

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Arttu Laaksonen

**MIKROVERKKOIHIN  
SOVELTUVIEN  
ENERGIANHALLINTA-  
JÄRJESTELMIEN ARVIOINTI**

**TURKU AMK**   
TURKU UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES

Arttu Laaksonen

# MIKROVERKKOIHIN SOVELTUVIEN ENERGIANHALLINTAJÄRJESTELMIEN ARVIOINTI

Uusiutuvat energiantuotantomuodot ovat nykyään kehittyneet hyvin tehokkaiksi, edullisiksi ja ympäristöystävällisiksi tavoiksi luoda energiaa. Uusiutuvan energian tuottaminen on sen vuoksi tullut houkuttelevaksi vaihtoehdoksi myös henkilöille ja yhteisöille, jotka ennen ovat olleet ainoastaan energian kuluttajia. Mikroverkon avulla yhteisö tai jopa kylä voi luoda oman verkon, joka tuottaa heille energiaa joko uusiutuvan energian avulla tai fossiilisilla polttoaineilla. Mikroverkon avulla voidaan luoda ympäristöystävällinen, omavarainen ja mahdollisesti myös taloudellisesti tuottava vaihtoehto sähköenergian tuotannolle.

Mikroverkon mahdollisimman tehokkaan ja laadukkaan toimivuuden varmistamiseksi käytetään erilaisia energianhallintajärjestelmiä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on esitellä erilaisia energianhallintajärjestelmän ominaisuuksia, jotka edesauttavat mikroverkon käyttöä ja selittävät näiden järjestelmien toimintaa ja tarkoitusta. Työn loppuosassa vertaillaan myös energianhallintajärjestelmiä ja arvioidaan niiden soveltuvuutta KAEV-projektiin. Hyvä energianhallintajärjestelmä on erittäin tärkeä osa mikroverkkoa niin kuluttajan kuin mikroverkon hallinnan kannalta.

Lisäksi työssä esitellään edistynyttä verkonhallintajärjestelmää, sen ominaisuuksia sekä mahdollisuuksia, kuten verkon edistyksellistä hallintaa ja optimointia. Edistynyt verkonhallintajärjestelmä on myös nykyaikainen valinta uudistuneen sähköntuotantotavan rinnalle.

## ASIASANAT:

uusiutuvat energialähteet, sähköverkko, energianhallinta, mikroverkko

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Engineering

2021 | 35 pages

Arttu Laaksonen

# ASSESSMENT OF ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS FOR MICROGRIDS

Today, renewable forms of energy production have developed into very efficient, inexpensive and more environmentally friendly ways of creating energy. The production of renewable energy has thus also become an attractive option for individuals and communities who have previously only been energy consumers. With the help of a microgrid, a community or even a village can create its own grid that produces energy for them either through renewable energy or fossil fuels. A microgrid can be used to create an environmentally friendly, self-sufficient and even financially profitable alternative to electricity generation.

To ensure the efficient and high-quality operation of a microgrid, various energy management systems are applied. The purpose of this thesis was to present various functions of an energy management system that facilitate the use of a microgrid and present their purpose and functioning. At the end of the work, energy management systems were compared and their suitability for the KAEV project evaluated. A good energy management system is a very important part of a microgrid for both the consumer and microgrid management.

This work also reviews the importance and possibilities of the Advanced Distribution Management System with renewable energy sources. These include for example advanced management and optimization of the grid. An advanced environmental management system is also a modern choice alongside a renewed electricity generation method.

## KEYWORDS:

renewable energy sources, electricity grid, energy management, microgrid

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 ADVANCED DISTRIBUTION MANAGEMENT SYSTEM (ADMS)</b>	<b>8</b>
2.1 Energianhallintajärjestelmä (EMS)	9
2.2 SCADA	10
2.3 DMS	10
2.4 OMS (Outage management system)	11
2.5 Volt/VAR-optimointi (VVO)	12
2.6 Fault location, isolation and supply restoration (FLISR)	12
<b>3 MIKROVERKOT</b>	<b>13</b>
3.1 Määritelmä	13
3.2 Hyödyt	14
3.3 Haasteet	15
3.4 Mikroverkko ja sähkön pientuotanto Suomessa	16
3.5 Energy storage systems (ESS)	18
3.6 Microgrid Controller	18
3.7 EMS-järjestelmä mikroverkossa	19
<b>4 KAUPALLISTEN ENERGIANHALLINTAJÄRJESTELMIEN ESITTELY</b>	<b>21</b>
4.1 Yleistä	21
4.2 Hitachi ABB E-MESH EMS	21
4.3 Sumitomo Electric Energy Management System Architecture sEMSA	24
<b>5 ARVIOINTI ERI EMS-JÄRJESTELMISTÄ JA SOVELTUVUUS KAEV-PROJEKTIIN</b>	<b>27</b>
5.1 KAEV-Projekti	27
5.2 Yleistä arvioitavista energianhallintajärjestelmistä	27
5.3 Hitachi ABB e-mesh EMS	28
5.3.1 Hitachi ABB e-mesh EMS KAEV-projektissa	29
5.4 Sumitomo Electric sEMSA	29
5.4.1 Sumitomo Electrics sEMSA KAEV-projektissa	30

<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>31</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>32</b>

## **KUVAT**

Kuva 1. Ihmisten ja toimintojen yhteen linkitys ADMS-järjestelmässä (Ausgrid 2018).	8
Kuva 2. Mikroverkko ja sen eri järjestelmät (SOL-UP).	14
Kuva 3. Sähkön hinnan rakenne (Motiva).	17
Kuva 4. Sähkön hinta tunneittain ja viikoittain Suomessa vuonna 2013 (Motiva).	18
Kuva 5. E-mesh-tuoteperheen järjestelmien yhteistoiminta verkossa (Fabio Bonassi, 2020).	22
Kuva 6. Sumitomo Electirc sEMSA järjestelmän soveltuvuus eri järjestelmille (Sumitomo Electirc).	26

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Taulukossa EMS-järjestelmien jo olemassa olevia järjestelmiä ja myös lisävarusteena saatavia järjestelmiä.	28
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

ADMS	Advanced Distribution Management Solutions, Edistynyt sähköjakelun hallintajärjestelmä
ATJ	Asiakastietojärjestelmä
BESS	Battery Energy Storage System, Akkupohjainen energian varastointi järjestelmä
DMS	Distribution Management System, Sähköjakelun Hallintajärjestelmä
DER	Distribution Energy Resources, Hajautettu Energiantuotanto
ESS	Energy Storage System, Energian Varastointijärjestelmä
EMS	Energy Management System, Energianhallintajärjestelmä
FLISR	Fault Location, Isolation, and Service Restoration, vian paikannus, eristäminen ja palvelunpalauttaminen
HMI	Human Machine Interface, Käyttöliittymä
OMS	Outage Management System, Sähkökatkosten hallintajärjestelmä
PLC	Programmable Logic Controller, Ohjelmoitava logiikka
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, Valvomo ohjelmisto
VTJ	Verkkotietojärjestelmä
VVO	Volt/VAR optimization, Volt/VAR optimointi

# 1 JOHDANTO

Sähköntuotantotapojen ja ympäristön muuttuessa sekä tekniikan kehittyessä on tavoitteena siirtyä pois fossiilisista polttoaineista. Uusiutuvan energian tekniikat ovat kehittyneet nopeasti ja niiden hintaa on saatu alas, minkä takia ne ovat muuttuneet erittäin houkuttelevaksi energiantuottomuodoksi niin energiantuottajan kuin kuluttajankin kannalta.

Energiantuotannon uudenlaiset tavat muokkaavat myös verkkoa. Nykyään kuluttajan ei enää tarvitse olla ainoastaan sähkön ostaja, vaan on mahdollista myös itse sijoittaa esimerkiksi aurinkopaneeleihin, joilla kykenee vähintäänkin pienentämään ostettavan sähkön määrää, säästämään sähkölaskussa ja pienentämään hiilidioksidipäästöjä. Kuluttaja voi myös tehdä uusiutuvalla sähköenergialla tuottoa, koska ylimääräistä energiaa on mahdollista myydä takaisin verkkoon.

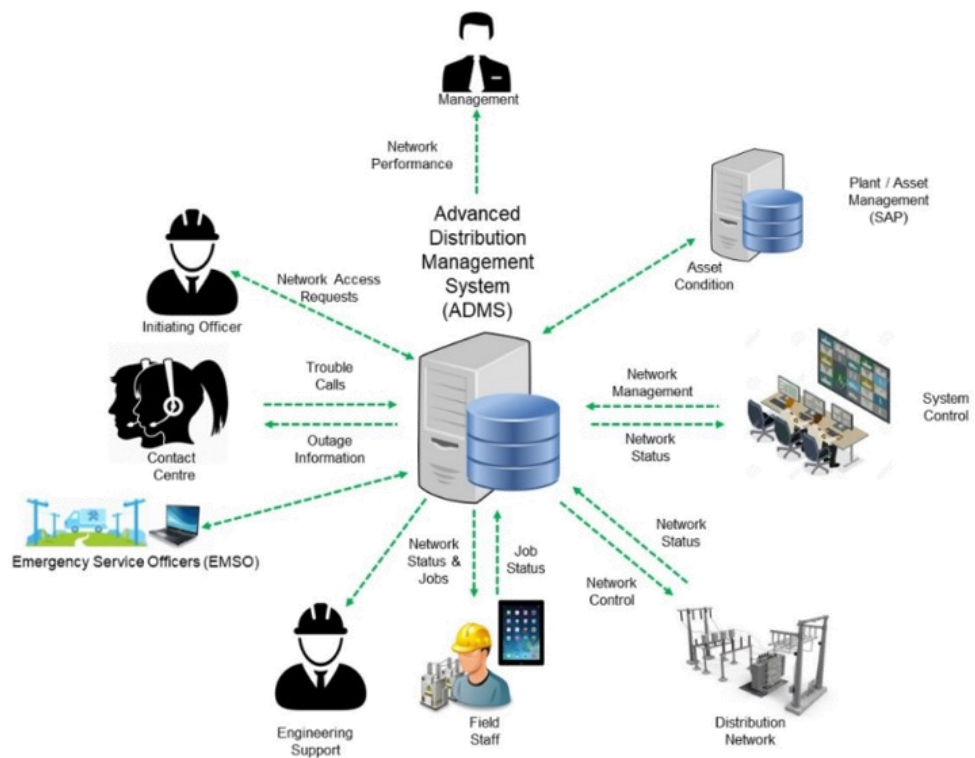
Yksilötasolla energiantuotanto ei kuitenkaan aina ole kaikista tehokkain ratkaisu ja on rakennettu myös mikroverkkoja, joilla kyetään sähköistämään esimerkiksi kyläyhteisö tai rakennus. Mikroverkon avulla voidaan luoda yhteisiä uusiutuvan energian tuotantolaitoksia, jotka palvelevat mikroverkon sisällä olevia kiinteistöjä samalla, kun energiansaannin varmuus lisääntyy. Mikroverkon voi myös ottaa käyttöön esimerkiksi syrjäisille alueille, joissa tavanomaista sähköverkkoa ei vielä ole tai se on vanhanaikainen ja akuutin uusi-  
misen tarpeessa.

