



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
YHTEISKUNTATIETEIDEN, LIIKETALOUDEN JA HALLINNON ALA

# ÄLYKKÄÄN SÄHKÖVERKON RAT- KAISUT PIENJÄNNITEVERKOSSA

TEKIJÄ/T: Ville Kuhmonen

Koulutusala Luonnontieteiden ala	
Koulutusohjelma Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Kuhmonen	
Työn nimi Älykkään sähköverkon ratkaisut pienjänniteverkossa	
Päiväys 2.5.2014	Sivumäärä/Liitteet 46
Ohjaaja(t) FL Marja-Riitta Kivi ja DI Harri Smolander	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Enfo Zender Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoite oli selvittää pienjänniteverkon kehitystä ohjaavia tekijöitä ja niiden myötä kehittyneitä sähköverkon älykkäitä ratkaisuja. Verkon älykkyys perustuu kehittyneen mittausinfrastruktuurin (AMI, Advanced Metering Infrastructure) kokonaisuuteen: etäluettavat mittalaitteet, tietoliikenne ja mittaustiedon hallinta. Opinnäytetyön pääpaino on sekä etäluettavien mittalaitteiden toimintojen ja mittaustietojen hyödyntämisessä että pienjänniteverkon hallinnassa. Etäluettavien mittalaitteiden mittaustiedot ja toiminnot ovat kokonaisuudessaan avaintekijöitä uusien sähköverkossa hyödynnettävien älykkäiden ratkaisujen toteuttamiseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli kuvata näitä palveluita ja toimintoja.</p> <p>Opinnäytetyössä kuvataan ensin sähköverkon rakennetta kokonaisuudessaan. Pienjänniteverkossa esiintyviä sähkön laatuhäiriöitä on käsitelty, jotta opinnäytetyön myöhemmässä vaiheessa sähkön laatuvirheet voitaisiin rinnastaa etäluettavien mittalaitteiden mahdollistamaan pienjänniteverkon hallintaan. Pienjänniteverkon hallintaa on selvitetty, koska se on tärkeä osa verkon toimintavarmuuden takaamista. Älykäs sähköverkko -käsitettä ja sen kehitystä ajavia tekijöitä tutkitaan. Älykkään sähköverkon ratkaisuja ja palveluita kuvataan laajemmän käsityksen saamiseksi. Lähteinä käytettiin englanninkielistä kirjallisuutta. Lisäksi lähteinä hyödynnettiin erilaisia energia-alan verkkosivuja, dokumentteja ja tutkimuksia.</p> <p>Sähköverkko joutuu tulevaisuudessa vastaamaan ympäristön haasteisiin ja lainsäädännön asettamaan sähköverkon toimintavarmuuden edistämiseen. Haasteisiin pystytään vastaamaan kehittämällä sähköverkon älykkäitä ratkaisuja ja ominaisuuksia. Keskijänniteverkon hallinnalla haasteisiin on voitu tarttua jo aiemmin, mutta pienjänniteverkon osalta tietoa ei ole ollut saatavilla ennen etäluentaa. Pienjänniteverkosta halutaan tarkempaa mittaustietoa, jotta sen nykytilaa ja kehitystä voitaisiin monitoroida. Kun pienjänniteverkon hallintaominaisuudet toimivat, sähköverkosta tulee kiinnostavampi markkinapaikka sähkönmyyjien näkökulmasta. Sähkönmyyjät voivat hyödyntää esimerkiksi dynaamisen kuormanohjauksen mahdollisuuksia sähkönmyynnin liiketoiminnassa. Pienjänniteverkon hallinta tehostaa verkkoyhtiön toimintoja ja auttaa verkon kuntotiedoilla kehittämään sähköverkon toimintavarmuutta. Pienjänniteverkon hallintaa halutaan laajentaa, jotta hajautettu uusiutuvien energialähteiden tuotanto saadaan integroitua osaksi sähköverkkoa.</p>	
<p>Avainsanat</p> <p>Pienjänniteverkko, pienjänniteverkon hallinta, älykäs sähköverkko, etäluenta, etäluettavat mittalaitteet, sähkön laatu, kehittyvät mittausinfrastruktuuri</p>	

Field of Study Social Sciences, Business and Administration			
Degree Programme Degree Programme in Information Technology			
Author(s) Ville Kuhmonen			
Title of Thesis Smart grid solutions in low voltage network			
Date	2.5.2014	Pages/Appendices	46
Supervisor(s) Ph.Lic. Marja-Riitta Kivi, M.Sc. Harri Smolander			
Client Organisation /Partners Enfo Zender Oy			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to research the factors that control the development of the low voltage (LV) network and the smart solutions that are developed by them. The intelligence of the smart grid is mostly based on the advanced metering infrastructure (AMI) as a whole: remote meters, communication and meter data management (MDM). The focus of this thesis is on utilizing both the remote meters' functions and metering data, as well as on the management of the LV network. The data and functions of these remote meters are key factors to implementing new smart solutions to the network. This thesis aimed to describe these various services and functions.</p> <p>The thesis models a power network structure first. The power quality problems occurring in the LV network are explained so they can be included in the LV network operation enabled by the remote meters. The concept of "smart grid" is deconstructed and the importance of its development is researched. LV network operation is also researched as it plays an important role in ensuring the network's reliability. Smart grid solutions and services are described to provide deeper insight into the subject. The source material for this thesis consists of professional literature, web pages, documents and previous research on the subject.</p> <p>In the future, power networks have to meet both environmental challenges and the challenges legislation sets on their reliability. The development of intelligent solutions and features of these networks address the issues. Medium voltage network operation has already been able to tackle some of the challenges, but LV network information has not been available before remote reading. Operable metering data from the LV network that is more accurate is necessary in order to monitor the current state and development of the network. When the LV network operates desirably, the power network market draws the interest of power suppliers. For example, they can utilize the possibilities of dynamic load control in power supply marketing. Operating the LV network also improves the company's ability to operate in different fields. Information on the network's condition helps to improve its reliability. The LV network operation should be expanded in the future in order to integrate distributed renewable energy sources into the power network.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Low voltage network, low voltage network management, smart grid, remote reading, smart meter, electricity quality, Advanced Metering Infrastructure</p>			

Esipuhe

Tämä opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Enfo Zender Oy:n mittauspalveluiden kanssa. Opinnäytetyö kirjoitettiin 2013 ja 2014 vaihteessa työskentelyn ohella.

Haluan kiittää Harri Smolanderia (DI) opinnäytetyön mielenkiintoisesta aiheesta ja rakentavasta ideoinnista. Haluan kiittää myös opettajaani ja opinnäytetyöni ohjaajaa Marja-Riitta Kiveä (FL) kovasti tarvitusta tuesta.

Kuopiossa 2.5.2014

## SISÄLTÖ

LYHENTEET .....	6
KÄSITTEET .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA .....	8
2.1 Palvelut.....	8
2.2 Mittauspalvelut ja opinnäytetyön aihe .....	8
3 SÄHKÖVERKKO.....	10
3.1 Sähköverkon rakenne .....	11
3.1.1 Kantaverkko.....	11
3.1.2 Keskijänniteverkko.....	12
3.1.3 Pienjänniteverkko .....	12
3.2 Sähköverkon toimintavarmuus ja ongelmat .....	13
4 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO .....	18
4.1 Älykkään sähköverkon kehitystä ohjaavat tekijät.....	19
4.2 Kehittynyt mittausinfrastruktuuri .....	22
4.2.1 Etäluettavat mittalaitteet.....	23
4.2.2 Etäluettavien mittalaitteiden tietoliikennetkaisu .....	24
4.2.3 Mittaustietojen hyödyntäminen .....	26
4.3 Pienjänniteverkon hallinta ja valvonta .....	28
4.3.1 Pienjänniteverkon hallinnassa hyödynnetyt hälytystoiminnot .....	29
4.3.2 Älykäs katkaisu.....	30
4.3.3 Yleisiä hyötyjä .....	30
4.4 Sähköverkon älykkäät ominaisuudet ja ratkaisut .....	31
4.4.1 Kysyntäjousto, dynaaminen kuormanohjaus ja spot-hinnoittelu .....	31
4.4.2 Muuntamoautomaatio .....	33
4.4.3 Kommunikaattoriratkaisut pienjänniteverkon hallinnan tukena .....	34
4.4.4 Uusiutuva energia, sähkön pientuotanto ja varastointi .....	36
4.5 Tulevaisuuden visioita .....	38
5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	41
LÄHTEET .....	43

## LYHENTEET

AMI	Advanced Metering Infrastructure. Kehittynyt mittausinfrastruktuuri: etäluettavasta mittalaitteesta, verkkoyhteydestä ja keskityspalvelimesta koostuva toiminnallinen kokonaisuus.
CRM	Customer Relationship Manager. Asiakastietojärjestelmä.
DG	Distributed Generation. Hajautettu sähköntuotanto.
V	Voltti. Jännitteen mittayksikkö.
kV	Kilovoltti, 1000 volttia.
MDM	Meter Data Management. Mittaustiedon hallinta.
MMS	Multimedia Messaging Service. Mobiiliviestipalvelu, jolla matkapuhelimen viestiin voidaan liittää kuvia, videoita ja ääntä.
PLC	Powerline Communications. Sähköverkon tiedonsiirto sähköjohtoja pitkin.
RSS	Really Simple Syndication. Osoite, jolla voidaan hakea esimerkiksi sivustolta tuoreimmat uutiset.
SMS	Short Message Service. Matkapuhelinten tekstiviestijärjestelmä.
SoMe	Sosiaalinen media. Kommunikointiympäristöt internetissä.
W	Watti. Tehon mittayksikkö.
kW	Kilowatti, 1000 wattia.
MW	Megawatti, 1000 kilowattia.
GW	Gigawatti, 1000 megawattia.
TW	Terawatti, 1000 gigawattia.

## KÄSITTEET

Jakelujännite = Jännitteen tehollisarvo liitäntäkohdassa. Mitataan tiettyinä ajankohtana ja tietyltä aikaväliltä.

Topologia = Kuvaa verkon rakennetta, jossa laitteet liittyvät toisiinsa.

Dynaaminen kuormanohjaus = Algoritmeilla hallittavissa oleva kuormanohjaus, jolla säädellään esimerkiksi kotitalouksien lämmitystä.

Impedanssi = Virtapiirin aiheuttama vastus vaihtovirralla.

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä selvitetään sähköverkon pienjänniteverkossa käytettyjä älykkäitä ratkaisuja, niiden ominaisuuksia ja tulevaisuuden visioita.

Opinnäytetyössä käydään alussa läpi sähköverkon nykyistä rakennetta ja sen ominaisuuksia. Sähköverkon ongelmia on käsitelty niiden liittyessä olennaisesti sähköverkon kehitystä ajaviin tekijöihin. Sähköverkon ja siihen integroitujen ratkaisujen kehityksen myötä voidaan alkaa jo puhua älykkäästä sähköverkosta. Opinnäytetyö on ajankohtainen, koska etäluettavien mittalaitteiden yleistyessä päästään vasta nyt keskittymään mittalaitteiden tuomiin älykkäiden ominaisuuksien hyödyntämiseen. Pienjänniteverkon hallinnalla voidaan valvoa mittauspisteiden tilaa ja sähkön laatutietoja; häiriötilanteessa verkkoyhtiö voi reagoida mittalaitteiden hälytyksiin ja käynnistää korjaustoimenpiteet.

Pienjänniteverkon asema sähköverkossa on muuttumassa radikaalisti etäluettavien mittalaitteiden käyttöönoton ja mittaustiedon hallinnan kehittymisen myötä. Etäluettavat mittalaitteet mahdollistavat monipuolisemmat toiminnot ja tarkemmat mittaustiedot kaikissa mittauspisteissä. Mittalaitteiden toiminnot eivät rajoitu ainoastaan automaattiseen lukemien keruuseen, vaan mittalaitteiden avulla voidaan tutkia sähkön laatutietoja ja suorittaa useita erilaisia komentoja, kuten sähköjen etäkatkaisu ja -kytkentä, jotka mahdollistavat mittauspisteen hallinnan etäyhteydellä. Kaikkea mittaustietoa voidaan analysoida ja raportoida, jotta kuluttajien ja sähköverkon tapahtumia voisi ymmärtää paremmin.

