkon käytössä on muitakin haasteita, kuten tarve kohtalaisen suurelle määrälle tehoelektronikka ja luonnollisen nolajännitteen puute. (Kumar et al, 2017)

Hallintajärjestelmiä on olemassa käyttökelpoisin toimintalogiikoin varustettuja, ja itse tekninen toteutus ei sinänsä ole uusi asia. Kuitenkin on oletettavaa, että hallintajärjestelmät kehittyvät nopeasti, mikäli nykyistä tekniikkaa aletaan käyttämään laajemmin. Tällöin on todennäköistä, että parannuskohteita ja parannuksia ilmenee.

Yhteiskunnalliset haasteet

Mikroverkossa, jossa kysyntäjousto on tarpeellista ja pakollista tulee vastaan tilanteita, joissa kaksi eri tahoa tarvitsee sähköenergiaa, mutta vain toisen tarpeisiin on mahdollista vastata. Varsinkin saarekekäytössä tämä tilanne on realistinen, ja ongelmia muodostuu oikeuksista sähköön. On mahdollista ratkaista ongelma suoraan rahalla, jolloin varakkaalla taholla on aina etuajo-oikeus sähköön, mutta väistytävä taho saa tilanteesta rahallisen korvauksen. Suomessa ei kuitenkaan ole tyypillistä, että rahalla saisi paremman pääsyn peruspalveluihin, joten tähän on kehitettävä monimutkaisempi ja kokonaisuutena reilumpi järjestely. Kysyntäjousto ja verkon optimointiin osallistuminen eroaa merkittävästi tavallisen sähkönkäyttäjän roolista verkossa, ja siirtymävaiheessa saattaa muodostua

tilanne, jossa osa käyttäjistä on suostuvaisia kysyntäjoustoan ja osa ei. Ratkaisuja voidaan hakea rahallisesta edusta kysyntäjoustoan osallistuville tai kysyntäjousto voidaan asettaa ehdoksi verkon jäsenyydelle. Tässä kuitenkin ongelmaksi muodostuu vaaditun kysyntäjoustoan määrä. Esimerkiksi maalämmön käyttäjältä on kohtuutonta vaatia vastaavia joustoja kuin suoralla sähköllä lämmittävältä. Kokonaiskulutukseenkin suhteutettu vaatimus joustoista ei aina ole kohtuullinen, esimerkiksi viljankuivaamon tai muun vastaavan pienen teollisuuslaitoksen omistajalta.

Mikroverkkojen haasteeksi voi muodostua myös kulttuurin kehittymättömyys energiatehokkuuden suhteen. Sähkön voidaan nähdä olevan säännöstelyn alla, eikä sähkön suhteen haluta siirtyä ”pula-aikaan”. Tämä on potentiaalinen haaste, jonka mahdollista laajuutta ja ongelmallisuutta on erittäin mahdotonta ennakoida. Kuitenkin asioissa, joita ei jostain syystä haluta tehdä ilmenee ikävänä lieveilmiöinä jarrutuskeskustelua ja lisäselvitysten loputonta vaatimista mahdollisesti hyvinkin pienen ryhmän toimesta, kuten esimerkiksi Tampereen raitiovaunuhankkeen kohdalla tapahtui. Tällainen keskustelu voi viivästyttää verkkotekniikan kehitystä varsinkin alueellisesti merkittävästi. Haasteena tämänkaltaiset ongelmat ovat kuitenkin likimain mahdottomia ennakoida millään tavalla ennen kuin parlamentaarinen päätöksenteko aiheen ympärillä aloitetaan. Yleisesti ottaen jarrutuskeskustelu ei kuitenkaan voi jatkua aidosti loputtomiin. Nämä mahdolliset haasteet on kuitenkin ennakoitava, ja siihen on suositeltu asian esittämistä erittäin valmiiksi suunniteltujen pakettien kautta, jossa hyödyt ja riskit on selkeästi esitetty ilman ylimääräistä informaatiomäärää (Heiskanen et al, 2012).