Mikroverkko ja sen sisällä olevat energiantuotantolähteet tarvitsevat rinnalleen kuitenkin älykästä teknologiaa, jonka avulla kyetään saamaan tuotetusta energiasta mahdollisimman paljon irti. Energianhallintajärjestelmän avulla voidaan luoda huomattavia parannuksia verkon toimitusvarmuuteen, monipuolisuuteen, ympäristöystävälliseen ja siihen, että verkko tuottaa myös taloudellista hyötyä.

Tässä työssä esitellään mikroverkon, energianhallintajärjestelmän ja edistyneen verkko-  
hallintajärjestelmä toimintaa ja niissä olevia ominaisuuksia. Lopuksi työssä vertaillaan eri mikroverkkokäyttöön soveltuvia energianhallintajärjestelmiä ja niiden eroavaisuuksia toisiinsa nähden.

## 2 ADVANCED DISTRIBUTION MANAGEMENT SYSTEM (ADMS)

Sähkönjakelun edistynyt hallintajärjestelmä-, eli advanced distribution management system (ADMS), on usean eri ohjelmiston alusta, joka tukee sähköverkon hallintaa ja sen optimointia. ADMS-järjestelmä tuo sähköjakelussa tarvittavat järjestelmät yhden yhteensopivan kokonaisuuden alle. Kuvasta 1. ilmenee, miten ADMS-järjestelmä toimii yhdessä eri toimintojen kanssa, joista tärkeimpien tarkoitusta ja toimintaa käydään läpi tässä luvussa. ADMS-järjestelmä ei itsessään ole ainoastaan mikroverkkojen hallintajärjestelmä, mutta kun mikroverkkojen määrä lisääntyy, vaaditaan myös tavanomaisten jakeluverkkojen ylläpitäjältä uusia kykyjä hallita verkkoaan ja ennakoida tulevia tapahtumia, jotta verkko voi toimia mahdollisimman tehokkaasti ja luotettavasti. (Meyers 2013.)



Kuva 1. Ihmisten ja toimintojen yhteen linkitys ADMS-järjestelmässä (Ausgrid 2018).



## 2.1 Energianhallintajärjestelmä (EMS)

Energianhallintajärjestelmä, joka tunnetaan myös nimellä EMS (energy management systems), on tietokoneohjattu järjestelmä, jota käytetään sähköverkkojen ohjaamiseen, suorituskyvyn tarkkailuun ja sähkön käytön optimointiin. Energianhallintajärjestelmää voidaan käyttää suuressa mittakaavassa, kuten kokonaisessa kaupungissa tai maanosassa, mutta käyttökohteita on myös pienempään mittakaavaan, kuten yksittäiseen tehtaaseen, asuinalueeseen tai koulun kampusalueeseen. Energianhallintajärjestelmä voi viitata myös rakennusten sisäiseen energiankäytön hallintaan, jolloin useita energiaa käyttäviä kohteita, kuten lämmitystä, ilmanvaihtoa tai valaistusta, voidaan hallita. (Cecilia Reis 2013.)

Energiahallintajärjestelmän avulla voidaan tehdä myös kuormaohjausta, jolla tarkoitetaan kuorman pudottamista pois kulutuspiikeiltä, eli huipunleikkausta. Tällöin suuria määriä energiaa vaativia kuormia voidaan varata aikana, jolloin sähkö on mahdollisimman edullista tai jopa ilmaista, jos kiinteistössä on esimerkiksi aurinkopaneeleita. Tällaisia laitteita ovat muun muassa lämminvesivaraaja, lämpöpumppu tai jokin muu laite, joka pystyy varaamaan energiaa. Tavanomaisessa sähkönkulutuksessa usein energiaa varaavat laitteet, jotka käyttävät sähköä energian lähteenä, toimivat yöaikaan. Tällöin sähkösopimuksesta riippuen on mahdollista käyttää niin sanottua yösähköä, joka on edullisempaa. Aurinkopaneeleilla varustettu asunto taas pystyy luomaan energiaa päiväsaikaan, kun aurinko paistaa. (Toivanen 2020.)

Energianhallintajärjestelmä pystyy itsenäiseen toimintaan, jolloin se muiden laitteistojensa avulla voi siirtää energiankäytön mahdollisimman edulliseen aikaan. Tästä johtuen se tarjoaa helpotusta kulutuspiikkeihin ja myös mahdollistaa kuluttajalle edullisempaa sähköä. (Meyers 2013.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pienen ja keskikokoisen mittakaavan energianhallintajärjestelmään, kuten asuinalueen omaan sähköntuotantoon uusiutuvilla energiamuodoilla, esimerkiksi aurinko- tai tuulivoimalla.

Tällaista sähköntuotantoa ja sen hallinnointia kutsutaan myös mikroverkoksi. Mikroverkko voi olla osa suurempaa sähköverkkoa, kuten tavanomaista maanlaajuista sähköverkkoa tai se voi myös olla täysin siitä erillään. (Wood 2020.) Työssä esitellään läpi myös edistynyttä sähköjakelun hallintajärjestelmää, joka sopii erittäin hyvin käytettäväksi mikroverkkojen rinnalla (Meyers 2013).

## 2.2 SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) on ohjelmistojen ja laitteiden yhteensiirtymä eli käytönvalvontajärjestelmä. SCADA on tarkoitettu tietojen hankkimiseen, hallinnoimiseen ja komentojen lähettämiseen eteenpäin tarvittaville laitteistoille, kuten PLC-logiikkaohjausyksikölle. SCADA antaa myös käyttäjälleen tietoja prosessien nykytilasta. Järjestelmän päätoiminen tehtävä on automaattisten komentojen luominen, tiedonsiirron ja vikatilanteen tiedottamisen kulku käyttäjän ja käytettävän laitteen välillä sekä tarvittavien tietojen keruu tietokantaa varten. (Adrian Gligorb 2012.)

SCADA järjestelmää voidaan käyttää monissa erilaisissa sovelluksissa, kuten energiantuotannossa, vedenjakelussa ja tehtaissa. SCADAn avulla voidaan kerätä tietoa esimerkiksi antureilla ja muilla laitteilla, jotta valvottavasta laitteesta saadaan mahdollisimman paljon dataa analysoitavaksi. Saatavan datan avulla seurattavan järjestelmän toimintaa ja silloista toimintakykyä voidaan säätää, jotta järjestelmä toimisi mahdollisimman tehokkaasti ja luotettavasti. (Dave 2019.)

Sähköjärjestelmissä SCADAn tärkein tehtävä on seurata sähkön siirtoa ja tuotantoa. SCADA järjestelmän avulla voidaan verkon toimintaa valvoa sähkökatkojen, sähkön tarpeen ja sähkönlaadun näkökulmasta esimerkiksi valvomalla sähkönjakelupisteitä. Sähkökatkon sattuessa SCADA järjestelmän avulla kerätyn tiedon perusteella voidaan hyvinkin tarkasti paikantaa vian sijainti, jolloin korjaustoiminta voidaan aloittaa ripeästi. SCADAn avulla voidaan myös rajoittaa huipputehon tarvetta, pitää yllä historiatietoja verkon käytöstä ja toiminnasta ja parantaa sähköjärjestelmän tehokkuutta pitämällä näennäis-  
tehon ja pätötehon suhde sille sallituissa rajoissa. (Dave 2019.)

## 2.3 DMS

DMS (Distribution management system) on käytöntukijärjestelmä, joka tukee käyttötoiminnan päätöksentekoa. Käytönvalvontajärjestelmän (SCADA) ja käytöntukijärjestelmän ero on se, että käytönvalvontajärjestelmä nimensä mukaisesti valvoo ja kerää tietoa ja ohjauskomentoja, mutta se ei pysty analysoimaan tai päättelemään kerättyä aineistoa

niin hyvin kuin käytöntukijärjestelmä. Käytöntukijärjestelmä sisältää paljon analyysi- ja päättelytoimintoja. Käytöntukijärjestelmä tarvitsee kuitenkin tietokantoja, jotta se pystyy muodostamaan ajankohtaisia ja luotettavia analyyskejä ja toimenpiteitä. Tällaisia tietokantoja käytönvalvontajärjestelmä pystyy jakamaan. (Penttilä 2013, 5-7.)

Käytöntukijärjestelmän tärkein tehtävä on avustaa sähköyhtiön verkosta huolehtivaa henkilöstöä verkon hallinnassa ja käytössä. Järjestelmä näyttää verkon maantieteellisellä kartalla graafisesti, josta käy ilmi verkon sen hetkinen tila. Käytöntukijärjestelmän tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu vika-alueen paikannustyökalu ja kytkentätilan hallinta. Käytöntukijärjestelmä ei itsessään pysty keräämään tietoa, mutta se käyttää usein muiden järjestelmien keräämää tietoa, kuten SCADAn, asiakastietojärjestelmän (ATJ) ja verkkotietojärjestelmän (VTJ). Näiden tietojen avulla käytöntukijärjestelmä kykenee luomaan toimintamallin verkon normaalitilan seuraamiseen, käytön suunnitteluun ja häiriötilanteiden havaitsemiseen. Käytöntukijärjestelmässä on usein myös mahdollisuus hallita verkon kytkentätiloja ja paikantaa vikoja. (Miettinen 2011.)