Suomenkielistä sähkötekniikan kirjallisuutta on saatavilla kattavasti, mutta älykkäästä sähköverkosta on kirjoitettu vain vähän. Opinnäytetyössä on siitä syystä käytetty kirjallisina lähteinä ulkomaalaista kirjallisuutta. Internetissä tekstiä on aiheesta kuitenkin saatavilla paljon.

Tämä opinnäytetyö on tehty Enfo Zender Oy:lle selvittämään älykkään sähköverkon ratkaisuja ja sen tulevaisuuden visioita. Opinnäytetyössä kartoitetaan kokonaisvaltaisesti pienjänniteverkon hallintaan liittyviä toimintoja.

## 2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Enfo on Kuopiosta lähtöisin oleva tietotekniikkaan ja palveluntarjontaan keskittyvä yritys. Kaikki alkoi pienestä: vuonna 1964 Tietosavo Oy perustettiin Kuopioon palvelemaan lähialueen tietotekniikkatarpeita. Vuosien saatossa Tietosavo kehittyi ja laajensi osaamistaan voimakkaasti usealle tietotekniikan osa-alueelle. Vuonna 2001 Tietosavo Oy muutti nimensä Enfo Oyj:ksi ja korosti imagoaan keskittymällä palveluratkaisujen asiakaskeskeisyyteen. Enfo Oyj:stä on kasvanut menestyvä ja kilpailukykyinen IT-osaaja ja palveluntarjoaja. Vuosien saatossa Enfo on laajentunut orgaanisesti ja yritysostoin Espooseen ja Ruotsiin. Menestystä ja kasvua on tapahtunut erityisesti Ruotsissa, jossa työskenteli vuonna 2013 noin puolet kaikista työntekijöistä. (Enfo Oyj, 2014 a)

Enfon tiedonvälityspalvelujen liiketoiminta yhtiöitettiin Enfo Zender Oy:ksi 1.10.2012. Tytäryhtiönä Enfo Zender pystyy panostamaan tehokkaammin älykkääseen tiedonjalostukseen. (Enfo Oyj, 2012) Enfo on osallistunut kolmena vuotena Suomen parhaat työpaikat -tutkimukseen, jossa mitataan työntekijöiden tyytyväisyyttä Suomen mittakaavassa. Tutkimuksessa Enfo on menestynyt seuraavasti: vuonna 2011 sija 11, vuonna 2012 sija 25 ja vuonna 2013 sija 16. (Parempityöelämä, 2013) Enfon strategia on tuottaa asiakaskeskeisiä palveluita siten, että asiakasyritys voisi keskittyä omaan ydinosansaamiseen. Enfo tarjoaa apua työläisiin toimintoihin, joista asiakasyrityksillä ei usein ole kokemusta. Auttaminen on Enfon ydinosaaamista, kuten Enfon uusi slogan "Mind your own business!" toteaa.

### 2.1 Palvelut

Enfo tarjoaa asiakasyrityksille laajoja tietotekniikkapalveluita ja ulkoistusmahdollisuuksia, joita ovat tietotekniikkapalvelut, asiakasympäristön kehityspalvelut, sovelluspalvelut, integraatiopalvelut, kommunikaatiopalvelut, Service Desk ja käyttäjätukipalvelut, työasemien ja laitteiden hallintapalvelut, elinkaari- ja kapasiteetti- ja pilvipalvelut, tietoverkko- ja tietoturvapalvelut. (Enfo Oyj, 2014 b)

Enfo Zender ylläpitää ja kehittää monipuolisia asiakasyritystä hyödyntäviä talousprosessipalveluita, joita ovat talousprosessipalvelut, taloushallinnon prosessien ulkoistuspalvelut, kartoituspalvelut, ostolaskupalvelut, palkkalaskelmapalvelut, liiketoimintatietojen välityspalvelut, automaattiset mittauspalvelut, älykäs tiedonjalostus ja BI-palvelut (Business Intelligence) ja konsultointipalvelut. (Enfo Oyj, 2014 c)

### 2.2 Mittauspalvelut ja opinnäytetyön aihe

Opinnäytetyöni aihe liittyy Enfo Zender Oy:n kehittämään mittauspalveluun, jossa olin työharjoittelussa 16.1.2012 - 15.6.2012 ja sen jälkeen töissä palvelutuotannon asiantuntijana. Mittauspalvelussa hoidetaan laajalti energiayhtiöiden sähkön- ja kaukolämmönmittaukseen liittyviä prosesseja etälue-



tavien mittalaitteiden massa-asennuksien hallinnasta monipuoliseen mittaustiedon analysointiin ja raportointiin. Älykkään sähköverkon ratkaisut ovat keskeinen osa mittauspalvelun palvelutarjontaa.

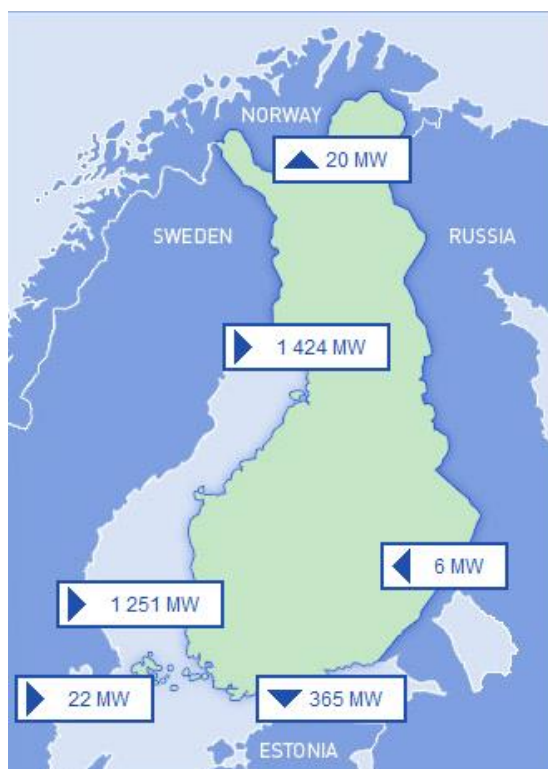
Älykkäitä ratkaisuja voidaan hyödyntää jo nykypäivänä, mutta tulevaisuudessa toiminnallisuuksia voidaan laajentaa. Pysin opinnäytetyössä kuvaamaan monipuolisesti erilaisia sähköverkon päälle rakennettuja älykkäitä ratkaisuja ja mahdollisia tulevaisuuden näkymiä.

Mittauspalvelu tukee tulevaisuuden energiamittausratkaisujen kehitystä olemalla mukana alan tuoreimmassa tutkimuksessa ja kehittämällä innovatiivisia palveluita yhdessä yhteistyökumppanien kanssa. Jatkuvalle kehitykselle saadaan maksimoitua palveluiden tuottama lisäarvo asiakkaille ja yritykselle.

### 3 SÄHKÖVERKKO

#### Sähköverkkoyhtiöt

Sähköverkkoyhtiöt huolehtivat sähköverkon kunnosta ja ovat vastuussa loppuasiakkaiden sähkönsaannista. Sähköverkon tehtävä on siirtää tuotettua sähköenergiaa jokaiselle Suomen kulutuspisteelle. Sähkövoimaloissa tuotettu sähkö siirretään sähköverkon avulla koko Suomen kattavalle alueelle. Suomen sähköverkosta voidaan siirtää energiaa myös naapurimaiden välillä.



Kuva 1. Energian liikkuminen naapurimaiden välillä 15.4.2014. (Fingrid Oyj, 2014 a)

Kuvasta 1 nähdään Suomen sähköverkkoon ostettu ja Suomen sähköverkosta myyty energiamäärä. Nuolten suunnat osoittavat energian kulkusuunnan. Suomeen siis ostetaan tällä hetkellä enemmän energiaa, kuin sitä myydään naapurimaihin.

Sähköverkon osat on nimetty voimansiirtojohtojen jännitteen vaihteluiden mukaisesti: kantaverkko (400 kV, 220 kV ja 110 kV), keskijänniteverkko (45 kV, 20 kV, 10 kV ja 6 kV) ja pienjänniteverkko (1 kV ja 0,4 kV). Kantaverkosta energiaa siirretään jännitteeltään pienempiin verkostokokonaisuuksiin keskijänniteverkkoon ja sieltä edelleen pienjänniteverkkoon.

Sähköverkon välimatkat sähkövoimalasta kuluttajalle vaihtelevat suuresti alueesta riippuen. Kaupunkien taajama-alueilla välimatkat ovat yleensä lyhyitä, mutta maaseudulle sähkö voi kulkea kanta- ja keskijänniteverkossa jopa satoja kilometrejä. Käyttövarmuutta ja riittävää siirtokykyä pyritään ylläpitämään uusilla tekniikoilla ja jatkuvalla kehityksellä.

## Sähkönmyyntiyhtiöt

Sähkönmyyntiyhtiöt laskuttavat sähkönkäytöstä kutakin loppuasiakasta heidän kuluttamansa energiamäärän mukaan. Hintaan vaikuttaa myös sähkönmyyntiyhtiön kanssa tehty sähkösofimus, jossa määritellään paljonko sähkö maksaa ja miten sähköenergian kulutuksesta laskutetaan.

Sähkönmyyntiyhtiöt tarjoavat loppuasiakkaille useita eri tuotteita, joista yleisimpiä ovat perinteiset yleis-, kausi- ja yösähkötuotteet. Lisäksi on mitä erilaisimpia tuntisarja-perusteisia myyntituotteita ja spot-hinnoiteltuja tuotteita, joissa sähkön hinta ennustetaan tunneittain lyhyellä ennakolla. Yleissähköllä on aina sama hinta riippumatta kellon- tai vuodenajasta. Yleissähköllä ei yleensä aikatauluteusti ohjata asiakkaan lämmitysjärjestelmän toimintaa eli lämmitys on jatkuvasti päällä. Kausisähköllä on talvella ja kesällä eri hinta. Kausisähköä suositaan yleensä kohteissa, jotka tarvitsevat lämmitystä ainoastaan talvella yöaikaan, koska lämmönohjaus on tyypillisesti päällä kello 22.00 – 7.00. Yösähköllä on halvempaa kuluttaa energiaa yöaikaan. (Kilpailuttaja, 2010) Yösähköllä kuluttaja voi säästää, koska yöaikaan sähköä kulutetaan vähemmän, millä on suora vaikutus hintoihin. Yösähkö vähentää sähköyhtiöiden suurta kuormaa hajauttamalla sähkönkulutusta suosituimmilta energiankulutuspiikeiltä.

### 3.1 Sähköverkon rakenne

Suomen sähköverkko koostuu kantaverkosta ja jakeluverkosta. Kantaverkko on sähköverkon runkoverkko, jossa sähköä siirretään suurella jännitteellä pitkiä matkoja. Jakeluverkossa sähköä siirretään käytettäväksi loppuasiakkaille ja se koostuu keski- ja pienjänniteverkoista.

#### 3.1.1 Kantaverkko

Suomen kantaverkko on suomalaisen Fingrid Oyj:n omistuksessa. Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, jonka voimansiirrosta ja kehittämisestä Fingrid on vastuussa. Kantaverkossa siirtoyhteydet ovat pitkiä ja siirtotehot suuria. Kantaverkon pituus on noin 14 000 kilometriä ja se koostuu 400 kV:n, 220 kV:n ja 110 kV:n voimajohdoista. Sähköasemia on yhteensä 113 ja ne luetaan osaksi kantaverkkoa. Sähköasemilla muunnetaan sähkön taajuutta matalammaksi verkko-osien välillä. Kantaverkko mahdollistaa sähkön tuottajien ja sähkön kuluttajien väliset kaupat sekä koko valtakunnassa että valtioiden välillä. Yhteispohjoismainen voimajärjestelmä mahdollistaa sähkön siirron Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan kanssa. Yhteispohjoismainen järjestelmä on kytketty Keski-Euroopan sähkövoimajärjestelmiin tasavirtayhteyksin. (Fingrid Oyj, 2014 b) Kantaverkossa ei isoja tehtaita lukuun ottamatta kuluteta energiaa, koska tehot ovat valtavan suuria.