Raha

Sähköverkkojen rakennuskustannukset on saatava katettua jollain, ja tämä pätee myös mikroverkkoihin. Suomessa sähköverkon ylläpitäminen kustannetaan siirtomaksuilla, ja tämän järjestelyn käyttö mikroverkkojen kanssa on yksi vaihtoehtoista. On myös mahdollista kustantaa verkkojen uudistaminen lainarahalla, mutta silloin uuden verkon tehokkuuden on korvattava kulut laina-ajan puitteissa. Verkkoja ei kannata uudistaa kesken käyttöään, mutta uusittaessa verkkojen päivittäminen on kannattavaa. Tämä viivästyttää käytössä olevan teknologian vaihtumista. Infrastruktuurin uusiminen on kallista, ja

välttämätöntä parempaa infrastruktuuria harvoin rakennetaan, kun rahallinen tilanne on tiukalla. Mikroverkkoprojektien takaisinmaksuaikaa on yleisessä tasolla mahdotonta arvioida, sillä mikroverkot ovat sekä modulaarisia että erittäin moninaisia toteutustavoissaan ja energiantuotantotavoissaan (Asmus ja Lawrence, 2016). Yhdysvalloissa Fremontissa käytetään mikroverkkoteknologiaa pienessä mittakaavassa paloasemien toimintakyvyn takaamiseksi sähköverkon vikatilanteissa. Näiden projektien takaisinmaksuaika on ollut viiden ja kuuden vuoden välillä teknologian tuomien säästöjen kautta (Bradley, 2019).

Nykyhetken järjestelmällä sähköverkkoyhtiö voi rakentaa verkon, ja ottaa toiminnastaan lainsäädännön määräämää kohtuullista tuottoa. Tällöin raha tulee sähköverkkoyhtiöön sijoittaneilta tahoilta, jolloin lainaa ei tarvita. Sähköverkkoyhtiön tapauksessa modernin verkkoratkaisun rahallisista hyödyistä osa menee sähköverkkoyhtiölle. Yksi merkittävä kysymys on, että kuinka paljon sähköverkkoyhtiö saa hyötyä rahallisesti kysyntäjoustopa, ja paljonko hyödyistä on mentävä kysyntäjoustopa tehneelle taholle. Erittäin huonosti onnistuneen lainsäädännön tapauksessa on mahdollista, että verkkoyhtiö vaatii kulutusjoustopa verkon jäseneltä, muttei maksa siitä mitään.

Mahdollinen ratkaisu olisi myös paikallisesti verkon käyttäjien omistama verkkoyhtiö tai -osuuskunta. Verkon käyttäjien omistama sähköverkko-osuuskunta olisi järjestettävä siten, että osuus on sidottu kiinteistöön, jolloin toimijoiden ja asukkaiden vaihtuminen alueella ei muodostu ongelmaksi. Tässäkin järjestelmässä kysyntäjoustopa hyödyt on tasattava rahallisesti jäsenten kesken, sillä ei voida olettaa että verkko, jossa joustopa menisi tasan olisi mahdollinen. Suoralla alueen toimijoiden lainarahalla rahoitettu osuuskunta jakaa verkkohankkeen riskit osanottajille, kun taas tavanomaisen sähköverkkoyhtiön järjestämässä verkossa riskistä maksetaan tuoton mahdollisuutena, ja hankealueen kiinteistöissä ei ole ylimääräistä riskiä.

Lainsäädäntö

Nykyinen lainsäädäntö sähköverkkopa koskien ei ole valmis mikroverkkopa kaltaisiin uudistuksiin. Laki ja säädökset ovat tällä hetkellä kykenemättömiä vastaamaan

eturistiriitoihin joita älykkäissä sähköverkoissa voi muodostua. Jotta lainsäädäntöä on intressi kehittää kohti mikroverkkoja, tarvitaan joko poliittinen tai yksityinen toimija, joka asiaa ajaa.

Suomessa tällä hetkellä on meneillään LEMENE-projekti paikalliseen verkkoon liittyen, ja se on törmännyt lakitekniisiin ongelmiin. Verkko on tekniikan puolesta valmis, mutta asiakkaita ei verkkoon saa liittää, sillä kiinteistöjen rajoja ylittäviä verkkoja saavat rakentaa vain sähköverkkoyhtiöt. Tämän jälkeen LEMENE haki suljetun jakeluverkon lupaa, joka on suunnattu teollisuusalueille, jota sille ei myönnetty. Valtio tuki projektia rahallisesti aikaisemmassa vaiheessa. Lainsäädännön ja hallintokulttuurin on kehityttävä yli ristiriitaisesta toiminnasta pieniä verkkoratkaisuja kohtaan. EU-direktiivi tuonee tulevaisuudessa energiayhteisön käsitteen väkisinkin suomalaiseen lainsäädäntöön. Pykälät on kuitenkin muotoiltava oikein, jotta lainsäädäntö palvelee sekä ympäristön että sähkönkäyttäjien tarpeita. Nykyinen ratkaisu tekee mikroverkkojen käytön laillisesti mahdottomaksi, mikäli projektia ei aja nykyinen sähköverkkoyhtiö. Alueella ei entuudestaan ollut sähköverkkoa. Elenia kuitenkin vastustaa projektia rinnakkaisen verkon rakentamisen järjettömyys perusteenaan. (Yle, 2020.)