#### 2.4 OMS (Outage management system)

OMS eli sähkökatkosten hallintajärjestelmä on atk-järjestelmä, jota sähkönjakelujärjestelmässä käytetään tuomaan varmuutta sähkönjakeluun. Järjestelmän avulla sähkökatkosten pituutta voidaan lyhentää merkittävästi. Sähkökatkosten hallintajärjestelmä pystyy tunnistamaan vian ja antaa siitä häiriöilmoituksen erittäin nopeasti. Järjestelmä voi tallentaa erilaiset vikatilanteet muistiin, minkä avulla saadaan pitkänajan kokonaiskuva verkon mahdollisista heikoista kohdista. Järjestelmä pystyy antamaan asiakkaille nopeaa tietoa viasta ja mahdollisesti myös korjauksen tilasta. Järjestelmä toimii usein yhdessä paikkatietojärjestelmän kanssa, joka antaa tietoa vian paikasta. Yleisesti järjestelmä toimii myös yhdessä SCADAn kanssa, joka tarjoaa sähköjärjestelmien valvontaa ja hallintaa. (Phoenix 2018.)

Sähkökatkosten hallintajärjestelmä hyödyttää niin asiakasta kuin verkon hallitsijaa. Järjestelmän avulla katkosten ja huollon kestoa voidaan lyhentää, koska vika voidaan helposti paikantaa ja mahdollisesti tietää jo osittain, minkälaisesta viasta on kyse. Näin ollen verkon haltija voi määrittää kuinka paljon resursseja kyseisen vian korjaaminen vaatii. Samanaikaisesti asiakas saa tietoa siitä, miten pitkään korjaus mahdollisesti tulee viemään. (Phoenix 2018.)

## 2.5 Volt/VAR-optimointi (VVO)

Volt/VAR-optimointi on menetelmä, jolla jännitetasoa ja loistehoa voidaan hallita. Sen avulla verkosta saadaan mahdollisimman energiatehokas, eli häviö saadaan mahdollisimman pieneksi. Tämän saavuttamiseksi sähköaseman ja verkon jännitteenhallintalaitteilla jännitettä madalletaan niin alas kuin käytössä olevien ohjesääntöjen mukaan on mahdollista. (Cox 2015.)

## 2.6 Fault location, isolation and supply restoration (FLISR)

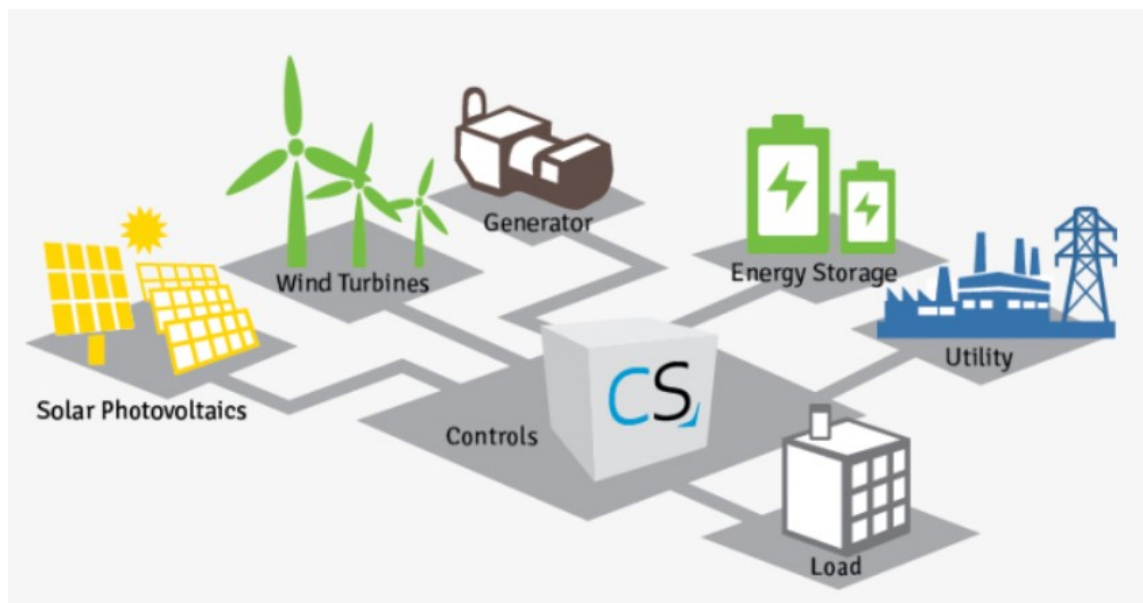
FLISR on järjestelmä, joka mahdollistaa vian paikannuksen, eristämisen ja palvelun palauttamisen. Se kykenee vikatilanteessa paikallistamaan vian sijainnin ja mahdollisuuksien mukaan eristämään sen muusta verkosta, jotta sähköjakelu ei häiriintyisi. Järjestelmän avulla vikapaikka voidaan mahdollisesti ohittaa muuta kautta, jotta osa tai jopa kaikki vikapaikan läheisyydessä sijaitsevat kuluttajat välttyvät sähkönjakelun häiriöltä. Järjestelmä vaatii sen, että sähköverkko ei ole riippuvainen vain yhdestä sähkönjakelu-  
paikasta tai kaapeloinnista. (U.S Department of energy 2014.)

## 3 MIKROVERKOT

### 3.1 Määritelmä

Mikroverkko on yleensä pienjännitteinen sähköjakelujärjestelmä, johon kuuluu hajautetut energialähteet, kuten mikroturbiinit, polttokennot ja aurinkosähköjärjestelmät. Mikroverkon sisällä voi olla liitettynä eri energianvarastointijärjestelmiä, kuten esimerkiksi akusto. Mikroverkon sähköjakelua ja energianvarastointijärjestelmää voidaan käyttää itsenäisesti, jos se ei ole kytkettynä tavanomaiseen verkkoon, tai ei itsenäisesti, jos se on kytkettynä tavanomaiseen verkkoon. Mikroverkon sisällä olevia energianlähteet voivat hyödyttää järjestelmän tehokkuutta, jos mikroverkkoa hallitaan tehokkaasti. (Hatziaargyriou 2014, 4.) Yksinkertaistetussa kuvassa 2 kuvataan, miten mikroverkko ja sen sisällä olevat järjestelmät kytkeytyvät yhteen.

Mikroverkko on kuluttajapuolelle suunnattu järjestelmä, joka sijaitsee paikallisessa sähköjakeluverkossa. Mikroverkossa on mahdollisuus mikrotuotannolle, energianvarastoinnille ja energian kysynnän hallitsemiselle. Mikroverkon on kyettävä toimimaan normaalitilassa yhdessä tavanomaisen sähköjakeluverkon kanssa, kuin myös saareketilassa, eli silloin, kun yhteys tavanomaiseen sähköjakeluverkkoon on katkennut. Tähän eivät kuitenkaan kuulu tilanteet, kun järjestelmä on alun perin rakennettu ainoastaan saarekekäyttöön, kuten esimerkiksi saareen. (Hatziaargyriou 2014, 4-5.)



Kuva 2. Mikroverkko ja sen eri järjestelmät (SOL-UP).

### 3.2 Hyödyt

Mikroverkko voi tarjota hyvin paljon erilaisia hyötyjä kuluttajalle, kuten teknistä- ja taloudellista etua, kuin myös ympäristöystävällisempää sähköä (Hatzigryiou 2014, 277).

Teknisenä hyötynä on muun muassa mikroverkon mahdollisesti luoma paikallisen jakeluverkon suorituskyvyn kohentaminen. Sähkönlaatua voidaan parantaa loistehon ja pätötehon optimoinnilla, linjahäviöt ovat pienempiä, koska sähkönsiirtomatkat ovat lyhyempiä. Mikroverkko voi myös luoda suuremman toimitusvarmuuden, koska se voi toimia myös silloin, kun tavanomaisesta sähkönjakeluverkosta sähkön toimitus on osittain tai kokonaan katkennut. Teknisten hyötyjen taso on isosti riippuvainen siitä, miten hyvin mikroverkon tuotanto kytetään hyödyntämään ja miten hyvin verkon eri toimijat pystyvät yhteen toimimaan verkon kanssa. (Hatzigryiou 2014, 277.)

Mikroverkolla on mahdollista saada myös taloudellisia etuja. Mikroverkoilla voidaan vähentää kustannuksia ja mahdollistaa tulovirtaa. Energianhallintajärjestelmien avulla voidaan varastoida ylijäämäenergia tai myydä sitä takaisin verkkoon silloin, kun energian hinta ja kysyntä ovat korkeimmillaan. Vaihtoehtoisesti sähköä voidaan ostaa ulkoa silloin, kun oma tuotanto ei ole riittävää tai sähkön hinta on edullista. (Elisa Wood 2018.)

Mikroverkko voi myös luoda ympäristö- ja sosiaalisia etuja. Ympäristöedut tulevat pääsääntöisesti siitä, että mikroverkossa usein käytetään uusiutuvia, vähäpäästöisiä ja ympäristöystävällisiä energianlähteitä, kuten esimerkiksi aurinkoenergiaa tai polttoaineena maakaasua. Uusiutuvaa ja hajautettua energiantuotantomuotoja tuetaan myös laajasti ja näin ollen on odotettavissa, että uusiutuvan energian hinta tulee laskemaan. (Hatzigryiou 2014, 277.)

Sosiaaliset edut voivat myös olla saavutettavissa mikroverkon avulla. Mikroverkossa olevan uusiutuvan energiantuotanto saattaa hyvinkin lisätä yleistä tietoisuutta ja näin ollen kannustaa käyttäjiä energiansäästöön ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseen. Uusiutuvat energiat voivat myös luoda uusia työ- ja tutkimismahdollisuuksia ja luoda myös syrjäisille tai muuten kehittymättömille alueille mahdollisuuden sähköistymiselle. (Hatzigryiou 2014, 277.)