Muiden kuin Fingridin omistuksessa olevaa kantaverkkoa kutsutaan alueverkoiksi. Suurjänniteverkoiksi kutsutaan suurjännitteisiä kanta- ja alueverkon osia. Suurjänniteverkko on rakennettu ilmajohdoina. (Energiateollisuus ry, 2013 a)

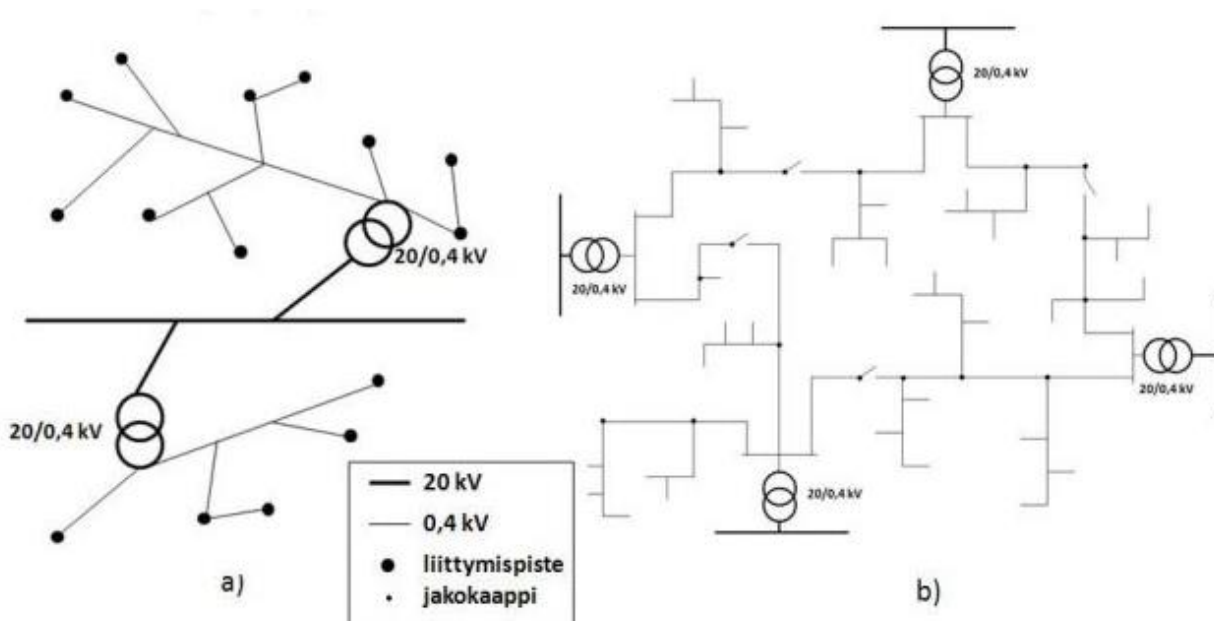
Suurjänniteverkolla sähkö kuljetetaan lähelle alueita, joissa kulutetaan suuria määriä sähköä. Suurjänniteverkon etuja ovat vähäinen sähköhävikki pitkilläkin siirtomatkoilla ja rakennuskustannuksien edullisuus.

### 3.1.2 Keskijänniteverkko

Keskijänniteverkossa sähkön jännite on 6 - 45 kV:ia. Tehtaat ja laitokset voivat kytkeytyä suoraan keskijänniteverkkoon. Keskijänniteverkosta energiaa siirretään jakelumuuntajille, joissa jännite muunnetaan pienjänniteverkkoon sopivaksi ja energia haaroitetaan laajalle alueelle. Perinteisesti keski- ja pienjänniteverkon risteyspisteessä on muuntaja, jolla jännite muunnetaan esimerkiksi 20kV:sta 0,4kV:iin.

### 3.1.3 Pienjänniteverkko

Pienjänniteverkkoon sähkö tulee keskijänniteverkon jakelumuuntajilta ja vaiheiden välinen jännite on 0,4 kV. Pienjänniteverkossa olevat muuntajat ovat usein vain satojen metrien päässä sähkökäyttöpaikalta, mutta harvaanasutuilla alueilla muuntaja saattaa sijaita jopa muutaman kilometrin etäisyydellä. Sähkön siirtoetäisyyden kasvaessa sähkön laatu heikkenee, koska jännite ei pysy tarpeeksi korkeana. Valtaosa sähkökulutuksesta tapahtuu pienjänniteverkossa.



Kuva 2. Pienjänniteverkon rakenne Suomessa a) haja-asutusalueilla b) taajamassa (Löf, 2009, 7)

Kuvassa 2 esitetään vasemmalla haja-asutusalueiden tyypillinen ratkaisu käyttöpaikkojen sähköverkkoon liittämiseksi. Keskijänniteverkon 20 kV jännite syötetään muuntajalle, muunnetaan pienjänniteverkon 0,4 kV jännitteelle ja siirretään loppuasiakkaiden liittymispisteisiin. Taajaman ratkaisu on kuvassa oikealla ja se eroaa haja-asutusalueista merkittävästi. Taajamassa verkkoon voi olla tarve syöttää sähköä useasta eri keskijänniteverkon osasta, jotta loppuasiakkaiden kysyntään voidaan vastata. Häiriötilanteissa sähkön saanti voidaan turvata syöttämällä sähköä keskijänniteverkosta, joka ei ole kärsinyt vahinkoa.

### 3.2 Sähköverkon toimintavarmuus ja ongelmat

Sähköverkossa jännitteen laatu vaihtelee niin sanotun tehoelektroniikan (tietokoneiden virtalähteet, energiansäästölamput ja moottorikäyttöiset järjestelmät, joissa nopeudensäätö) yleisyyden takia. Tämä aiheuttaa elektronisten laitteiden eliniän lyhenemistä ja lämmön tahaonta karkaamista. (Sähköinfo Oy, 2006)

Sähköverkkojen raskaat kuormat voivat aiheuttaa sähkön laatuhäiriöitä. Elektronisen laitteen kärsiessä jännitekatkoista tai sähkökatkoksesta, saattaa koitua menetyksiä kuluttajan omaisuuteen. Vaurioita voi tulla sähkölaitteisiin tai meneillään oleva sähköinen tiedonsiirto voi korruptoitua. Nämä ongelmat taas saattavat johtaa sähköyhtiöiden asiakastytymättömyyteen, tulojen heikkenemiseen, luottamuksen menetykseen tai jopa markkinaosuuksien menettämiseen. (Sähköinfo Oy, 2006)

## Toimittamatta jäänyt energia (MWh) ja KAH (M€)



Kuva 3. Toimittamatta jäänyt energia ja keskeytysten aiheuttama haitta euroissa. (Fingrid Oyj, 2013, 9) [Muokattu]

Kuvassa 3 on esitetty sähköverkossa tapahtuneista keskeytyksistä aiheutuneet haitat (KAH) euroissa ja energian määrä, joka jäi keskeytysten seurauksena toimittamatta. Keskeytykset johtuvat yleensä keskijänniteverkon häiriöistä, mutta myös pienjänniteverkossa tapahtuneista ongelmista.

Keskeytysten ajat ovat haja-asutusalueilla pisimpiä, vuodessa asiakasta kohden keskimääräinen keskeytysaika on jopa noin 4,5 tuntia. Taajamassa vastaava keskeytysaika asiakasta kohden on keskimäärin 1 tunti vuodessa ja pääkaupunkialueella vain noin 15 minuuttia vuodessa. Keskeytyksien aiheuttajat vuonna 2012 olivat (Energiateollisuus ry, 2013 b, 3):

1. Lumi- ja jääkuorma 31 %
2. Tuuli ja myrskyt 25 %
3. Tuntematon syy 15 %
4. Suunnitellut keskeytykset (usein sähköverkon huoltotöitä) 11 %
5. Rakenne- ja käyttövirhe 8 %
6. Ukkonen 4 %
7. Ulkopuoliset 3 %
8. Eläimet 2 %
9. Muu sää 1 %

Työ- ja elinkeinoministeriön ehdotuksen mukaan sähköverkko tulisi suunnitella, rakentaa ja ylläpitää siten, että sähköverkon vikaantuminen myrskyjen tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella loppuasiakkaille yli 6 tunnin pituisia sähköjakelun keskeytyksiä eikä muidenkaan alueiden asukkaille yli 24 tunnin jakelukeskeytyksiä. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2012, 3) Taajama-alueilla ja haja-asutusalueilla sähköverkon toimintavarmuutta on pyritty parantamaan mm. maakaapeloimalla ilmajohtoja. Maakaapeloidut sähköjohdot eivät ole ilmajohtoihin verrattuina yhtä alttiita sääolosuhteiden vaihtelulle, joten keskeytyksien määrät vähenevät.

Sähkömarkkinalain mukaan loppuasiakkailta on oikeus sähkönjakelun tai sähköntoimituksen yhtäjaksoisen keskeytymisen perusteella vakiokorvaukseen, jos sähkönjakelun keskeytyminen johtuu loppuasiakkaasta riippumattomasta ulkopuolisesta esteestä. Vakiokorvauksien määrät ovat prosentteja loppuasiakkaan siirtopalvelumaksusta. Keskeytysten kestäessä 12-24 tuntia vakiokorvaus on 10 %. 24-72 tunnin keskeytyksestä korvaus on 25 %. 72-120 tunnin keskeytyksestä vakiokorvaus on 50 %. 120-192 tunnin keskeytyksestä vakiokorvaus on 100 %. 192-288 tunnin keskeytyksestä vakiokorvaus on 150 %. Yli 288 tuntia kestäneistä keskeytyksistä on maksettava 200 % siirtopalvelumaksusta. (Tu-kes, 2013, 100 §)

#### Sähkön laatu

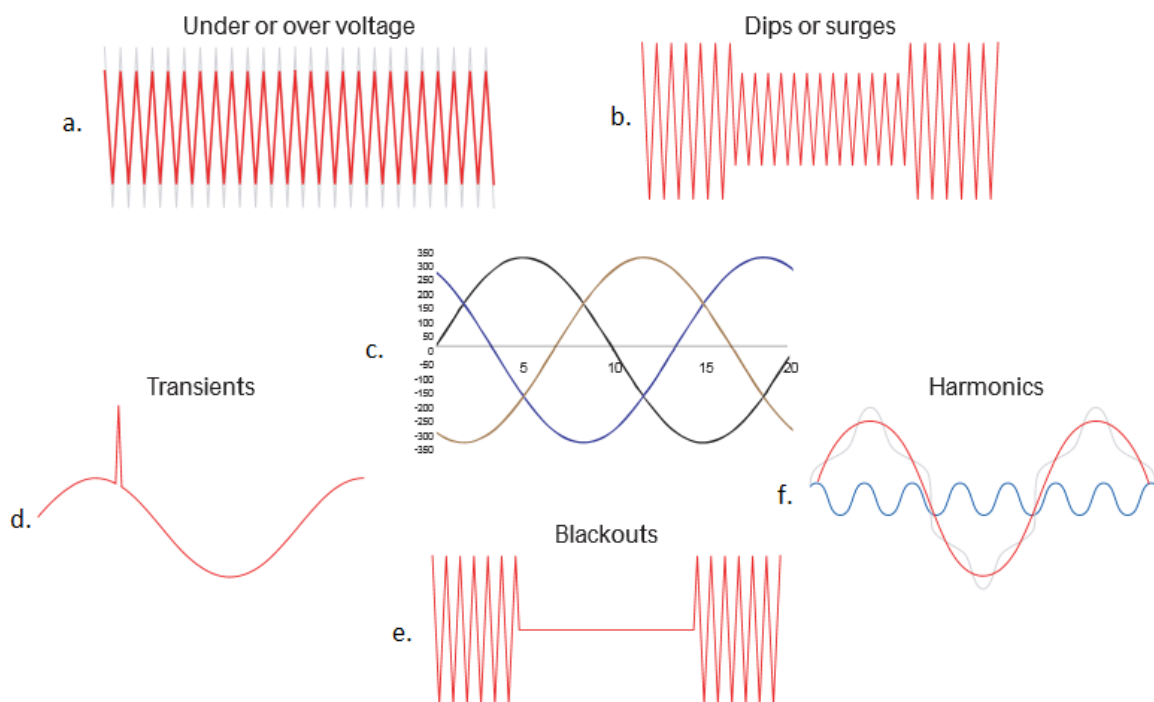
Sähkön laatua tarkastellessa pitää kiinnittää huomiota jännitteen vaihteluihin ja keskeytyksien määrään ja pituuteen. Keskeytyksiä tilastoimalla ja sähkön laatua seuraamalla pystytään tekemään laatuun vaikuttavia ratkaisuja verkon suunnittelussa. Loppuasiakkaiden jännitetietoja voidaan tarkastella esimerkiksi mittauspisteisiin asennettujen etäluettavien mittalaitteiden tallentamilla laatu tiedoilla.