Tämän lisäksi verkossa, jossa yhteisvastuullisesti pidetään huolta verkon tilasta ja energiasta, tulee kysymykseksi myös kenen omistamaa sähköverkko ja sen sähkö on. Mikroverkoissa on useita erilaisia omistajuusmenettelyjä. Tärkeimmät on esitetty alla taulukossa Taulukko 1.

Taulukko 1 Lähde:(King and King, 2005)

Omistusmalli	Kuvaus
Sähköverkkoyhtiö	Sähköverkkoyhtiö omistaa ja ylläpitää verkkoa. Osa hyödyistä laskee hintoja, osa menee yhtiön tuottoihin.
Isäntämalli	Yksittäinen isäntä asentaa mikroverkon alueelle ja myy lämpöä ja sähköä osakkaille vuokrasopimuksen kaltaisella sopimuksessa.
Yhteisomistusmalli	Useat yksiköt omistavat ja huoltavat järjestelmää yhteisvastuullisesti täyttääkseen omat lämmön ja sähköntarpeensa. Asiakkaat voivat vapaaehtoisesti liittyä verkkoon sopimuksen

mukaan.

- Asiakas-tuottaja - Yksittäinen henkilö tai yritys omistaa ja hallinnoi verkkoa malli toimittaen tarvittun sähkön ja lämmön itselleen ja naapureille. Naapurit liittyvät sopimuksenalaisesti verkkoon.
- Kaukolämpömalli Yksittäinen yritys omistaa mikroverkon ja myy sähköä ja lämpöä useille asukkaille. Asiakkaat liittyvät verkkoon vapaaehtoisesti ja heitä palvellaan sopimuksen mukaisesti.

Erilaiset omistusmallit luovat hyvinkin erilaisia intressejä verkon eri toimijoille, jolloin käyttöönottettava ratkaisu on harkittava huolellisesti mahdollisten ongelmien välttämiseksi. Osuuskuntatyylliset menettelyt tasaavat järjestelmän hyödyt erittäin tehokkaasti käyttäjille, mutta toisaalta riski on yhtäläisesti jaettu. Monen toimijan yhteisprojektissa on myös erittäin mahdollista aiheutua merkittävää riitaa, sillä kaikki mahdolliset päivitykset verkkoon eivät välttämättä hyödytä kaikkia jäseniä, jolloin halu maksaa niiden toteuttamisesta on vähäinen. Erilaiset omistusmallit myös vaikuttavat merkittävästi siihen, että kenen vastuulla on verkon toimintahäiriöistä johtuvat ongelmat ja rahalliset tappiot.

Lainsäädännössä mikroverkko on määriteltävä erilleen nykyisestä verkkomallista, sillä toimintaympäristönä mikroverkot eroavat merkittävästi nykyisestä keskitetystä verkkomallista. Mikroverkkoihin soveltuva lainsäädäntö voi olla jopa haitallista, mikäli sitä sovelletaan tavanaomaisessa verkossa, ja tavanomaisen verkon lainsäädäntö ei sovellu vastaamaan mikroverkon haasteisiin.