Mikroverkko sinällään ei ole uusi keksintö. Esimerkiksi sairaaloissa sitä on käytetty jo pitkiä aikoja, jotta sähkökatkon aikana sairaala kykenee tuottamaan oman sähkönsä yleensä dieselgeneraattoreiden avulla. Mikroverkon sähköntuottotapa voi olla melkein mikä tahansa. Mahdollisia tuotantotapoja ovat esimerkiksi aurinko- ja tuulienergia, maakaasulla toimivat turbiinit, polttokenno tai vaikka modulaarinen ydinreaktori. (C2ES.)

### 3.3 Haasteet

Mikroverkon käyttöön liittyy myös monenlaisia haasteita. Yksi niistä liittyy mikroverkon suojaukseen. Mikroverkon suojauksen pitää ottaa huomioon ongelmat mikroverkon sisällä ja myös tavanomaisessa sähköjakeluverkossa olevat ongelmat, jos se on kytkettynä siihen. Jos vika on tavanomaisessa sähköjakeluverkossa, pitää tällöin mikroverkon eristäytyä tästä ja vaihtaa toimintamalli saareke mikroverkoksi ja näin ollen varmistaa mikroverkon sisällä olevien kuluttajien sähkösaanti. Tämä voidaan suorittaa erilaisilla kytkimillä ja ylivirtasuojauksella. Vian ollessa mikroverkon puolella pitää viallinen osio mikroverkosta eristää mahdollisimman nopeasti ja pyrkiä siihen, että sähköjakelun häiriöt jäisivät mahdollisimman pienelle alueelle. (Hatzirygiou 2014, 117).

Mikroverkon ongelmiin voi kuulua myös esimerkiksi vikavirtojen mahdollinen kasvu tilanteessa, jossa mikroverkko kytkeytyy pois pääverkosta (Phoenix Energy Group 2018). Vikavirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkee sähköpiirin läpi vikatilanteessa. Sitä voi syntyä silloin, kun yksi tai useampi johdin on oikosulussa toisiinsa nähden tai suoraan maahan. (Eland Cables). Vikavirta on huomattavasti suurempi kuin normaalissa tilanteessa johtimissa kulkeva virta, ja tällöin verkon kaapelit voivat vahingoittua. Tämä otetaan kuitenkin huomioon verkon suunnittelussa. Ongelma tulee esiin verkoissa, joita ei alun perin ole suunniteltu mikroverkkokäyttöön tai mahdollista vikavirran kasvua ei ole osattu ottaa huomioon. Saarekekäytössä ongelmia on myös sähköntuoton ja kysynnän välillä. Tällöin ongelmana voi olla, että sähköntuotto ei kykene vastaamaan kysyntään, jolloin energian saanti ei ole riittävää. (Phoenix Energy Group 2018.)

Oikosulkuvirrat aiheuttavat mikroverkoissa usein ongelmaa, koska mikroverkossa on erilaisia energiantuotantolaitteita. Generaattorit, jotka ovat suoraan kytkettynä mikroverkkoon aiheuttavat lisää oikosulkuvirtaa, kun taas tehoelektroniikalla toimivat laitteet, kuten esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmät eivät aiheuta juuri lainkaan oikosulkuvirtaa. Sen seurauksena ongelmia voi tulla siitä, että suojausjärjestelmät aiheuttavat tarpeettomia

sähkönjakelun katkaisuja tai vaihtoehtoisesti suojausjärjestelmät eivät reagoi mahdolliseen ongelmaan millään tavalla. (Hatziaargyriou 2014, 117.)

Myös raha aiheuttaa usein ongelmia. Mikroverkkojen tullessa markkinoille oli niillä haasteita tavanomaisen sähkönjakelun ja sähköntuotannon näkökannasta, koska mikroverkkojen pelättiin häiritsevän tavanomaisen sähköntuotannon markkinoita. Nykyään kuitenkin kaikilla sähköntuottajilla on kova tarve siirtyä vähäpäästöisempään ja halpaan uusiutuvaan energiantuotantoon, ja mikroverkkoja pidetään vartenotettavan vaihtoehtona. (N-Sci technologies 2019.)

Suomessa ongelmia luo myös lainsäädäntö. Suomen tämänhetkinen sähköverkkoihin painottuva lainsäädäntö ei ole vielä valmis mikroverkkojen tuomaan uudistukseen. Laki ja säädökset eivät ota huomioon eturistiriitoja, joita tällaisissa sähköverkoissa voi tulla. Suomessa ei saa rakentaa sähköverkkoa, joka ylittää kiinteistön rajat, koska Suomessa ainoastaan sähköverkkoyhtiö voi rakentaa tällaisen sähköverkon. Mikroverkot ovat yhteisvastuullisia verkkoja, joissa pidetään yhdessä huolta verkon tilasta ja energiasta. Tämä luo ongelman, koska tällöin ei voida suoraan sanoa ketä omistaa sähköverkon ja verkossa kulkevan energian. (Lehtomäki 2020, 19.)

### 3.4 Mikroverkko ja sähkön pientuotanto Suomessa

Suomessa ylijäämä sähkö voidaan myydä, jos esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmä on liitetty tavanomaiseen sähköverkkoon. Sopimus myynnistä pitää tehdä oman sähkön myyjän kanssa. Sähkön syöttäminen verkkoon ei ole sallittua, ellei sähköllä ole ostajaa, eli silloin kun sähkön myyjän kanssa ei ole tehty sopimusta. Verkkoon syötettyä sähköä mitataan oman verkkoyhtiön sähkömittareilla ja tämä mittausta ei aiheuta tuottajalle minäkäänlaisia lisäkustannuksia. Sähkön myyjät usein hinnoittelevat ostosähkönsä Spot-hinnan mukaan, joka määräytyy tunneittain muuttuvassa sähkön pörssihinnassa. Sähkön pientuottaja saa tuottamastaan sähköstä suunnilleen saman hinnan kuin joutuisi siitä markkinoilla maksamaan. Tulee kuitenkin muistaa, että sähkön hinnasta suuri osa muodostuu sähkönsiirtohinnoista ja verotuksesta, jota pientuottajalla ei ole mahdollista saada. Kuva 3. havainnollistaa sähkön hinnan rakenteen. Jakeluverkkoyhtiö voi periä pientuottajalta tuottamastaan sähköstä myös verkkopalvelumaksua, joka on korkeintaan 0,07 c/kWh. (Motiva.)

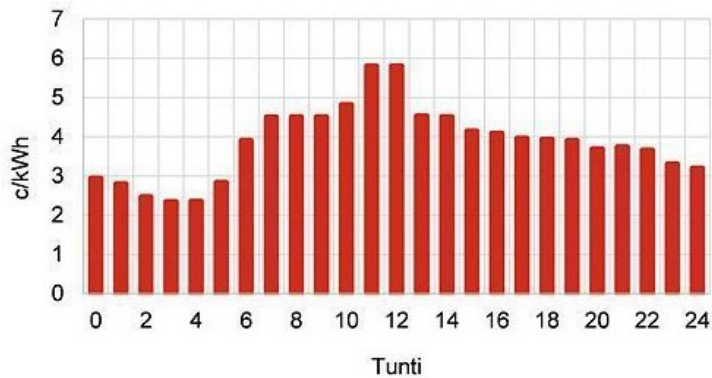




Kuva 3. Sähkön hinnan rakenne (Motiva).

Spot-hinta on yleensä korkein päiväsaikaan, etenkin aamuisin ja alkuillasta, kun sähkön-tarve on suurta, mutta myös vuodenaika vaikuttaa siihen. Nämä asiat havaitaan myös esimerkikuvasta 4. Näin ollen tuottajan on hyödyllisintä korvata päiväajan kulutusta omalla pientuotannollaan ja hyödyntää muina aikoina mahdollisesti halvempaa Spot-sähköä. Suomessa asiakkaan on kannattavinta korvata omalla sähköntuotannollaan omaa kulutustaan, kun sähkön hinta on korkeimmillaan. (Motiva.)

Keskiviikko 10.7.2013



Vuosi 2013



Kuva 4. Sähkön hinta tunneittain ja viikoittain Suomessa vuonna 2013 (Motiva).

### 3.5 Energy storage systems (ESS)

Energy storage systems (ESS) eli energian varastointijärjestelmät, ovat mikroverkossa erityisen tärkeitä järjestelmiä. Mikroverkossa käytetään usein uusiutuvia energiantuotantomuotoja, kuten aurinko- ja tuulienergiaa. Näiden ongelmana on usein niiden saatavuuden vaihtelevuus, joten varastointi on erittäin hyvä keino saada kompensoitua tätä ongelmaa. Energian varastoinnilla voidaan saavuttaa muitakin etuja kuten huipputehon kompensointi, tasainen tehon saanti ja sähkön laadun varmistaminen. ESS-järjestelmissä sähköenergia voidaan muuntaa kemialliseen muotoon paristoihin tai mekaaniseksi energiaksi esimerkiksi vauhtipyörään. ESS-järjestelmistä on eniten hyötyä, kun mikroverkko on saarekekäytössä. (Palizbab 2016.)

#### Battery Energy Storage System (BESS)

Battery Energy Storage system on akuilla toimiva sähköenergian varastointijärjestelmä. BESS-järjestelmässä sähköenergiaa varataan yhtä lailla, kuin muissakin ESS-järjestelmissä. Järjestelmän etuna on halpa hinta, toimitusvarmuus ja tehokkuus. (Diwan 2019.)

### 3.6 Microgrid Controller

Microgrid controller eli mikroverkon ohjain on järjestelmä, jonka tarkoitus on kytkeä ja katkaista mikroverkko hallitusti pois tavanomaisesta verkosta ja hallita lois- ja pätötehoa samalla. Pidempiä aikoja verkosta irti ollessa pyrkii järjestelmä mahdollisimman tehokkaaseen energiankäyttöön. (Nrel.)

Mikroverkon ohjain mahdollistaa laadukkaan ja vakaan verkon, joka voidaan vaivatta irrottaa tavanomaisesta verkosta saarekekäyttöön tai liittää siihen takaisin. Järjestelmä ei ole pakollinen mikroverkossa, paitsi silloin, jos mikroverkkoa halutaan käyttää myös saarekekäytössä. (Schneider Electric 2018.)