Suomessa sähkön laatua seurataan kuten mitä tahansa tuotteen tai palvelun laatua. Standardeilla on määritelty kriteerit, joita noudattamalla voidaan todeta jonkin tuotteen, palvelun tai toimitetun sähkön olevan laadukasta. Pienjänniteverkon jännitteelle on määritelty raja-arvoja eurooppalaisessa sähkön laatustandardissa.

Huono sähkön laatu aiheuttaa sähköverkossa ja loppuasiakkaan laitteissa useita ongelmia (Schipman, Delincé, 1):

- yllättävät sähköntoimitushäiriöt (sulakepalot)
- laitteistoviat
- ylikuumentuminen, käyttöikä lyhenee
- vahingot herkkiin laitteisiin (tietokoneet, televisiot, jne.)
- järjestelmähäiriöiden yleistyminen
- tarve asentaa sähköhäiriöitä lieventäviä laitteita
- sähköverkkoyhtiön määräämät sakot loppuasiakkaalle sähkön laatua "saastuttavista" sähkölaitteista
- sähköverkkoyhtiö voi kieltää luvan uudelle sähköliitännälle, jos se on uhaksi huonontaa sähkön laatua

Pienjänniteverkossa nimellisjännite on 230 V vaiheen ja nollajohtimen välillä. Jännitevaihteluita saa tapahtua, mutta vaihteluiden on pysyttävä standardin sisällä. Standardin mukaan sallitut rajat normaaliolosuhteissa jokaisen viikon aikana ovat jakelujännitteen 10 minuutin keskiarvoista 95 % pitää olla välillä  $230\text{ V} \pm 10\%$  ja kaikkien jännitearvojen 10 minuutin keskiarvojen pitää olla välillä  $230\text{ V} +10\% / -15\%$ . Syrjäseuduilla sähkönjakelussa pitkillä johdoilla jänniteenvaihtelu voi olla  $+10\% / -15\%$  raja-alueen ulkopuolella. (Energiateollisuus ry, 2005, 12)



Kuva 4. Yleisimpiä sähkönlaatuvirheitä. (AIE, 3) [Muokattu]

Kolmivaihevirrassa jokaisella johtimella on siniaallon muotoinen jännite. Hyvälaatuinen kolmivaihevirta on esitetty kuvassa 4 kuviossa c, jossa sähkön taajuus on 50 Hz ja jännite on tasalaatuista. Sähkön laatu pyritään pitämään ideaalina säätämällä jännitettä ja taajuutta.

#### Ali- ja ylijännite

Kuvassa 4 kohdassa a on sähköverkon häiriö, jossa yli- tai alijännitteen kesto on pitkäaikainen. Yleisimpiä syitä alijännitteeseen ovat liian suuri kuorma sähköverkossa (alituotanto) ja huonosti suunniteltu verkon rakenne (esimerkiksi muuntajalta on liian pitkä matka mittauspisteelle). Ylijännitteen yleisimpiä syitä ovat sähkön liikatuotanto, huonosti suunniteltu sähköverkon rakenne ja sähköverkon kytkentävirheet.

#### Jännitekuopat

Jännitekuopalla (kuvassa 4 kohta b) tarkoitetaan jännitteen äkillistä putoamista 1-90 % nimellisjännitteestä (230V). Jännite palautuu normaalille tasolle lyhyen ajan kuluttua. Jännitekuoppien kesto on 0,01 s – 3 minuuttia. Useimmiten jännitekuoppien aiheuttaja ovat verkkoviat tai loppuasiakkaan järjestelmien asennusviat. Suuren kuorman kytkentä päälle voi myös aiheuttaa hetkellisen jännitekuopan. Sähköverkon rakenne ja kuormitukset vaikuttavat jännitekuoppien esiintymistiheyteen. (Energiateollisuus ry, 2005, 16)



### Transienttiylijännitteet

Kuvassa 4 kohdassa d on kuvattu transienttiylijännite, joka kestää vain hetken ajan. Se on ylijännitepiikki, joka on haitaksi sähkölaitteille. Transienttiylijännitteitä aiheuttavat esimerkiksi salaman iskut ja sähköverkkojen kytkennät.

### Sähkökatkot

Sähkökatkojen aikana sähkön siirto on estynyt; mittauspisteet eivät saa ollenkaan sähköä. Kuvassa 4 kohdassa e on esitetty sähkökatkon tila, joka ilmenee vaiheiden jännitteettömyytenä. Myrskyt voivat katkoa sähköverkkoa ja aiheuttaa pahoja vaurioita verkon rakenteisiin. Sähköverkot ovat alttiina myös puiden kaatumiselle ja metsän liikarehevyydelle. Keskijänniteverkon häiriöt voivat aiheuttaa sähkökatkoja suuremmalla alueella vaikuttaen jopa useampiin pienjänniteverkkoalueisiin. Pienjänniteverkossa tapahtuvat häiriöt taas saattavat katkaista sähköt pienemmältä alueelta. Sähköverkon huoltotöiden seurauksena sähköt voivat katketa, mutta tulevat hallittuna toimenpiteenä myös nopeasti takaisin. Sähkökatkojen kestot vaihtelevat pituudeltaan ja joskus ne voivat vaatia sähköverkon rakenteiden tarkastuksen.

### Harmoniset yliaaltojännitteet

Harmoninen yliaaltojännite (kuvassa 4 kohta f) on sinimuotoinen jännite (kuvassa 4 kohta c), jonka perusaallon taajuus on kerrottu kokonaisluvulla. Yliaaltojännitteet aiheutuvat pääasiassa loppuasiakaiden epälineaarisista kuormista kuten teholliset ja purkauslamput. Yliaallot yhdessä verkon impedanssin kanssa aiheuttavat yliaaltojännitteitä. (Energiateollisuus ry, 2005, 14)

## 4 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO

Sähköverkon älykkyys -käsite on alkanut muodostua hiljattain sähköverkossa käytettävien teknologioiden kehittyessä. Tarkkaa kuvausta älykkäälle sähköverkolle on kuitenkin vaikea määrittellä aihealueen monipuolisuuden takia. Käsitettä on käytetty hyvin vapaasti kaikenlaisen modernin sähköverkon teknologioiden ja ratkaisujen kuvaamiseen. Tämän otsikon alla käsitellään älykästä sähköverkkoa yleisellä tasolla ja opinnäytetyön loppuosiossa keskitytään älykkään sähköverkon ominaisuuksiin tarkemmin.

Yleisesti älykkään sähköverkon käsitteellä on monta määritelmää ja tulkintaa, jotka ovat riippuvaisia sekä valtioista ja niiden alueista että teollisuuden sidosryhmien motiiveista ja havittelemista hyödyistä. Asiaa lähestyttäessä, ”mikä älykäs sähköverkko on?”, ei ehkä ole paras näkökulma, vaan mitä se tekee ja miten se hyödyttää sähköverkkoja, asiakkaita, ympäristöä ja taloutta. European Technology Platform:n (käsittelee Euroopan sidosryhmät ja ympäröivän tiedeyhteisön) määritelmä on (Borlase, 2012, 18):

*”Älykäs sähköverkko on sähköjakeluverkko, joka voi älykkäästi integroida kaikkien liittyneiden käyttäjien toiminnot – sähkön tuottajat, kuluttajat ja ne, jotka tekevät molempia, voidakseen tehokkaasti toimittaa kestävän, taloudellisen ja turvallisen sähkön lähteen”. ([smartgrids.eu](http://smartgrids.eu))*

Pohjois-Amerikassa on kaksi vallitsevaa määritelmää älykkäästä sähköverkosta. The Department of Energy (DOE) määrittelee älykkään sähköverkon seuraavasti (Borlase, 2012, 18):

*”Sähköverkko 2030 visioi täysin automatisoidun energian jakeluverkon, joka monitoroi ja hallitsee jokaista asiakasta ja solmukohtaa, varmistaakseen kaksisuuntaisen informaation ja sähkön virtauksen sähkövoimalan ja sähkölaitteen välillä, ja kaikkien niiden välissä olevien mittauspisteiden välillä”. (GRID 2030; A National Vision for Electricity’s Second 100 Years, 2003)*

The Electric Power Research Institute (EPRI) määrittelee puolestaan (Borlase, 2012, 18):

*”Termi ”älykäs sähköverkko” viittaa sähköjakelujärjestelmän modernisointiin, joten se monitoroi, suojaaa, ja automaattisesti optimoi toisiinsa liittyneet toiminnot – keskeiseltä ja jaetulta sähkögeneraattorilta läpi suurjänniteverkkoon ja jakelujärjestelmään, teollisuuden käyttäjille ja rakennusautomaatiojärjestelmille, sähkön varastointiin ja loppukäyttäjille ja heidän termostaatteihinsa, sähköautoihinsa, laitteisiinsa ja muihin kodinkoneisiinsa”. (EPRI 2009)*

Tarkasti ottaen, älykkään sähköverkon pitäisi viitata koko energiaverkkoon sähkön tuotannosta alkaen, läpi siirto- ja jakelujärjestelmien, aina loppupäähän laajalle kuluttajakunnalle.

Sähköverkon älyllistäminen tarkoittaa pohjimmiltaan 1900-luvun sähköverkon modernisointia 2000-luvun yhteiskunnalle. Hyvin suunnitellun älykkään sähköverkkokoalition tulisi rakentaa muutokset nykyisen infrastruktuurin päälle ajatellen saavutuksia pitkällä tähtäimellä. Kyse ei ole väliaikaisesta ratkaisusta, vaan kokonaisvaltaisesta muutoksesta, miten julkiset palvelut näkevät teknologiat, jotka mahdollistavat sekä strategiset että operatiiviset prosessit. Tehokas ja tärkeä tekijä, jolla saadaan kaikki irti älykkään sähköverkon toteuttamisessa, on teknologia, joka mahdollistaa toiminnallisuuden ja kyvykkyyden yhtenäiseen päästä päähän integroituihin, skaalautuviin ja yhteensopiviin ratkaisuihin. (Borlase, 2012, 18)

Tulevaisuuden visioissa on nähtävissä energian tuotannon, kulutuksen, varastoinnin ja vaihdettavuuden onnistuvan nykyisen tietoliikenteen tavoin helposti. Älykäs sähköverkko takaa vilkkaan markkinapaikan energiantuotannolle ja kuluttajille luotettavuudellaan ja turvallisuudellaan. Euroopan Unioni (EU) on asettanut Suomelle päästötavoitteita ja ilmasto- ja energiastrategiassa tehtäviä rajoituksia, jotka vaikuttavat etenkin uusiutuviin energialähteisiin perustuvaan sähköntuotannon kasvuun. Yhteiskunnan sähköriippuvuuden kasvaessa ilmastomuutoksen estäminen, energiatehokkuuden lisääminen ja sähkön toimitusvarmuuden parantaminen ovat olleet tehokkaita vaikuttajia tulevaisuuden älyverkon kehittämisessä. Suomen ollessa yksi älyverkkojen kehittämisen edelläkävijöistä, kaikista kotitalouksista 80 % oli tarkoitus olla toiminnassa automaattisella etäluennalla vuoden 2013 loppuun mennessä. (Energiateollisuus ry, 2011 a)

Ympäristön saastuminen ja ilmaston lämpeneminen ovat maailmanlaajuisia haasteita, joihin älykäs sähköverkko voi toimia ratkaisuna. Älykkääseen sähköverkkoon on integroitavissa hajautettu sähköntuotanto, jotta jokainen sähköverkkoon kytketty mittauspiste voisi kulutuksen lisäksi osallistua myös sähkön tuottamiseen esimerkiksi aurinkopaneeleilla ja tuuli- tai vesigeneraattoreilla. Kuluttajat voivat vaikuttaa omaan energiatehokkuuteensa analysoimalla omia sähkömittaustietojaan ja hyödyntämällä sähkönmyyntiyhtiön mittaustietoihin perustuvia palveluita.