Kuten monessa muussakin teknologian käyttöönotossa, teknologiset haasteet ovat usein merkittävästi pienemmät verrattuna lainsäädännöllisiin haasteisiin. Jo LEMENE-projektista nähdään kysymys siitä, että kenellä on oikeus harjoittaa mikroverkkotoimintaa. Tuotonjako on myös huomattavasti monimutkaisempi järjestelmä, sillä asiakas-tuottaja voi omalla toiminnallaan merkittävästi helpottaa verkonhaltijan tehtäviä. Tästä riittävän korvauksen määrittäminen tulee luultavasti olemaan erittäin merkittävä ongelma. Kohtuullinen tuotto on jo nykyisessä järjestelmässä monimutkainen,

mikroverkkojärjestelyssä asia on vielä hankalampi. Verkossa sekä oikeudesta sähköön että joustoon voi tulla erittäin vaikeita kysymyksiä, sillä jousto voi olla merkittävän kannattavaa rahallisesti, jolloin siitä muodostuu kilpailutilanne. Sähkönvarastointiyhtiö voi muodostua merkittäväksi konseptiksi tulevaisuudessa, eikä sen ole pakko olla sähköverkkoyhtiö.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mikroverkkoteknologia on teknisestä näkökulmasta kohtalaisen valmista pienimuotoiseen käyttöönottoon, kuten on menestyneesti Yhdysvalloissa tehtykin. Teknologisia kehitystarpeita on kuitenkin hallinnan kanssa, mikäli skaalaa ja verkkojen määrää kasvatetaan. Esimerkiksi kahden lähekkäisen verkon välinen kommunikaatio olisi kohtalaisen hankalaa ilman standardisoitua tapaa tehdä asia. Koko sähköverkkojärjestelmän uusiminen älykkääksi pienten itsenäisten verkkojen yhdistelmäksi on suuri ja kallis projekti, mutta teknologian hyödyt ovat suuret. Aurinko- sekä tuulivoima ovat kustannustehokkaita tapoja tuottaa energiaa, mutta niiden epävarmuustekijät vaikeuttavat laajamittaista käyttöä merkittävästi. Mikroverkon tuomilla eduilla uusiutuvien energianlähteiden käyttöä voidaan lisätä merkittävästi, ja tästä saatava rahallinen hyöty kattaa muutoksista syntyviä kustannuksia hyvin. Varsinkin nopeasti säädettävällä CHP-laitoksella varustettu mikroverkko kykenee hyvään toimitusvarmuuteen vaikka kantaverkolla olisi ongelma.

Yhteiskunnallinen ja laillinen näkökulma kuitenkin on merkittävästi vaikeampi kuin teknologia. Miten verkon rahallinen tasaus hoidetaan siten, että se on kaikille osapuolille reilua? Minkälaisella lainsäädännöllä ja sääntelyllä varmistetaan järjestelmän toiminta käyttäjien eduksi? Kuinka paljon kulutusjoustoaa saa vaatia, ja paljonko siitä on korvattava? Miten kaksisuuntaisen sähköjärjestelmän verotus hoidetaan? Onko mikroverkko yksi verotusyksikkö, joka tasaa asian sisäisesti? Ainakin nämä kysymykset on ratkaistava tyydyttävästi valtion tasolla ennen mikroverkkojen laajamittaista käyttöönottoa.

Mikroverkkojen käyttöönotolle ei näy merkittäviä rahallisia esteitä, sillä projektit ovat case-tutkimuksissa osoittautuneet hyväksi vastineeksi rahalle. On kohtuullista olettaa

toimialan kiinnostavan yksityisiä toimijoita, jolloin julkista rahaa ei ole välttämätöntä budjetoida infrastruktuurin uusimiseen. Mikroverkkoja koskee samat tuottoihin liittyvät kysymykset kuten isompiakin verkkoja. Paljonko verkkoyhtiö saa tehdä tuottoa? Miten verkon energiatehokkuuden parantamisen kannustimet on asetettava, jotta yksityisellä toimijalla on riittävä intressi tehdä työtä energiatehokkuuden eteen?

6 YHTEENVETO

Mikroverkot ovat teknologiselta puolelta käyttökelpoinen konsepti, sillä niitä on käytetty jo vuosia USA:ssa. Haasteisiin energiantuotannossa sekä varastoinnissa on olemassa kohtuullisen käyttökelpoisia ratkaisuja, jotka vain paranevat tekniikan kehittyessä ja yleistyessä. Kuitenkin lainsäädännöllinen puoli on haastava, sillä se on ratkaistava paikallisesti paikallisen lainsäädäntökulttuurin mukaisesti. Kultturaalinen muutos sähkönkäyttöön voi olla myös tarpeen, jotta kulutusjouston käsite ei maalaudu sähkön säännöstelynä, eli jotta sähkö ei ole ns. kortilla. Euroopan unioni on tähän mennessä ollut hyvinkin myötämielinen uusien sähköjakeluratkaisuja kohtaan, joten EU saattaa lopulta olla suomalaisenkin lainsäädännön veturi kohti mikroverkkojen kanssa toimivaa sähkömarkkinalakia. Nykyisen järjestelyn ongelmista osa tulee todennäköisesti periytymään myös tuleviin ratkaisuihin, mutta ongelmat kuten kohtuullinen tuotto eivät ole tähän mennessä olleet niin vakavia, että ne itsessään estäisivät mikroverkkojen olemassaolon.