### 3.7 EMS-järjestelmä mikroverkossa

Mikroverkon sisäinen energianhallintajärjestelmä toimii täysin vastaavilla järjestelmillä kuin ADMS, muun muassa SCADAlla. Toiminta on kuitenkin sellaista, että se toimii ai-noastaan mikroverkon käyttäjiä eikä kokonaista siirtoverkkoa varten, kuten ADMS. Tässä luvussa esitellään järjestelmiä, joita voidaan käyttää sekä myös niiden tarjoamia mahdollisuuksia.

EMS-järjestelmässä tai sen rinnalla on usein käytössä tässä työssä esiintyviä aputoimin-toja tai järjestelmiä, kuten

- SCADA-käytönvalvontajärjestelmä
- ESS energy storage -systeemi
- DMS distribution management -systeemi
- Load and Demand forecasting (Sähkön kulutuksen ja kysynnän ennustamistyö-  
kalu)

Energianhallintajärjestelmä kerää sen toiminnalle tarvittavaa dataa, jotta se pystyy toi-mimaan mahdollisimman tehokkaasti. Data voi olla esimerkiksi tuleva sää tai sähkön hinta.

Energianhallintajärjestelmät ovat olennainen osa mikroverkon toimintaa. Mikroverkon ja pääsähköverkon yhteiskäytön avulla hallintajärjestelmä voi ostaa sähköä pääverkosta päivällä, kun sähkön hinta on alhaista, ja samanaikaisesti ladata mikroverkossa olevia akkuvarastoja. Sähkön hinnan noustessa mikroverkko alkaa käyttää energiavarastojaan, ja näin päivällä varastoitu energia voidaan käyttää hyödyksi. (Wood 2020.)

Energianhallintajärjestelmä voi myös varautua sääilmiöihin, kuten myrskyihin, jotka voi-vat vaikeuttaa sähkönsaantia pääverkosta. Ennen tulevaa myrskyä järjestelmä alkaa va-rastoida energiaa, jotta mahdollisessa pääverkon vikatilanteessa mikroverkon käyttäjät eivät jää ilman sähköä. (Wood 2020.)

Sähkön kulutuksen ja kysynnän työkalun tarkoituksena on kerätä dataa, josta se pystyy valmiiksi ennustamaan kysyntää ja etenkin uusiutuvien energiantuotantomuotojen koh-dalla myös tarjontaa. Jos verkko on saarekekäytössä, eli se ei ole lainkaan yhteydessä tavanomaiseen sähköverkkoon, kykenee se energianhallintajärjestelmän avulla arvioi-maan sähkön riittävyyden ja mahdollisesti myös lataamaan verkossa olevia akkuja tai

ennustamaan mahdollisten generaattoreiden käytön tarvetta. (Load and Renewable Energy Forecasting for a Microgrid using 2017.)

Mikroverkossa on usein erilaisia sähköisiä kulkuneuvoja, joten energianhallintajärjestelmät sisältävät usein erilaisia aputoimintoja niiden käyttöön. V2G auttaa verkon hallinnassa etenkin silloin, kun verkko toimii uusiutuvalla energialla. Tällöin verkko kykenee käyttämään sähköisiä kulkuneuvoja energian varastoina ja tarvittaessa käyttää kulkuneuvon energiaa. (Virta.)

Mikroverkkojen koko on tyypillisesti 100 kilowateista useisiin megawatteihin. 100 kW mikroverkoissa on yleensä kyse yhden ison rakennuksen tai muutaman pienemmän talon sähkön saannista, kun taas megawattiluokassa on kyse jo suuremmista yhteisöistä. (C2ES.)

## 4 KAUPALLISTEN ENERGIANHALLINTAJÄRJESTELMIEN ESITTELY

### 4.1 Yleistä

Kaupallisia energianhallintajärjestelmiä tuottavat monet eri valmistajat. Tässä luvussa esitellään valmistuttajia ja vertaillaan niiden ominaisuuksia toisiinsa nähden. Järjestelmät ovat hyvin paljon ohjelmistopohjaisia, joten niitä voidaan muokata tarpeen mukaisesti. Järjestelmät kootaan erilaisista apuohjelmista ja laitteistoista käyttäjän tarpeen mukaan.

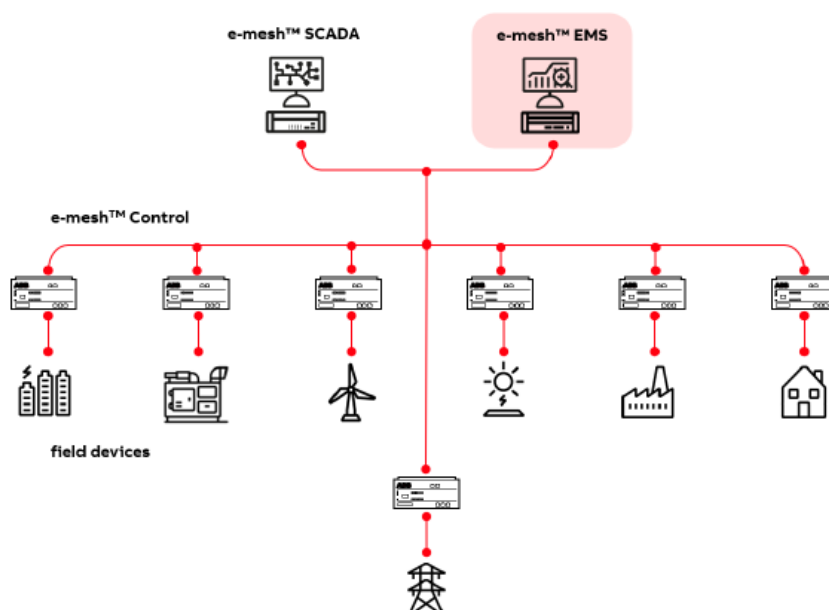
### 4.2 Hitachi ABB E-MESH EMS

Hitachi ABB e-mesh EMS-energianhallintajärjestelmä on hajautettuun energiantuottoon suunniteltu järjestelmä ja se palvelee monipuolisesti erilaisia energiantuotantomuotoja. E-mesh on suunniteltu hallitsemaan erilaisia kuormia, kuten sähköajoneuvojen latauslaitteistoja ja energianhallintajärjestelmällä voidaan hallita niin uusiutuvaa kuin tavanomaista energiantuotantoa. Järjestelmä voidaan skaalata hyvin erikokoisille mikroverkoille ja sitä voidaan matkan varrella myös kasvattaa, jos sille on tarvetta. (Hitachi ABB 2020.)

Hitachi ABB:n e-mesh on hajautettuun energiantuotantoon suunniteltu järjestelmäpohja, jossa on paljon erilaisia järjestelmiä ja laitteistoja edellä mainitun EMS-järjestelmän lisäksi, kuten:

- e-mesh Power Store, sähkön varastointiin
- e-mesh Control, energiavarojen ohjaamiseen sekä saarekekäytön optimoimiseen ja hallintaan
- e-mesh SCADA, tietojen keräämiseen
- e-mesh Monitor, verkon tuoton ja toiminnan seuraamiseen

Kuvasta 6 ilmenee, kuinka SCADA-, EMS- ja Control-ohjaimet toimivat verkon sisällä.



Kuva 5. E-mesh-tuoteperheen järjestelmien yhteistoiminta verkossa (Fabio Bonassi, 2020).

E-mesh EMS-järjestelmä on ohjelmistopohjainen järjestelmä, joka toimii tietokoneessa. Järjestelmässä on kolme eri moduulia, joiden avulla saavutetaan mahdollisimman tehokas energiantuotanto. (Fabio Bonassi 2020, 987.)

Optimointimoduuli, jota kutsutaan myös ydinmoduuliksi, käyttää matemaattisia mallinuksia ja algoritmeja. Niiden avulla moduuli ohjailee siihen kytkettyjä energiantuotantolaitteita toimimaan mahdollisimman tehokkaasti ottaen kuitenkin huomioon eri tuotantolaitteiden mahdollisia rajoituksia, ennusteita uusiutuvan energian mahdollisesta määrästä ja tavanomaisesta sähköverkosta tulevan sähkön hinnasta. Järjestelmä ottaa myös huomioon mahdollisen energian varastoinnin, jos sellainen mahdollisuus kyseisessä verkossa on. Tällä tavalla e-mesh EMS optimoi mahdollisimman tehokkaaseen energiansaantiin. E-mesh EMS-järjestelmä käyttää kahta erilaista lähestymistapaa suunnitellaan energianhallintaa, Day ahead ja Intra day. Day ahead toimii niin, että keskiyöllä järjestelmä etsii seuraavan 24 tunnin ennusteet ja käyttää niitä optimoidakseen energianhallintaa. Toinen lähestymistapa on Intra Day, jossa järjestelmä etsii uusia ennusteita 15 minuutin välein. (Fabio Bonassi 2020, 987.)

EMS Connect -moduulin tarkoituksena on mahdollistaa viestintä SCADAn tai muun vastaavan järjestelmän kanssa. E-mesh Connect -moduulin tarkoituksena on myös viestiä verkon sisällä olevien energiantuotantolaitteiden kanssa logiikkapiirien välityksellä ja

saada mahdollisesti kolmansien osapuolien tarjoamaa dataa, kuten erilaisia ennusteita, jonka avulla verkkoa voidaan optimoida. SCADAn tai vastaavan järjestelmän kanssa viestintä tapahtuu WEB REST -verkkosovellusliittymän kautta, kun taas viestintä verkon sisällä olevien laitteistojen kanssa tapahtuu MODBUS TCP/IP-protokollan mukaisesti Ethernet-kaapelilla. (Fabio Bonassi 2020, 987-988.)

EMS Report -moduulin tarkoitus on raportoida kaikki tieto, jonka järjestelmä on kerännyt, kuten erilaiset taloudelliset datat siitä, paljonko energiaa on myyty verkkoon tai vastavasti ostettu verkosta. Järjestelmän avulla voidaan myös saada tietoa mahdollisten generaattoreiden käytön tarpeesta ja siitä, paljonko hiilidioksidipäästöjä generaattoreiden toiminnasta on aiheutunut. Järjestelmän avulla voidaan myös luoda erilaisia simulaatioita sähköntuotantotapoihin liittyen. (Fabio Bonassi 2020, 988.)