Älykkäästä sähköverkosta saatava informaatio on avain uusien palveluiden kehityksessä. Informaatiota voidaan hyödyntää esimerkiksi sähköntuotannon tehokkuuden valvomiseen ja sähkönkulutuksen säästöjen kasvattamiseen. Seuraavissa kappaleissa keskitytään tarkemmin älykkään sähköverkon ominaisuuksiin ja niiden päälle rakennettuihin palveluihin.

#### 4.1 Älykkään sähköverkon kehitystä ohjaavat tekijät

Älykkäästä sähköverkosta hyötyvät loppuasiakkaiden lisäksi verkkoyhtiöt, sähkön tuottajat ja ympäristö; tästä johtuen osapuolien intressit ohjaavat sähköverkon kehitystä. Haittoja sähköverkkoon panostamisessa ei juuri ole, joten kehitys on saanut vuosien aikana vauhtia Suomessa ja maailmalla. Sähköverkkoyhtiöt kehittävät sähköverkkoa, mutta sähköverkkoon integroitavat älykkäät ominaisuudet ovat laitteistokehittäjien ja muiden osapuolten parannettavissa.

Seuraavaksi perustellaan sähköverkon kehitystoimia eri osapuolten näkökulmista.

#### Poliittiset ja lainsäädännölliset tekijät

Sähkömarkkinat ovat asettaneet sähköverkon kehittämislle sääntöjä motiiveinaan rahalliset edut ja vertailukelpoisuus. Sähkön hinta ja saatavuus mahdollistavat älykkään sähköverkon vaihtoehtojen hyödyntämisen sähkömarkkinoilla. Useat valtiot ovat kiinnostuneita älykkään sähköverkon kykenevyydestä mukauttaa sähköverkon pääoma- ja käyttöhintoja; valtiot ovatkin asettaneet määräyksiä hyötyjen toteuttamiseksi. Verkonomistajien kesken yhteensopivat säännökset helpottavat yhteistointaa mahdollistavat täydet älykkään sähköverkon edut. (Borlase, 2012, 19)

#### Taloudelliset edut

Älykäs sähköverkko tuottaa uusia liiketoimia ja -malleja, jotka edistävät taloudellista kasvua sekä luovat uusia ns. "vihreitä" työpaikkoja. Älykkäiden ominaisuuksien myötä teknologia alueellistuu ja haasteet vähenevät (tietoa katoaa vähemmän eläkkeelle jäävien työntekijöiden mukana). (Borlase, 2012, 19)

#### Toimintavarmuus ja turvallisuus

Sähköverkon toimintavarmuus paranee älykkään sähköverkon avulla. Jännitteen laatua voidaan parantaa suunnittelemalla verkon rakenne tarkemmin ja samalla toimenpiteellä lyhenevät myös sähkökatkojen kestot ja määrät. Työvoiman hinnassa säästetään rahaa, koska työprosessit on hoidettavissa etäluettavilla mittalaitteilla (mittalaitteiden etäluenta, etäkatkaisut ja etäkytkennät jne.). Sähköverkko säästää usealla eritavalla, kuten vahinkojen minimoinnilla, "kenttäkaluston" tarpeen vähentämisellä ja vakuutuksissa. Sähköverkkoyhtiö ja sähkönmyyntiyhtiö hyötyvät kehittyneemmästä järjestelmien suunnittelusta ja varojen hallinnasta. Tarkempi mittaustieto vaikuttaa laskujen tarkkuuteen, joka edistää puolestaan asiakaspalvelun toimintaa. Mittaustiedon tarkkuus edistää myös sähkövarkauksien havainnointia, koska kulutustietoa on saatavilla enemmän ja nopealla syklillä. Asiakkaiden ohjelmat (esimerkiksi energian hallitseminen) tuottavat uusia tuloja. Hajautettu sähköntuotanto yleistyy, koska sen vaatimuksia karsitaan tarkentuneiden mittaustietojen ansiosta. Älykkään sähköverkon tietoturva on etäluennassa valtion määräämällä tasolla. Lisäksi tukkukaupan tehokkuus paranee. (Borlase, 2012, 19)

#### Loppuasiakkaan valtuuttaminen

Sähkön pientuotanto integroituu osaksi älykästä sähköverkkoa. Sähkön pientuotanto lisääntyy, koska loppuasiakkaiden on helpompi liittyä sähköverkkoon pientuottajina. Hajautetulla sähkön tuotannolla loppuasiakkaat ovat merkittävä energiavara vastaamaan kulutushuippuihin vähentäen sähköverkon räsistystä. Sähköverkon älykkäillä ominaisuuksilla sähkön laadun monitorointi paranee ja häiriöitä voidaan vähentää. Loppuasiakkaat saavat siis laadukkaampaa sähköä ja häiriötilanteet ovat

lyhytkestoisempia. Loppuasiakkailla on parempi hallinta omasta energiankäytöstään etäluennan tuomien hyötyjen myötä. (Borlase, 2012, 19)

#### Ympäristöedut

Älykäs sähköverkko tukee uusiutuvien energialähteiden soveltuvuutta sähköverkossa ja lisättyä hajautetun energiantuotannon määrää. Hajautetulla energiantuotannolla saadaan vähennettyä ympäristön saastumista ja vähennettyä hiilidioksidipäästöjä. Ympäristöystävällinen kehitys vastaa hallituksen määräämiin toimintoihin. (Borlase, 2012, 19)

#### Uusi sähkömarkkinalaki

Suomen hallitus on nopeuttanut sähköverkon kehitysprosessia uudella sähkömarkkinalailla. Uusi sähkömarkkinalaki tuli voimaan 9.8.2013. Laki asettaa sähköverkoille uusia vaatimuksia jotka tulee täyttää. Se asettaa sähköverkoille paineita kehittyä ja vastata uusiin vaatimuksiin. Asetetut vaatimukset ovat radikaaleja ja niiden täyttämiseen tarvitaan älykkäitä sähköverkon ratkaisuja. Vaatimusten tavoite on parantaa sähköverkon toimintavarmuutta, lyhentää sähkökatkojen katkoaikaa ja helpottaa jakeluverkon hallintaa.

On olemassa useita lakipykäläitä, jotka koskevat sähköverkkoa. Lakiuudistuksessa verkonhaltijan tulee taata verkon käyttäjille hyvälaatuisia sähköä ylläpitämällä ja kehittämällä sähköverkkoa sekä yhteyksiä toisiin verkkoihin. Sähköverkon suunnittelemisesta, rakentamisesta ja ylläpidosta on annettu seuraavat säädökset (Tukes, 2013, 19§):

- 1) *"sähköverkko täyttää sähköverkon toiminnan laatuvaatimukset ja sähkönsiirron sekä -jakelun tekninen laatu on muutoinkin hyvä;*
- 2) *sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat luotettavasti ja varmasti silloin, kun niihin kohdistuu normaaleja odotettavissa olevia ilmastollisia, mekaanisia ja muita ulkoisia häiriöitä;*
- 3) *sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat mahdollisimman luotettavasti normaaliolojen häiriötilanteissa ja valmiuslaissa (1552/2011) tarkoitetuissa poikkeusoloissa;*
- 4) *sähköverkko toimii yhteensopivasti sähköjärjestelmän kanssa ja se voidaan tarvittaessa liittää yhteen toisen sähköverkon kanssa;*
- 5) *sähköverkkoon voidaan liittää vaatimukset täyttäviä käyttöpaikkoja ja voimalaitoksia;*
- 6) *verkonhaltija kykenee muutoinkin täyttämään sille kuuluvat tai tämän lain nojalla asetetut velvollisuudet."*

Verkonhaltijan tulee varautua häiriötilanteisiin ja poikkeusoloihin laatimalla varautumissuunnitelma ja tarpeellisin määrin osallistuttava valmiussuunnitteluun. Säännökset koskevat yhteiskunnan johta-

misen tai turvallisuuden, kansalaisten toimeentulon tai elinkeinoelämän toimintakyvyn takaamiseksi tarpeellista sähköverkoston toiminnan sekä sähkönsiirron tai sähkönjakelun järjestelemistä. (Tukes, 2013, 28§)

Häiriötilanteissa verkonhaltijan on tehtävä häiriöiden poistamiseksi ja niiden vaikutusten rajaamiseksi yhteistyötä toisten verkonhaltijoiden ja toiminta-alueen pelastusviranomaisten kanssa. Verkonhaltijan tulee osallistua häiriötilanteissa verkkoalueen tilannekartoitukseen ja raportoitava tilanteen tarvittavat tiedot viranomaiselle. (Tukes, 2013, 29§)

Jakeluverkon suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa on huolehdittava verkon täyttävän käytövarmuudesta ja luotettavuudesta tehdyt säädökset. Jakeluverkon myrskyn tai lumikuorman aiheuttamat häiriöt eivät saa aiheuttaa asemakaava-alueella verkon käyttäjille yli kuuden tunnin kestäviä keskeytyksiä sähkönjakelussa. (Tukes, 2013, 51§)

*”Jakeluverkonhaltijan on laadittava jakeluverkkoonsa koskeva kehittämissuunnitelma, joka sisältää toimenpiteet, joiden toteuttaminen johtaa 51 ja 119 §:ssä säädettyjen vaatimusten täyttämiseen ja ylläpitämiseen jakeluverkossa. Kehittämissuunnitelma on päivitettävä kahden vuoden välein. Kehittämissuunnitelman tulee sisältää kahden kalenterivuoden jaksoihin jaoteltuina yksityiskohtaiset toimenpiteet, jotka parantavat järjestelmällisesti ja pitkäjänteisesti jakeluverkon luotettavuutta ja varmuutta ja jotka toteuttamalla jakeluverkko täyttää 51 ja 119 §:ssä säädetty vaatimukset. Kehittämissuunnitelmassa on verkon käyttäjien kohtuullisten tarpeiden mukaisesti kiinnitettävä huomiota sellaisten sähkönkäyttöpaikkojen sähkösaannin varmistamiseen, joihin on sijoittunut yhteiskunnan johtamisen tai turvallisuuden, väestön toimeentulon taikka elinkeinoelämän toimintakyvyn varmistamisen kannalta tärkeitä toimintoja ja palveluita. Kehittämissuunnitelmaan sisältyvien sähköjohtojen sijoittelussa on mahdollisuuksien mukaan hyödynnettävä yhteisiä reittejä muiden yhdyskuntateknisten verkkojen kanssa.”* (Tukes, 2013, 52§)

#### 4.2 Kehittynyt mittausinfrastruktuuri

Advanced Meter Infrastructure (AMI) koostuu yhdessä toimivista teknologioista: älykkäistä mittalaitteista, langattomasta verkkoyhteydestä ja keskitetystä tietoverkosta. Sen päätehtävä on tarjota jaksottaista mittaustietoa ja prosessointia mittaustiedon hyötykäyttöä varten. AMI-järjestelmät myös tarjoavat avustavia toiminnallisuuksia kuten hälytyksien valvonta, sähkökatkotietojen hallinta ja sähkön etäkytkentä- ja etäkatkaisutoiminnot. Vaatimuksena AMI:n toiminnalle ovat käyttöön otetut etäluettavat mittalaitteet loppuasiakkaiden mittauspisteissä, kaksisuuntainen verkkoyhteys (yleensä langaton yhteys tai PLC-tietoliikenne) mittalaitteiden ja luentajärjestelmän välillä sekä laitteisto että ohjelmisto jotka mahdollistavat yhteentoimivuuden ja automaattisen tiedonkulun käyttäen jaettua tietokantaa. (Carvallo, Cooper, 2011, 29)

#### 4.2.1 Etäluettavat mittalaitteet

Ennen etäluentateknologian kehittämistä mittalaitteilta hyödynnettiin useimmiten vain kulutusluke-  
ma, jonka mittalaitteenlukija kävi tarkastamassa mittauspisteessä. Etäluettavat mittalaitteet ovat  
tärkeä osa sähköverkon kehittämistä. Ne mahdollistavat monipuolisen tiedon keruun käyttöpaikan  
sähkön kulutuksesta.