LÄHDELUETTELO

- Bradley, C., n.d. Microgrids in the Sierra Nevada 16.
- Erdinc, O., Paterakis, N.G., Mendes, T.D.P., Bakirtzis, A.G., P. S. Catalao, J., 2015. Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-Based DR. *IEEE Trans. Smart Grid* 6, 1281–1291.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2352650>
- Faisal, M., Hannan, M.A., Ker, P.J., Hussain, A., Mansor, M.B., Blaabjerg, F., 2018. Review of Energy Storage System Technologies in Microgrid Applications: Issues and Challenges. *IEEE Access* 6, 35143–35164.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2841407>
- Fthenakis, V., Kim, H.C., 2009. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 1465–1474.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.017>
- Hulttinen, V., 2019. Superkondensaattorit [WWW Document]. URL <http://www.theseus.fi/handle/10024/172945> (accessed 11.12.20).
- Kim, E., Heo, E., 2019. Key Drivers behind the Adoption of Electric Vehicle in Korea: An Analysis of the Revealed Preferences. *Sustainability* 11, 6854.
<https://doi.org/10.3390/su11236854>
- King, D.E., King, D.E., 2005. The regulatory environment for interconnected electric power micro-grids : insights from state regulatory officials [WWW Document]. URL </paper/The-regulatory-environment-for-interconnected-power-King-King/415d5158a1115e96249294c3a22a765256e84aef> (accessed 10.12.20).
- Pratt, A., Bialek, T., n.d. Borrego Springs Community Microgrid 26.
- Rosato, A., Panella, M., Araneo, R., Andreotti, A., 2019. A Neural Network Based Prediction System of Distributed Generation for the Management of Microgrids. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 55, 7092–7102. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2916758>
- Roslan, M.F., Hannan, M.A., Ker, P.J., Uddin, M.N., 2019. Microgrid control methods toward achieving sustainable energy management. *Appl. Energy* 240, 583–607.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.070>
- Sarmala, O., 2019. Älykkäät sähkömittarit Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Australiassa. Smart meters in Europe, the US and Australia.
- Yoldaş, Y., Önen, A., Muyeen, S.M., Vasilakos, A.V., Alan, İ., 2017. Enhancing smart

grid with microgrids: Challenges and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 72, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.064>

New power-to-x study seeks cost and energy efficiency in key technologies - News - LUT [WWW Document], n.d. URL

https://www.lut.fi/web/en/news/-/asset_publisher/lGh4SAywhcPu/content/new-power-to-x-study-seeks-cost-and-energy-efficiency-in-key-technologies (accessed 12.4.20).

Kiinteistöt hyötymään sähkömarkkinoista [WWW Document], n.d. . Siemens Suomi. URL

<https://new.siemens.com/fi/fi/yhtio/ajankohtaiset-teemat/alykas-infrastruktuuri/kiinteistoejen-virtuaalivoimalaitoshanke-lisaae-omistajien-tuot.html> (accessed 11.10.20).

Valtio tuki 5 miljoonalla eurolla urauurtavaa energiayhteisöä Lempäälässä – Nyt hanke on valmis, mutta laki estää asiakkaiden liittämisen [WWW Document], n.d. . Yle Uut. URL <https://yle.fi/uutiset/3-11440600> (accessed 10.6.20).

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020. Autoon saa sähköä tai kaasua yhä laajemmalla alueella Suomessa.

Saatavilla: <https://www.lvm.fi/-/autoon-saa-sahkoa-tai-kaasua-yha-laajemmalla-alueella-suomessa-1033575>

[Viitattu 6.10.2020]

Näin työryhmä puolittaisi liikenteen päästöt: Suomeen tarvitaan 700 000 sähköautoa ja autoilun päästöille kovempi hinta [WWW Document], n.d. . Yle Uut. URL <https://yle.fi/uutiset/3-11615349> (accessed 12.4.20).