Suurimmat edut e-mesh -energianhallintajärjestelmällä toimivalla mikroverkolla on, että sillä saavutetaan joustavaa ja luotettavaa energiantuotantoa, joka pystyy ennakoimaan mahdollisia energiansaannin haasteita. Järjestelmän avulla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä, maksimoida takaisinmaksuaika mahdollisimman lyhyeksi ja saada taloudellista etua, kun uusiutuvaa energiaa käytetään mahdollisimman paljon ja tehokkaasti erilaisten uusiutuvien energiansaantimallinnuksien avulla. (Hitachi ABB 2020, 988.)

E-mesh-energianhallintajärjestelmän avulla voidaan myös suunnitella valmiiksi huolto-toimenpiteet siten, että ne osuvat mahdollisuuksien mukaan väliin, jolloin mikroverkko kärsii keskeytyksestä mahdollisimman vähän. Se kykenee myös omatoimiseen verkon valvontaan ja tekemään itsenäisesti päätöksiä mahdollisissa ongelmatilanteissa. Järjestelmään voidaan liittää sen omia e-mesh-järjestelmiä tai kolmansien osapuolien järjestelmiä, jotka tarjoavat esim. sähkön tariffihintoja, sääennusteita tai eri mallinnuksia mahdollisesti saatavasta uusiutuvasta energiasta. E-mesh EMS kykenee myös itsenäisesti keräämään paljon dataa, jota se voi käyttää omissa energian hinta- tai saatavuusmallinuksissaan. (Hitachi ABB 2020.)

E-mesh EMS -järjestelmässä voidaan käyttää myös erilaisia energianvarastointitapoja, jolloin voidaan välttää mahdollisten polttoainegeneraattoreiden käyttöä. Generaattoreita käytettäessä e-mesh EMS -järjestelmä kykenee optimoimaan jopa polttoaineenkulutuksen, jotta kallista fossiilista polttoainetta käytetään niin vähän kuin mahdollista. Generaattoreilla tai energian varastoinnilla voidaan saavuttaa hyvin omavarainen mikroverkkojärjestelmä. Hitachi ABB e-mesh EMS -järjestelmässä voidaan käyttää Hitachi ABB:n omaa akkuvarastoa, eli Power Storea, jonka kokoluokka on 250 kilowatista useampaan

megawattiin. Järjestelmä tuottaa myös paljon erilaisia raportteja ja mallinnuksia, joiden avulla voidaan vertailla esimerkiksi verkon kannattavuutta, tuottoa ja takaisinmaksua. Mikroverkkoa voi käyttää myös saarekekäytössä, jos e-mesh EMS -järjestelmään lisätään e-mesh connect -ohjainjärjestelmä. E-mesh EMS soveltuu niin hajautettuun energiantuotantoon, kuin tavanomaiseen energiantuotantoon. Järjestelmään voidaan kytkeä myös hallittavia kuormia, kuten sähköajoneuvojen latauslaitteita. (Hitachi ABB 2020.)

#### 4.3 Sumitomo Electric Energy Management System Architecture sEMSA

Sumitomon Electricin valmistama energianhallintajärjestelmä on sEMSA. Se on suunniteltu erityisesti hajautetuille energianlähteille, kuten uusiutuvalle energialle. Kuvasta 7 ilmenee, millaisen kokoluokan energiantuotanto- ja varastointijärjestelmiä on mahdollista käyttää. Järjestelmää voidaan käyttää myös yhteistuotantotarkoitukseen, jolloin verkossa voi olla myös generaattoreita, mutta järjestelmää voi käyttää myös erilaisten akkujärjestelmien kanssa. sEMSA-järjestelmää voidaan käyttää energiaressien hallinnassa ja sähköenergian mahdollisimman edullisen hinnan saavuttamisessa. Järjestelmä kykenee itsenäiseen toimintaan ilman, että ihmisen tarvitsee valita tehokkainta ratkaisua. sEMSA hankkii jatkuvasti tietoa eri lähteistä, kuten säätiedoista, jolla uusiutuvan energian määrää voidaan arvioida ja ylläpitää verkon sisällä historiallisia tietoja miten paljon energiaa on tietyllä ajalla luotu tai kulutettu tietyllä ajanjaksolla. Tällä järjestelmä pyrkii ennustamaan mahdollisen energiantarpeen tai energian saatavuuden ja näin ollen se kykenee käyttämään laitteistoja mahdollisimman tehokkaalla tavalla. Järjestelmä soveltuu parhaiten pieniin ja keskisuuriin mikroverkkoihin, mutta myös suuria mikroverkkoja voidaan räätälöidä asiakkaalle. (Sumitomo Electric.)

sEMSA on ohjelmistopohjainen järjestelmä, joka toimii tietokoneella. Järjestelmä käyttää erilaisia matemaattisia mallinnuksia, jonka avulla se kykenee ennakoimaan jopa 48 tunnin päähän mahdollisimman tarkan ennustukseen uusiutuvan energiantuotannon ja energian kysynnän välillä. Järjestelmän ollessa suunniteltu etenkin uusiutuvien energioiden ympärille, kykenee se jakamaan 48 tunnin ennustuksen 10 minuutin osiin ja näin ollen 10 minuutin välein voi järjestelmä voi arvioida tai muuttaa toimenpiteitensä, kuten mahdollisten energiavarastojen tai generaattoreiden käyttöä. sEMSA pyrkii myös mahdollisimman tehokkaaseen ennustusvirheiden havainnointiin. Järjestelmä laskee jatkuvasti uudestaan ennustuksiaan ja näin ollen tekee mahdollisia muutoksia joka 10 minuutti. Järjestelmä on varustettu dynaamisella uudelleenajojärjestelmällä DRC (dynamic



reallocation control), joka mahdollistaa uusien parametrien ajon järjestelmään tarvittaessa. sEMSA-järjestelmä on jatkuvasti yhteydessä energiantuotantolaitteiden kanssa erilaisten logiikkapiirien välityksellä. (Hiroo HORI 2015, 56.)

sEMSA-järjestelmä kerää jatkuvasti erilaista tietoa, jotta se pystyy tekemään mahdollisimman tarkkoja ennustuksia. Tähän tarkoitukseen se kerää historiallista tietoa, esimerkiksi siitä, kuinka paljon energiankulutus on ollut tiettyyn kellonaikaan, tietyllä säätälalla ja vastaavasti kuinka paljon näillä edellä mainituilla ajankohdilla on kyetty tuottamaan energiaa. Näiden tietojen avulla se kykenee käyttämään mahdollisia energiavaroja tai generaattoreita, jotta energiansaanti olisi mahdollisimman tasaista tai energiansaannin ollessa heikkoa, voi järjestelmä hankkia sähkönsä tavanomaisesta verkosta. (Hiroo HORI 2015, 56-57.)

sEMSA-energianhallintajärjestelmä tarjoaa verkkopohjaisen liittymän, jonka avulla voidaan energian kysyntää tai tarjontaa seurata niin historiallisesti kuin myös reaaliaikaisesti. Järjestelmän ajatuksena on tuottaa mahdollisimman halpaa ja ympäristöystävällistä energiaa. Järjestelmä käyttää kulutusohjauksessa Open ADR 2.0 -järjestelmää, jonka avulla sEMSA kykenee yhteydenpitoon kuluttajan ja energiantuotannon välillä ja tällöin energiantuotantolaitoksia voidaan käyttää tai sammuttaa tarpeen mukaisesti. (Hiroo HORI 2015, 59.)

Open ADR 2.0 (open automated demand response) on standardoitu kysyntäjousto järjestelmä, joka edesauttaa EMS-järjestelmän yhteydenpitoa kuluttajan ja energiantuottajan välillä ja näin ollen standardin kanssa yhteensopivia järjestelmiä pystytään liittämään toisiinsa. OPEN ADR 2.0:n tarkoituksena on mahdollistaa myös mahdollisimman tehokas energiankäyttö ja varoittaa potentiaalisista häiriötilanteista. (GridFabric 2020.)

Applicable equipment	Type of equipment	Maximum number of units	Maximum power output	Remarks
Generator	Gas engine	1 (can be expanded up to 6)	4000 kW / machine	Waste heat utilization is handled individually for each project.
	Gas turbine			
	Diesel engine			
	Micro-cogenerator			
Photovoltaic generator	Can be used with any equipment	1*1 (can be expanded up to 16)	4000 kW / machine	-
Storage battery	RF battery	1*2 (up to 3 with expanded specifications)	±2000 kW / battery	-
	Li-ion battery			
	Lead storage battery			

\*1 The arbitrary pieces combination is counted as one unit.  
\*2 Each pieces counts as one unit.

Kuva 6. Sumitomo Electirc sEMSA järjestelmän soveltuvuus eri järjestelmille (Sumitomo Electirc).

## 5 ARVIOINTI ERI EMS-JÄRJESTELMISTÄ JA SOVELTUVUUS KAEV-PROJEKTIIN

### 5.1 KAEV-Projekti

KAEV-projekti, eli Kestävä alueellinen energiantuotanto ja varastointi projektin tavoitteena on luoda uusia menetelmiä uusiutuvan energian tehokkaampaan, laajempaan ja mahdollisimman ympäristöystävälliseen hyödyntämiseen pientaloasuinalueella. Ajatuksena on korvata pienet talokohtaiset aurinkovoimalat suuremmilla aluekohtaisella mikroverkolla, jonka sisällä olisi suurempi aurinkovoimala. Alueella pitäisi myös olla mahdollisuus energian varastointiin ja sähköisille kulkuneuvoille. Laajemmalla mikroverkolla pyritään jakamaan kustannuksia samalla, kun luodaan laajempi ja tehokkaampi mikroverkkojärjestelmä. KAEV-Projektia testataan Naantalin asuntomessuilla vuonna 2022. Hankkeella pyritään kehittämään niin teknisiä ratkaisuja kuin liiketoimintamalleja. Projektia vetää Turun Ammattikorkeakoulu ja sen rahoittajana toimii Euroopan aluekehitysrahasto EAKR. Mukana projektissa on myös Naantalin kaupunki, Naantalin Energia, Solnet Finland Oy, Sensoan Oy ja LUT-yliopisto. (Turun ammattikorkeakoulu Oy 2019.)