Etäluettavista mittalaitteista on useita hyötyjä sähkökuluttajille, verkkoyhtiöille, sähköyhtiöille ja  
kantaverkkoyhtiöille. Osa hyödyistä on havaittavissa heti mittalaitteen asennuksen jälkeen ja osa käy  
ilmi vasta ajan kanssa. Etäluettava mittalaite poistaa tarpeen laskuttaa loppuasiakasta arvioperusteis-  
esti, koska mittaustieto on tarkasti tallennettuna tuntikulutuksena ja siirtotuotteen mukaisena käyt-  
tönä sekä mittalaitteelle että mittaustiedonhallintaan. Etäluettaville mittalaitteille tulee kuitenkin teh-  
dä korjauskäyntejä, jos etäluentayhteys ei toimi tai mittalaite ilmoittaa sisäisestä viasta. (Consumer  
Focus, 2012)

Mittalaitteessa on näyttö, josta kuluttaja voi seurata oman kiinteistönsä sähkökulutusta reaaliajas-  
sa. Useat sähkönmyyjät tarjoavat lisäpalveluita, jotka antavat etäluennasta lisäarvoa asiakkaalle. Li-  
säpalveluna voi esimerkiksi seurata omaa sähkön kulutusta verkossa, niin omalla tietokoneella kuin  
matkapuhelimellakin. Mittalaitteen avulla tietoisuus omien sähkölaitteiden kulutuksesta kasvaa, joten  
sähkön säästämisestä tulee helpompaa. Sähköyhtiöille selkeä säästö tulee sähkövarkauksien vähe-  
nemisestä, koska sähkövarkaudet ovat helpommin havaittavissa luentatiedoista. Teknisten ongel-  
mien korjaus ja sähköntarjonnan viat pystytään etäluettavilla mittalaitteilla korjaamaan nopeammin.  
Näin sähköverkon viat ja ongelma-alueet pystytään paikantamaan pikaisesti. Sähkön pientuottajat  
pystyvät mittalaitteen avulla seuraamaan tuulivoimalla ja aurinkopaneeleilla tuottamansa sähkön  
määrää. Tästä tiedosta nähdään helposti kuinka paljon omat sähköntuottolaitteet ovat generoineet  
sähköä verkkoon (sähkön määrä, joka on myyty sähköverkkoon). (Consumer Focus, 2012)

Etäluettavilla mittalaitteilla voidaan säästää energiaa ja saavuttaa taloudellisia säästöjä. Etäluetta-  
vuus tekee mittalaitteista helposti luettavia, koska mittalaitteita ei tarvitse käydä jatkuvasti lukemas-  
sa paikanpäällä eikä asiakkaan tarvitse täyttää ja postittaa lukemalomakkeita. Etäluenta mahdolli-  
staa kehittyneen mittaustiedonhallinnan, jännitteiden seurannan, tarkat reaaliaikaiset luennat ja vir-  
heidenhallinnan. Hälytystoiminnallisuus parantaa sähköverkon monitorointia ja auttaa huoltotöissä.  
Hälytystietoja voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi verkonsuunnittelussa ja keskeytystietojen ylläpi-  
dossa. Etäluennan voidaan sanoa mullistaneen mittaustiedon hallinnan uudelle vuosituonnelle.

Etäluenta mahdollistaa uusia palveluita nyt ja tulevaisuudessa. Uudet palvelut ovat avainasemassa  
etäluennan kokonaiskannattavuuden kannalta. Sähköyhtiöiden kassavirran budjetointia ja hallintaa  
on helpompi tehdä tarkemmilla tiedoilla. Sähköverkon kuntoa voidaan seurata mittalaitteiden analy-  
tiikalla, joka hyödyttää sähköverkkoyhtiöitä huoltotöissä.

Positiivisena asiana voidaan nähdä mittarikannan uusiminen, erityisesti mittalaittekannan ollessa  
vanha. Etäluentaan siirtymistä pidetään suosiollisena myös asiakaspalvelun paranemisen näkökul-

masta. Asiakasneuvojalla on enemmän konkreettista näytettävää asiakkaan tiedusteluihin. Esimerkiksi tuntitason lukematiedot (tuntisarja) loppuasiakkaan kulutuskäyttymisestä voivat auttaa asiakasta. Asiakasneuvoja voi tarkastaa asiakkaan sähkön laatu- ja katkotiedot. (Enease Oy, 2007, 13) Asiakasneuvoja pystyy myös palvelemaan asiakasta askarruttavissa asioissa. Sähkökatkot pystytään todentamaan mittalaitteen mittaustiedoista ja epäselvissä laskutustilanteissa mittaustiedolla voidaan todistaa laskun paikkansapitävyyden esittämällä tarkan tuntikulutuksen ja tarkastamaan onko mittalaitteella ollut ongelmia, jotka olisivat mahdollisesti vääristäneet lukemia.

#### Asennuksen jälkeen

Sähköasentajan asennettua etäluettavan mittalaitteen asiakkaan sähkökeskukseen, mittalaite on yhteydessä luontopalvelimella sijaitsevaan luontajärjestelmään, jossa säilytetään mittalaitteiden mitattamia tietoja. Luontajärjestelmästä mittalaitteelle asennetaan etäyhteydellä asiakkaan sähkösoittimukseen eritelty tuote, jonka jälkeen mittalaite toimii tuotteen mukaisesti. Asiakkaan kuluttaessa sähköä mittalaite tallentaa lukematiedot tunnin tarkkuudella muistiin: mittalaite säilyttää tyypillisesti useiden kuukausien lukemat ja lataa ne luontopalvelimelle ajastetuin väliajoin. Mittalaitteet tallentavat myös teknistä tietoa kuten tariffimuutokset, virheilmoitukset, sähkökatkot, uudelleen käynnistymiset, manuaaliset lukemayritykset, etäkatkaisut ja etäkytkennät, yhteyden reitittämiset ja vaiheiden jännitteet.

Mitattua tietoa hallinnoidaan luontajärjestelmällä, jolla pystytään tutkimaan kaikkien järjestelmässä olevien mittalaitteiden dataa asennushetkestä alkaen. Mittalaitteiden lähettämään dataan voidaan reagoida, jos se nähdään tarpeelliseksi. Kohteet, joista ei ole saatu lukemia noin kolmeen päivään, luokitellaan ongelmakohteiksi ja ne saattavat tarvita sähköasentajan korjauskäynnin mittalaitteella. Silloin mittalaitteen yhteyden laatu tarkastetaan ja tarvittaessa yhteyttä voidaan parantaa lisääntennillä tai paremmalla lisäantennin sijoittelulla, jotta luontayhteys saataisiin korjattua. Loppuasiakas, joka ei ole maksanut sähkölaskuaan, voidaan jättää kokonaan sähköttömäksi etäkatkaisemalla asiakkaan sähkökunnun sähkölasku on taas maksettu.

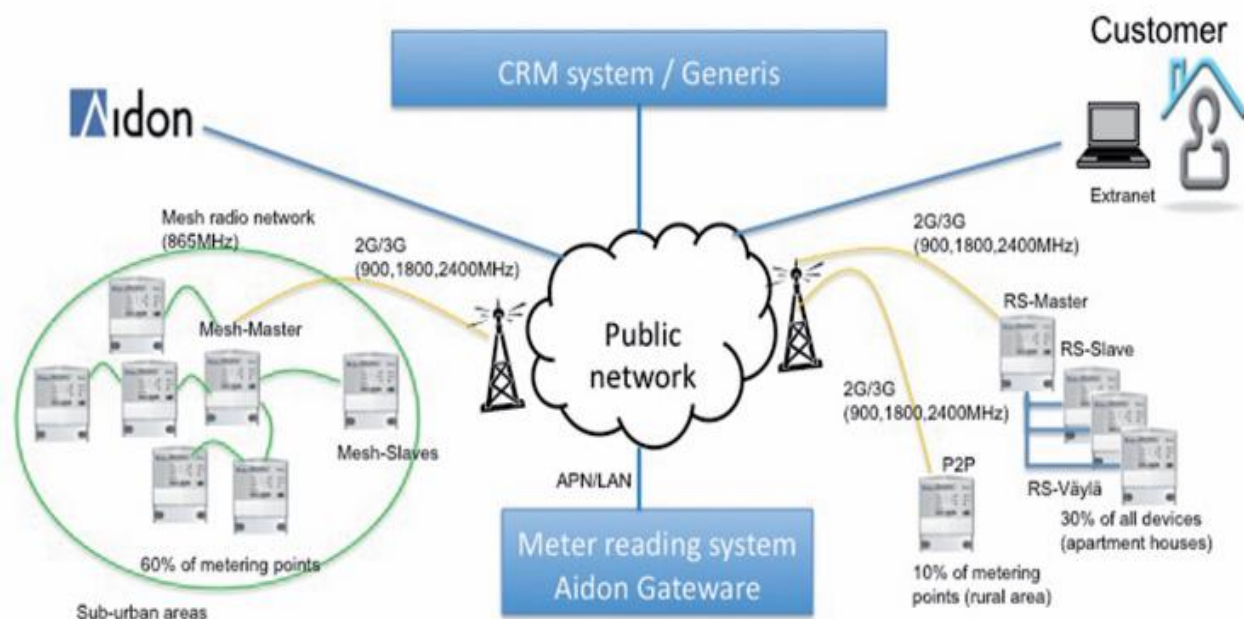
Luontajärjestelmässä voidaan muodostaa laskutusdataa tai se voidaan muodostaa erillisellä mittaustiedon hallintajärjestelmällä. Laskutusdatasta voidaan muodostaa e-lasku tai se voidaan lähettää tuotostamoon, josta laskut lähetetään asiakkaille paperisena.

Mittalaitteen operointi ei vaadi sähkön kuluttajalta toimenpiteitä, mutta se antaa heille mahdollisuuksia tarkastella omaa sähkön kulutustaan. Loppuasiakas voi esimerkiksi kesämökiltä poistuessaan katkaista sähköt mittalaitteen katkaisunapilla varmistuakseen sähköjen olevan poikki.

#### 4.2.2 Etäluettavien mittalaitteiden tietoliikennetkaisu

Tiedonliikennetkaisuista langattomat teknologiat ovat yleisimpiä etäluettavien mittalaitteiden käyttämiä tiedonsiirtoteknologioita.





Kuva 5. Mittalaitetyyppejä ja niiden tietoliikennratkaisut (Aidon Oy, 2012, 2)

Kuvassa 5 on esitetty esimerkki AMI-järjestelmän rakenteesta, jolla etäluettavien mittalaitteiden mitaustieto saadaan siirrettyä hyödynnettäväksi. Etäluettavien mittalaitteiden mitaustieto siirretään mitaustiestä yleisen verkkoliikenteen kautta eri osapuolille. Etäluentajärjestelmä (tässä esimerkissä Aidon Gateway) toimii mittalaitteiden hallintavälineenä. Etäluentajärjestelmästä hallitaan esimerkiksi mittalaitteiden automaattisia luentatöitä, mittalaitteiden latauksia ja hälytyksien hallintaa. Mitaustiedot voidaan siirtää myös Customer Relationship Manageriin (CRM), joka toimii asiakastietojärjestelmänä, ja mitaustiedonhallintajärjestelmään (kuvassa 5 Generis), jossa suoritetaan mitaustiedon hallintaa. Asiakkaat voivat seurata omaa kulutustaan sähköyhtiön tarjoamalla käyttöraportointipalvelulla.

#### RS-mittalaitteet

Kuvan 5 yläosassa on esitetty RS-mittalaitteiden topologia: kaapelilla yhdistetyt slave-mittalaitteet toimittavat mitaustiedot master-mittalaitteelle. RS-mittalaitteet soveltuvat parhaiten monimittaustietokeskuksiin, jossa mittalaitteet yhdistetään keskenään kaapelilla. RS-tekniikalla säästetään tietoliikennenkuluissa, sillä master-mittalaitteet lähettää kaikkien siihen liitettyjen mittalaitteiden mitaustiedot 2G- ja 3G-verkon välityksellä luentajärjestelmään (kuvassa merkitty nimellä Aidon Gateway).