### 5.2 Yleistä arvioitavista energianhallintajärjestelmistä

Energianhallintajärjestelmät soveltuvat hyvin erilaisiin käyttöihin juuri niiden modulaarisuuden takia, jolloin verkon koko on hyvin pitkälti määriteltävissä. Järjestelmät itsessään ovat hyvin standardoituja, joten järjestelmät eivät ole täysin lukittuina vain saman valmistajan tuotteisiin, vaikka varmasti usein niin tehdään. Jokainen järjestelmä toimii hyvin eri energiantuotantomenetelmällä, mutta pieniä eroavaisuuksia niiden välillä on. Jokainen järjestelmä kykenee varastoimaan energiaa BESS-järjestelmiin, ja EMS-järjestelmät olivat kykeneviä valvomattomaan tuotantoon. Taulukkoon 1 on vertailtu ja listattu muutamia EMS-järjestelmän tärkeimpiä järjestelmiä ja myös mahdollisuuksista saada ne lisättyä järjestelmään.

Taulukko 1. Taulukossa EMS-järjestelmien jo olemassa olevia järjestelmiä ja myös lisävarusteena saatavia järjestelmiä.

Järjestelmä	Hitachi ABB e-mesh EMS	Sumitomo Electric Energy Management System Architecture sEMSA
Sähkön kulutuksen ja kysynnän työkalu	X	X
SCADA tai muu käytöntukijärjestelmä	Lisävaruste, esim. e-mesh SCADA	
DMS	X	X
ESS Energian varastointijärjestelmä	Lisävaruste, esim. e-mesh Power Store	Lisävaruste
Mikroverkon ohjainlaite	Lisävaruste, esim. e-mesh control	

### 5.3 Hitachi ABB e-mesh EMS

Hitachi ABB e-mesh EMS on erittäin vaikuttava energianhallintajärjestelmä, jota voidaan muokata tarpeen mukaan oikean kokoiseksi. Hitachi ABB e-mesh kykenee hyvin eri energiantuotantomuotoihin ja sillä on etenkin fossiilisten energiantuotantomuotojen näkökulmasta hienoja järjestelmiä, kuten kyky toimia mahdollisimman polttoainetehokkaasti, kun käytössä esimerkiksi dieselgeneraattori. Huomiota herättää myös järjestelmä, jonka avulla kyetään suunnittelemaan verkon mahdolliset huollot jo etukäteen verkon käyttäjän ja tuottajan näkökulmasta mahdollisimman edulliseen aikaan. E-mesh EMS -huoltojärjestelmä perustuukin siihen, että älykkäät EMS-järjestelmät keräävät tietoa sähkön kulutuksesta ja tuotannosta mikroverkon sisällä ja näin ollen valitsevat parhaan hetken huoltotoimenpiteille. Järjestelmä kykenee myös ennakoimaan mahdollista sähkön saantia esimerkiksi uusiutuvan aurinkoenergian kohdalla säätiedoilla. E-mesh EMS -järjestelmä soveltuu myös hyvin sähköisten kulkuneuvojen latauslaitteelle.

### 5.3.1 Hitachi ABB e-mesh EMS KAEV-projektissa

Hitachi ABB e-mesh EMS -järjestelmä soveltuisi hyvin KAEV-projektiin. KAEV-projektissa halutaan uusiutuvan energian avulla luoda mahdollisimman tehokas ja ympäristöystävällinen verkko, jossa halutaan ottaa huomioon myös sähköiset ajoneuvot ja mahdollisesti myös energian varastointi. Näihin edellä mainittuihin sovelluksiin e-mesh EMS -järjestelmä sopii erinomaisesti. Järjestelmän jatkuvalla datankeruulla voidaan saavuttaa niin hiilidioksidipäästöjen vähentämistä, uusiutuvan energian maksimaalista käyttöastetta ja myös rahan säästöä. Datankeruun avulla verkon mahdolliset huoltotoimenpiteet voidaan ennalta suunnitella ja e-mesh EMS -järjestelmän verkkopohjaisella käyttäjäliittymällä asuinalueen asukkaat kykenisivät myös itse seuraamaan energian kulutusta, tuottoa ja uusiutuvan energian avulla saavutettavaa säästöä. KAEV-projektissa tarvitaan myös energiavarasto, johon mahdollinen ylijäämäenergia voitaisiin säilöä myöhempää käyttöä varten. Tähän Hitachi ABB:n e-mesh tuotepiheestä löytyisi esimerkiksi e-mesh Power Store, jonka kokoa voidaan skaalata 100kW kokoisesta järjestelmästä aina 1MW järjestelmään. E-mesh Power Storella kyettäisiin varastoimaan ylimääräinen energia ja näin ollen mikroverkko voisi varata päivällä tuotettua energiaa iltaan, jolloin ihmiset yleensä ovat kotona ja energian käyttö on suurempaa. Varastoitua energiaa voisi esimerkiksi käyttää lämminvesivaraajaan, jota käytettäisiin yöllä ja se pystyisi myös varastoimaan energiaa myöhemmälle käytölle. E-mesh EMS -järjestelmässä olevalla mahdollisuudella ohjata sähköisten ajoneuvojen latausta voisi myös päivällä varastoitua sähköä käyttää näiden lataamiseen. EMS-järjestelmän sähkönhinnan seurannalla ja säätietojen analysoinnilla voisi myös luoda säästöä, koska sähköä ostettaisiin vain sen ollessa edullista ja varastoida myöhempää käyttöä varten. Hitachi ABB:n e-mesh-järjestelmässä käytettävä intra day- tai day ahead -optimoinnilla voidaan joko suunnitella etukäteen energiankäytön ja tuotannon suhde valmiiksi tai optimoida järjestelmää joka 15 minuutti. Mielestäni yleisesti e-mesh-tuotepihe kokonaisuudessaan pystyy luomaan erinomaisen järjestelmäkokonaisuuden KAEV-projektiin.

### 5.4 Sumitomo Electric sEMSA

Sumitomo Electric sEMSA -järjestelmä on tarkoitettu pienemmille ja keskikokoisille mikroverkkojärjestelmille, mutta sitä voidaan räätälöidä asiakkaan toiveesta, jolloin se soveltuu myös isommille mikroverkoille. Järjestelmä on myös hyvin soveltuva monille eri

energiantuotantomuodoille ja varastointijärjestelmille. Järjestelmä soveltuu niin saarekekäyttöön, kuin tavanomaiseen verkkoon kytkettynäkin. Järjestelmän etuna on se, että se kykenee jopa 48 tunnin päähän tekemään suunnitelman valmiiksi, kuinka energiaa on mahdollisesti saatavissa. Saman aikaisesti sEMSA voi muokata jo tehtyä suunnitelmaa koko ajan ja ajaa uudet parametrit sisään 10 minuutin välein. Uusiutuvan energiankäytön päällimmäisenä ongelmana on juuri haaste siitä, että sää muuttuu jatkuvasti.

#### 5.4.1 Sumitomo Electrics sEMSA KAEV-projektissa

Sumitomo Electrics sEMSA -järjestelmä soveltuisi KAEV-projektissa käytettäväksi, koska se on erityisesti suunniteltu pienten ja keskisuuriin järjestelmiin. Myös samalta yhtiöltä saatavat energiavarastot voidaan suoraan liittää tähän. sEMSA järjestelmässä ei kuitenkaan ole älykästä järjestelmää sähköisille ajoneuvoille, kuten esimerkiksi e-mesh-järjestelmässä, jonka avulla sähköisten ajoneuvojen energiansaantia tai jopa niiden hyödyntämistä energiavarastona ei ole samalla tavalla. Järjestelmän jatkuvasti tarkkaillaessa mahdollisesti muuttuvia olosuhteita ja mahdollisuus ajaa 10 minuutin välein uudet parametrit voivat luoda hyvin luotettavan ja jatkuvasti tilanteen tasalla olevan mikroverkon. Energiavarastoilla sähköä voitaisiin myös varastoida ja käyttää vasta silloin, kun sille on tarvetta, kuten silloin, kun mikroverkon sisäinen tuotanto ei kykene vastaamaan sähkön kysyntään tai silloin, kun verkosta ostettavan sähkön hinta on suuri. sEMSA-järjestelmässä on myös mahdollisuus käyttää verkkopohjaista käyttöliittymää, jonka avulla kyetään seuraamaan energian sen hetkistä tarjontaa ja kysyntää, kuin myös pidemmän aikavälin trendejä. Järjestelmä ei sovellu aivan niin hyvin KAEV-projektiin, kuin toinen vertailta, mutta järjestelmää voidaan muokata hyvinkin paljon ja mahdollisesti se voidaan räätälöidä myös tähän projektiin.

## 6 YHTEENVETO

Energianhallintajärjestelmät ovat keskenään hyvin samanlaisia, ja samanaikaisesti niissä olevia järjestelmiä voidaan hyvin pitkälti muuttaa asiakkaiden tarpeen mukaan, jolloin jo valmiit mikroverkkojärjestelmät saattavat poiketa toisistaan hyvinkin merkittävästi. Itsessään energianhallintajärjestelmä mikroverkoissa on välttämätön, jotta asiakas saa saavutettavissa olevasta energiasta talteen mahdollisimman paljon. Energianhallintajärjestelmien etu tulee esille etenkin silloin, kun kyseessä on uusiutuvaan energiaan pohjautuvat tuotantolaitteet kuten esimerkiksi aurinkosähkövoimalat. Energianhallintajärjestelmien kerätyllä datalla ja myös kolmansien osapuolien datalla kuten säätiedoilla on erittäin suuri etu, jotta energia saadaan talteen mahdollisimman tehokkaasti. Myös verkossa, jossa ei ole esimerkiksi Diesel-generaattoreita, voidaan CO<sub>2</sub>-päästöissä säästää huomattavia määriä, koska tavanomaisen verkon sähkönkäyttö on huomattavasti vähäisempää. Energianhallintajärjestelmän kanssa yhdessä käytettävät energiavarastot ovat erittäin hyvä keino saada ylimääräistä energiaa talteen tilanteessa, kun tuotantoa on liika tai kulutus on pientä. Näin voidaan tehdä suuriakin säästöjä rahallisesti, kun tavanomaista verkkoa ei käytetä ja hankittujen järjestelmien, kuten esimerkiksi energianhallintajärjestelmän, aurinkovoimaloiden ja mahdollisen energiavaraston takaisinmaksuaika pienenee huomattavasti. Mikroverkot ja siihen kuuluvat laitteistot, kuten EMS, voivat olla tulevaisuudessa hyvinkin yleisiä, kunhan lait, säädökset mahdollistavat niiden luomisen vaivattomasti. ADMS-järjestelmä mahdollistaa uudenlaisen tavan hallita verkkoa ja sen avulla myös mikroverkkojen hallinta ja valvonta onnistuu. Mikroverkkojen avulla voidaan mahdollisesti luoda hyvinkin paljon taloudellisia etuja samalla, kun uusiutuvalla energialla luotu sähkö vähentää kasvihuonepäästöjä.

## LÄHTEET

**ABB.** [Online] [Viitattu: 15. 3 2021.] <https://new.abb.com/control-systems/fi/system-800xa/hajautettu-800xa-ohjausjarjestelma/kenttavaylaprotokollat/iec-61850>.

**Adrian Gligorb, Cristian-Dragos Dumitru. 2012.** Science Direct. [Online] 2012. [Viitattu: ] [https://pdf.sciencedirectassets.com/282136/1-s2.0-S2212567112X00042/1-s2.0-S2212567112001505/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEMj%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIFGY2eLVYU5Wtg33bIAGfZwDuWkMmZhxab8ngMWTaO7iAiBRh8dULDaeN0lo](https://pdf.sciencedirectassets.com/282136/1-s2.0-S2212567112X00042/1-s2.0-S2212567112001505/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEMj%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIFGY2eLVYU5Wtg33bIAGfZwDuWkMmZhxab8ngMWTaO7iAiBRh8dULDaeN0lo).

**Ausgrid. 2018.** *Modernising Ausgrid's Operational Control System*. s.l. : Ausgrid, 2018.

**C2ES.** [Online] [Viitattu: 19. 3 2021.] <https://www.c2es.org/content/microgrids/>.

**Cecilia Reis, J. Amaral, R.F.M Brandao. 2013.** Researchgate. [Online] Syyskuu 2013. [Viitattu: 10. 1 2021.] [https://www.researchgate.net/publication/261036010\\_Energy\\_Management\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/261036010_Energy_Management_Systems).

**Cox, Chloe. 2015.** [Online] 20. 8 2015. [Viitattu: 13. 3 2021.] <https://www.power-grid.com/der-grid-edge/determining-the-impacts-of-volt-var-optimization-a-tale-of-two-approaches/#gref>.

**Dave. 2019.** WatElectrical. [Online] 2. 4 2019. [Viitattu: 21. 4 2021.] <https://www.watelectrical.com/scada-applications-in-power-system/>.

**Diwan, Parag. 2019.** Parag Diwan. [Online] 1. 5 2019. [Viitattu: 22. 3 2021.] <https://pdiwan.medium.com/battery-energy-storage-system-eb0e9a57d546>.

**Eland Cables.** [Online] [Viitattu: 6. 3 2021.] <https://www.elandcables.com/the-cable-lab/faqs/faq-what-is-fault-current>.

**Electric, General. 1974.** *Load Shedding, Load Restoration and Generator Protection Using Solid State and Electromechanical under frequency Relay*. s.l. : General Electric, 1974.



**Elisa Wood. 2018.** [Online] 4. 11 2018. [Viitattu: 6. 3 2021.]  
<https://microgridknowledge.com/microgrid-benefits-eight/>.

**Fabio Bonassi, Alessio La Bella, Lorenzo Fagiano, Riccardo Scattolini, Donato Zarrilli, Pablo Almaleck, Pietro Serra. 2020.** *Software-in-the-loop testing of a distributed optimal.* 2020.

**GridFabric. 2020.** GridFabric. [Online] 6. 4 2020. [Viitattu: 18. 3 2021.]  
[https://www.gridfabric.io/blog/openadr-overview?gclid=EAlaIqobChMI-vvS1La67wIVjKSyCh0l-w6vEAAAYASAAEgKF\\_fD\\_BwE](https://www.gridfabric.io/blog/openadr-overview?gclid=EAlaIqobChMI-vvS1La67wIVjKSyCh0l-w6vEAAAYASAAEgKF_fD_BwE).

**Hatziargyriou, Nikos. 2014.** *Microgrids : Architectures and Control.* s.l. : John Wiley & Sons, Incorporated, 2014.

**Hiroo HORI, Yoshihisa ISHIGAKI, Yoshitaka KIMURA, Tran XUAN MAI, Tomoya OZAKI, Takami YOKOSE. 2015.** *Energy Management System (sEMSA) Achieving Energy Cost Minimization.* 2015.

**Hitachi ABB. 2020.** *Energy Insights, e-mesh EMS Energy Management System.* s.l. : Hitachi ABB, 2020.

**Krueger, Morgan.** <https://www.pacificdataintegrators.com/insights/microgrid-pros-and-cons>. [Online]

**Lehtomäki, Aleks. 2020.** *Saarekekäyttöön kykenevän mikroverkon haasteet suomessa.* s.l. : Lappeenrannan-Lahden Teknillinen Yliopisto, 2020.

*Load and Renewable Energy Forecasting for a Microgrid using.* **Shreya Dutta, Yanlijng Li, Aditya Venkataraman, Luis M.Costa, Tianxiang Jiang, Robert Plana. Philippe Tordjman, Fook Honeg Cho, Chek Fok Foo, Ja Hans Puttgen. 2017.** 143, s.l. : Energy Procedia, 2017.

**Lounasheimo, Antton. 2020.** <https://teknologiateollisuus.fi/en/node/27084>. [Online] 20. 4 2020. [Viitattu: 31. 1 2021.]

**Mahmoud S. Saleh, Yusef Esa, Ahmed Mohamed. 2018.**  
[https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=cc\\_pubs](https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=cc_pubs).  
 [Online] 2018.

**Meyers, Jeff. 2013.** EE Online. [Online] 11/12 2013. [Viitattu: 13. 3 2021.] <https://electricenergyonline.com/energy/magazine/746/article/Advanced-DMS-and-Microgrids-A-Match-Made-in-Heaven.htm>.

**Miettinen, Jari. 2011.** Sähköverkkojen käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmien. [Online] 15. 12 2011. [Viitattu: 11. 1 2021.] Sähköverkkojen käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmien.

—. 2011. *Sähköverkkojen käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmien käyttöönotto*. s.l. : Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, 2011.

**Motiva.** [Online] [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmän\\_kaytto/ylijaamasahkon\\_myynti](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmän_kaytto/ylijaamasahkon_myynti).

**Muhammad Fahad Zia, Elhoussin Elbouchikhi, Mohamed Benbouzid. 2018.** *Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects*. s.l. : Applied Energy, 2018.

**Nrel, Brian Miller.** [Online] [Viitattu: 15. 4 2021.] <https://www.nrel.gov/grid/microgrid-controls.html>.

**N-Sci technologies. 2019.** [Online] 8. 11 2019. [Viitattu: 13. 3 2021.] <https://nsci.ca/2019/11/08/microgrids-what-are-they-and-how-do-they-work/>.

**Palizbab, Omid. 2016.** [Online] 9 2016. [Viitattu: 16. 3 2021.] [https://www.univaasa.fi/materiaali/pdf/isbn\\_978-952-476-695-1.pdf](https://www.univaasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-695-1.pdf).

**Patel, Sonal. 2020.** Power. [Online] 1. 5 2020. [Viitattu: 22. 3 2021.] <https://www.powermag.com/benefits-of-battery-storage-based-black-start-capability/>.

**Penttilä, Tapio. 2013.** DMS 600 JAKELUVERKON KÄYTÖNTUKIJÄRJESTELMÄN. [Online] 2013. [Viitattu: 11. 1 2021.] [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56999/penttila\\_tapio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56999/penttila_tapio.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**Phoenix Energy Group. 2018.** [Online] 3. 5 2018. [Viitattu: 6. 3 2021.] <https://www.phoenixenergygroup.com/blog/challenges-faced-during-microgrid-implementation>.

**Phoenix, Energy group. 2018.** [Online] 13. Elokuu 2018. <https://www.phoenixenergygroup.com/blog/an-overview-of-outage-management-systems>.

**Schneider Electric. 2018.** *Efficient green power for islandable microgrids*. s.l. : Schneider Electric, 2018.

**SOL-UP. SOL-UP.** [Online] [Viitattu: 22. 3 2021.] <https://www.solup.com/microgrids-next-evolution-grid/>.

**Sumitomo Electric.** [Online] [Viitattu: 18. 3 2021.] <https://sumitomoelectric.com/products/semsa>.

**Suntekno.** <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>. [Online] [Viitattu: 31. 1 2021.] <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>.

**Toivanen, Markus. 2020.** [Online] 14. 4 2020. [Viitattu: 6. 3 2021.] <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343264/Kuormanohjaus%20aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmiss%C3%A4.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

**Turun ammattikorkeakoulu Oy. 2019.** *KAEV - Kestävä alueellinen energiantuotanto ja -varastointi*. s.l. : Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR), 2019.

**U.S Department of energy. 2014.** *U.S Department of energy*. [Online] 2014. [Viitattu: 13. 2 2021.] [https://www.smartgrid.gov/files/documents/B5\\_draft\\_report-12-18-2014.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/documents/B5_draft_report-12-18-2014.pdf).

**Virta, EV Charging.** VEHICLE-TO-GRID: EVERYTHING YOU NEED TO KNOW. [Online] Virta EV Charging Technology.[Viitattu: 22. 3 2021.] <https://www.virta.global/vehicle-to-grid-v2g#five>.

**wilson, FG.** *GENERATOR SET KW & KVAR LOAD SHARING IN A PARALLELED SYSTEM*.

**Wood, Elisa. 2020.** <https://microgridknowledge.com/microgrid-defined/>. *Microgrid Knowledge*. [Online] 2020.