#### Mesh-mittalaitteet

Kuvassa 5 vasemmalla on mesh-mittalaitteiden topologia. Langattomassa tiedonvälitysverkossa mitaustieto kulkee usealta mesh-slave -mittalaitteelta keskitetysti yhden tai useamman mesh-master -mittalaitteen kautta luentajärjestelmään. Slave-mittalaitteiden tulee sijaita master-mittarin läheisyydessä, jotta signaali on tarpeeksi vahva tiedon välittämiseen. Slave-mittalaitteet voivat kuitenkin välittää toistenkin slavejen mitaustietoa mastereille pidentäen kuuluvuuden kantomatkaa. mesh-

tekniikka mahdollistaa säästöjä tiedonvälityskuluissa, koska verkon mittalaitteista ainoastaan mesh-masterit siirtävät mittaustietoa luentajärjestelmään.

Vikojen havaitseminen voi mesh-verkossa helpottua. Pienjänniteverkon vika-alue voidaan paikantaa tarkemmin mesh-verkon mittalaitteiden häiriöilmoitusten avulla. Mesh-verkon mittalaitteet ovat vikasietoisia, koska ne yrittävät korjata yhteyttä kaikkien alueen mesh-mittalaitteiden kautta.

#### P2P-mittalaitteet

P2P-mittalaitteet (Peer-To-Peer) ovat suoraan yhteydessä etäluentajärjestelmään välittämättä mittaustietoa muiden mittalaitteiden kautta. P2P-mittalaitteet sisältävät SIM-kortin, jossa on aktiivinen liittymä. Mittalaitteelle voi SIM-kortin ansiosta tehdä "herätesoiton", jolla voidaan varmistaa mittalaitteen olevan yhteydessä verkkoon. Data liikkuu normaalisti 3G-verkossa, mutta jos kuuluvuus on mittalaitteen alueella heikko, voi mittalaitte automaattisesti etsiä yhteyttä 2G-verkosta, jossa kuuluvuus saattaa olla parempi. 3G- ja 2G-verkon kuuluvuusalueet vaihtelevat operaattoreiden tukiasemien sijainnista johtuen.

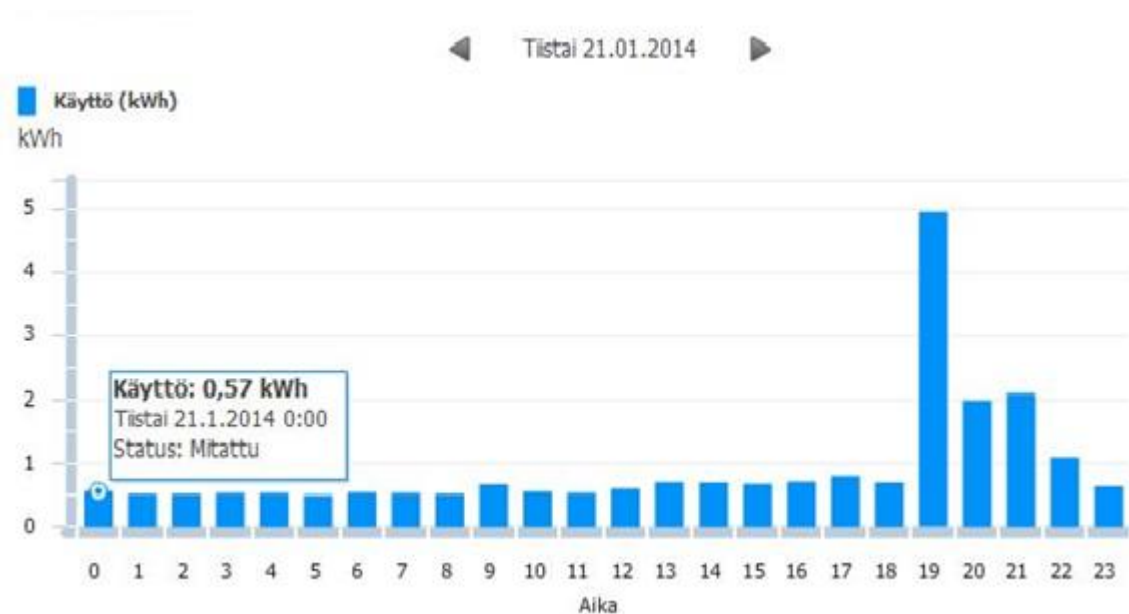
### 4.2.3 Mittaustietojen hyödyntäminen

Mittalaitteiden rekisteröimistä tiedoista voidaan kerätä lukemien lisäksi myös sähköyhtiötä ja verkkoyhtiötä kiinnostavia monipuolisia tietoja.

Tarkkaa mittaustietoa voivat hyödyntää loppuasiakkaan lisäksi myös sähkönmyyjät, verkonhaltijat, viranomaiset ja energiapalvelujen tarjoajat. Tarkan mittaustiedon hyötyjä ovat energiatehokkaiden toimenpiteiden käyttöönotto ja energiapalveludirektiivin toteutus. Tarkka mittaustieto mahdollistaa paremman jakeluverkon käytönvalvonnan ja sähkön laadun valvonnan, jotka lisäävät käyttövarmuutta. Mittaustietoa voidaan käyttää hyväksi verkon suunnittelussa ja investointipäätösten tekemisessä. Lisäksi hyötyjä ovat sähkömarkkinoiden prosessien helpottuminen (kuten myyjänvaihto, taseselvitys jne.) ja automatisointi. Sähkönmyynnin ja verkonhaltioiden asiakaspalvelut pystyvät parantamaan toimintaansa perustaessaan tietonsa tarkkaan mittaustietoon. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2008, 42)

#### Energiatietojen raportointi

Kuluttaja voi tarkkailla oman käyttöpaikkansa sähkön kulutusta mittalaitteen näytöltä tai esimerkiksi sähköyhtiön mahdollistaman raportointipalvelun avulla.



Kuva 6. Käyttöraportoinnin näkymä.

Kuvassa 6 on esitetty yksi esimerkki käyttöraportointipalvelusta, johon asiakkaat pääsevät sisään kirjautumalla tarkastelemaan omaa sähkön käyttöään. Palvelu on toteutettavissa tuntimittaukseen perustuvalla mittaustiedolla. Kuvan 6 kulutusraportti on kolmihenkisen perheen rivitaloasunnon (81 m<sup>2</sup>) sähkönkäytöstä yhden vuorokauden ajalta.

Mittauspisteen kulutuksen esitystapoja on useita. Kulutuksen havainnollistaminen käyrällä (kuva 7) auttaa ymmärtämään sähkön kulutusta eri vuorokaudenaikoina.

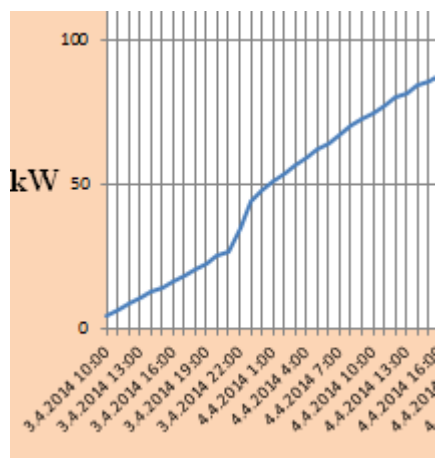


Kuva 7. Mittauspisteen tuntikeskiteho.

Kuvassa 7 havainnollistetaan loppuasiakkaan kotitalouden tuntikeskiteho piirrettynä kaaviolle. Tuntikeskitehoa voidaan hyödyntää esimerkiksi tilanteissa joissa epäillään kuormanohjauksessa olevan vi-

kaa. Kuormanohjauksen voidaan todeta toimineen kuvan käyttöpaikalla yöaikaan, koska keskiteho nousee kello 22.00 - 07.00 ajaksi korkeammalle kuin päivällä.

Kokonaiskulutus, eli kumulatiivinen kulutus, voidaan esittää esimerkiksi kuvan 8 käyrän avulla.



Kuva 8. Mittauspisteen kokonaiskulutus.

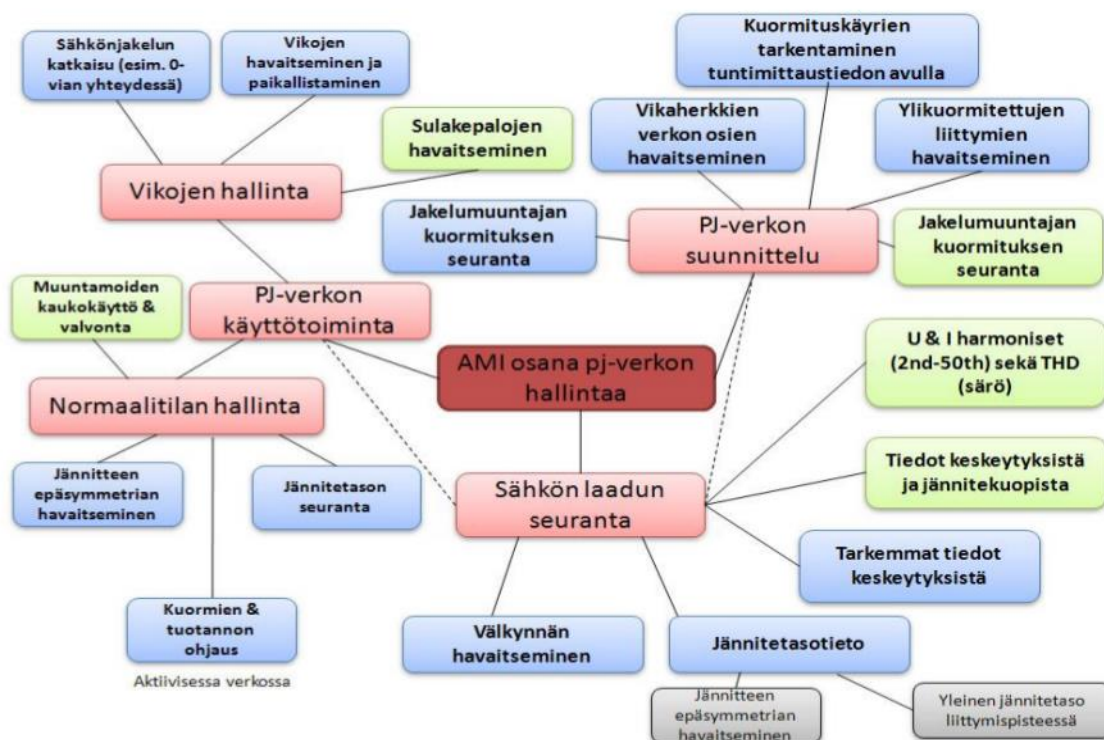
Kokonaiskulutus voidaan esittää käyrällä esimerkiksi mittalaitteen asennuksesta kuluvaan hetkeen. Pidemmän ajan kokonaiskulutuskäyrä havainnollistaa eri vuodenaikojen erot; talvella sähköä kuluu esimerkiksi lämmitykseen paljon enemmän kuin kesällä.

### 4.3 Pienjänniteverkon hallinta ja valvonta

Useassa sähköverkkoyhtiössä on ollut automaattinen valvonta pitkään käytössä, mutta vain keskijänniteverkossa. Keskijänniteverkon automaatiolla häiriötiedot on lähetetty välittömästi häiriön tapahtuessa valvontaan analysoitavaksi. Tarpeen tullen sähköasentaja käy tutkimassa ja korjaamassa verkossa olevan vian. Pienjänniteverkon valvonta on kuitenkin ollut ilman automaatiota eikä häiriöitä ei ole voitu havaita sähköverkkoyhtiön käyttökeskuksesta. Valvonnalla saadaan tehokkuutta ja nopeutta vikatilanteiden hallitsemiseen.

Pienjänniteverkon hallintaa ei ole voitu tehdä tehokkaasti ennen etäluettavien mittalaitteiden yleistymistä. Useasti pienjänniteverkon häiriöt huomattiin vasta loppuasiakkaan ilmoittaessa viasta sähköverkkoyhtiölle; häiriötilanne on siis voinut olla kesämökkikohteissa päällä useita päiviä tai kuukausia ennen kuin se huomataan ja korjataan. Sähköasentajilla täytyi olla kaikki mahdolliset työkalut mukana, koska häiriön laadusta ei välttämättä ollut aavistustakaan. Häiriön löytämisessä oli omat haasteensa: ei tiedetty onko häiriö loppuasiakkaan laitteissa, kytkennöissä tai liitoksissa, johdoissa vai muuntajalla. Aikaa saattoi kulua normaalitilanteen palautumiseen moninkertaisesti automatisoituun pienjänniteverkon hallintaan verrattuna.

Etäluettavien mittalaitteiden käyttöönoton jälkeen tilanne on muuttunut täysin aikaisemmasta. Pienjänniteverkon hallintaan on pystytty kehittämään uudenlaisia toimintoja. Etäluettavat mittalaitteet parantavat sähköverkon luotettavuutta ja virhetilanteista palautumista.



Kuva 9. Älykkään mittaroinnin pienjänniteverkon hallintaa tukevat ominaisuudet sinisellä ja muuntoautomaation vihreällä. (Löf, 2009, 76)

Pienjänniteverkon hallinnassa etäluettavat mittalaitteet ovat avainasemassa. Etäluennalla onnistuu sellaisten mittaustietojen luenta, joita ei aikaisemmin voitu suorittaa ilman erillisiä mittausvälineitä. Tärkeimmät pienjänniteverkon hallinnan ominaisuudet jakaantuvat neljään ryhmään (kuvassa 9): normaalitilan hallinta, pienjänniteverkon käyttötoiminta ja vikojen hallinta, pienjänniteverkon suunnittelu ja sähkön laadun seuranta.

#### 4.3.1 Pienjänniteverkon hallinnassa hyödynnetyt hälytystoiminnot

Mittalaitteiden hälytysominaisuuksissa on laitevalmistajakohtaisia eroja, mutta perusominaisuudet löytyvät jokaisesta.

Etäluettavat mittalaitteet voivat havaita mittauspisteessä erilaisia häiriöitä ja tallentaa ne mittarin lokitietoihin. Mittalaitteen lokitiedot voidaan etälukea kerran vuorokaudessa automaattisesti tai suoraan luentana niin tarvittaessa. Osasta lokitiedoista saadaan myös valinnainen hälytys (Kamstrup A/S, 2013, 29):

- magneettinen häirintä; etäluenta
- kesämökkimittarin ohitustoiminto aktiivinen (kesämökin pääkytkin auki); etäluenta + hälytys
- mittalaitteen kannen aukaisu; etäluenta
- sisäinen laitevirhe; etäluenta
- ali- ja ylijännite; etäluenta + hälytys
- yhden tai kahden vaiheen puuttuminen; etäluenta + hälytys

- nolla-vika; etäluenta + hälytys

Toisenlaisella ratkaisulla etäluettavat mittalaitteet voivat erillisellä "PiHa"-tuotteella (pienjänniteverkon hallinta) rekisteröidä sähköverkosta erilaisia häiriötilanteita. Mittalaitetta voidaan pitää passiivisessa tilassa, jolloin havaitut tiedot voidaan etälukea manuaalisesti. Aktiivisessa tilassa diagnosointi lähettää reaaliaikaisen hälytyksen, joka välitetään luentajärjestelmään ja käytöntukijärjestelmään. Mittalaite havaitsee pienjänniteverkon vikojen lisäksi myös asennus- ja mittalaittevat. Hälytyksiä voivat laukaista (Aidon Oy, 2013, 2-4):

- sulakekokojen maksimi ja minimi jännitteet ja sulakepalot
- vaiheiden jännitteettömyys, hälytys laukeaa häiriön kestäessä konfiguroidun ajan
- nollajohto tai keskijännitejohto poikki, tarkastetaan kolme vaihetta, hälytys pitää tulla useammalta mittalaitteelta
- ali- ja ylijännitehälytys jännitteen ollessa konfiguroidun raja-arvon ulkopuolella
- mittauspisteessä kulutetaan ja tuotetaan yhtä aikaa, kyse voi olla asennusvirheestä: väärä vaihejärjestys
- mittalaitteen sisäiset virheet, kuten muistin korruptoituminen
- pääkytkimen ohitussarja rikki

#### 4.3.2 Älykäs katkaisu

Älykäs katkaisu on mahdollista toteuttaa optiona mittalaitteeseen integroidulla tai erillisellä etäkytkentälaitteella. Etäkytkentälaitte katkaisee käyttöpaikalta sähkön syötön, mikäli mittalaite havaitsee tiettyjen raja-arvojen poikkeavan. Mittalaitteelle voidaan määritellä raja-arvot virralle (A) tai teholle (kW). Älykäs katkaisu voidaan ottaa käyttöön etäpäivityksenä tai etukäteen tehdaskonfiguroituna. Ominaisuutta voidaan hyödyntää useissa tilanteissa (Kamstrup A/S, 2013, 40-41):

- Viivekatkaisu (suhteessa ylityksen suuruuteen; mitä suurempi ylitys, sitä nopeampi katkaisu)
- Katkaisu nolla-vian jälkeen
- Vaihekohtainen virtakatkaisu, sähkötkatkaistaan yhdenkin vaihevirran (A) ylittäessä määritellyn raja-arvon ja ajan (t)
- Laitekohtainen (3-vaihe) tehokatkaisu, katkaistaan tehon (kW) pysyessä raja-arvon yli määritellyn ajan (t)
- Jälleenkytkentä; voidaan konfiguroida tapahtumaan manuaalisesti mittalaitteen selausnapista tai automaattisesti (tietty määritelty aika, jonka jälkeen jälleenkytkentää yritetään, jos edelleen ylikuormaa niin katkaisu suoritetaan uudestaan)

#### 4.3.3 Yleisiä hyötyjä

Pienjänniteverkon hallinta hyödyttää sähköverkkoyhtiötä useissa erilaisissa häiriötilanteissa.

Nopeampi reagointi sähkökatkoihin ja sähkön laatuhäiriöihin

Häiriön sattuessa mittalaite lähettää hälytysviestin luentajärjestelmän kautta sähköverkkoyhtiön käyttökijärjestelmään, jossa päätellään hälytystietojen perusteella vika-alueen laajuus ja vian laatu. Mikäli samalta alueelta useampi mittalaite ilmoittaa jääneensä sähköttömäksi, voidaan päätellä alueen pienjänniteverkossa olevan häiriö. Suuren alueen sähköttömyys havaitaan verkkoyhtiössä myös yllättävänä siirrettävän sähkön määrän laskuna.

Yksittäisten mittauspisteiden sähköttömyys saattaa kuitenkin jäädä verkkoyhtiöltä reagoimatta, koska loppuasiakas on voinut katkaista sähköt pääkytkimellä, jolloin myös mittalaite menettää sähköt ja lähettää nopeasti sähköttömyyshälytyksen. Mittalaitteeseen voidaan asentaa pääkytkimen ohitussarja joka jättää mittalaitteelle sähköt, vaikka pääkytkimestä katkaistaisiin sähköt pois.

#### Tarkka ongelma-alueen paikannus

Mikäli hälytysviestejä tulee samalta alueelta useammalta mittalaitteelta, tiedetään sähköverkossa olevan laajempi häiriötilanne. Käytöntukijärjestelmässä hälytystietoja lähettänyt häiriöalue esitetään reaaliaikaisena karttanäkymässä. Sähkökatkoihin ja sähköverkkovikoihin on helpompi ja nopeampi reagoida, kun mahdollisen vikakohdan pystyy etäluettavien mittalaitteiden avulla paikallistamaan. Myrskyn tuhoja on helpompi kartoittaa ja käydä korjaamassa, koska ongelma-alueiden mittalaitteet ovat ilmoittaneet viasta.

#### Verkkoyhtiöille tarkempaa tietoa sähkökulutuksesta epäselvissä tilanteissa

Sähkökatkoksen sattuessa etäluettavat mittalaitteet rekisteröivät lokiin sähkökatkon tarkan alkuaajan ja pienjänniteverkon hallintaominaisuuksia omaavat mittalaitteet lähettävät hälytysviestin luentajärjestelmään. Kun sähköt palautuvat tai vika korjaantuu, mittalaite kirjaa ylös tarkan sähkökatkon loppuaajan ja häiriötilanne poistuu mittalaitteelta. Jos asiakas haluaa tietää oman käyttöpaikkansa sähkökatkoajoja, ne voidaan esittää erittäin tarkkaan jättämättä varaa arvailulle. Nykyisin epäselvät sähkökatkoajat aiheuttavat lisäkustannuksia sekä asiakkaalle että sähköyhtiölle, mutta pienjänniteverkon hallinta auttaa selvittämään ja pääsemään loppuasiakkaan kanssa yhteisymmärrykseen. Jos mittalaite rikkoontuu sähkökatkon yhteydessä, hälytysviesti jää voimaan ja tarkoittaa, että kohteessa on käytävä paikanpäällä tekemässä korjauskäynti. Ilman pienjänniteverkon hallintaa vastaavanlaiset kohteet tulevat todennäköisesti ilmi vasta loppuasiakkaan ilmoittaessa verkkoyhtiölle viasta.

## 4.4 Sähköverkon älykkäät ominaisuudet ja ratkaisut

Tämän otsikon alla on kuvattu vapaammin älykkään sähköverkon ominaisuuksia ja ratkaisuja.

### 4.4.1 Kysyntäjousto, dynaaminen kuormanohjaus ja spot-hinnoittelu

Koko sähköverkon siirrettävän energian määrän on pysyttävä tasapainossa verkkoon syötetyn ja verkossa kulutetun määrän kanssa. Sähköä pitää siis olla aina riittävä määrä verkossa kysynnän tyydyttämiseksi. Jos sähköä tuotetaan liian vähän kulutukseen nähden, sähkön hinta nousee kalliiksi ja sähköverkossa alkaa ilmetä häiriöitä. Sähkön kulutusta on seurattava tarkasti ideaalin tuotto-kysyntä-tasapainon aikaansaamiseksi sähköverkossa. Sähköverkossa tarvittavaa energian määrä pystytään arvioimaan ennustamalla tuleva kulutus. Suurimpia kulutuspiikkejä aiheuttavat esimerkiksi ilmaston kylmät lämpötilat, joihin on varauduttava lisäämällä energian määrää verkossa. Kysyntäjoustopuolella voidaan hyödyntää etäluettavien mittalaitteiden kuormanohjaustoimintoa.

Kysyntäjousto ja energian säästäminen ovat kaksi eri asiaa. Energian säästämällä vähennetään sähkön kulutusta pidemmällä aikavälillä, mutta tämä ei vielä välttämättä vähennä piikkejä sähkön kulutuksessa. Sen sijaan kysyntäjoustopuolella pystytään poistamaan kuormaa ajalta, jolloin kysyntä on huikkeen korkealla. Kysyntäjousto säästää sähköverkkoa rasitteilta ja vähentää sähkön kulutusta sähkön hinnan kohotessa korkealle kovan kysynnän takia. Kysyntäjoustopuolella pystytään vähentämään kallista varavoimaa.

Kysyntähuippujen energiatarpeisiin vastaaminen edellyttää, että sähköverkko kykenee käsittelemään tehokkaasti lyhytkestoista kuormaa. Mahdollistamalla ja kannustamalla kysyntäjoustopuolelle älykkäät sähköverkot hillitsevät kysyntähuippujen kuormaa, koska teollisuus ja kotitaloudet voivat vähentää kulutustaan manuaalisesti tai automaattisesti. Kulutuksen ajankohtaa voidaan siirtää dynaamisella kuormanohjauksella ilman merkittävää vaikutusta tuotantoon tai elintapoihin. Älykäs sähköverkko mahdollistaa sähkön varastoinnin ja kulutushuippujen tasoittamiseen liittyvät tekniikat, kuten sähköautot ja hybridi-autot. (Fortum Oyj, 2011)

Intressejä kysyntäjoustopuolelle on Fingrid Oyj:llä (sähköverkon järjestelmävastaava), sähkökauppijilla, sähköverkkoyhtiöillä ja loppukäyttäjillä.

#### Jakeluverkonhaltijat ja Fingrid

Kysyntäjousto tarjoaa mahdollisuudet uusiin sähköverkon palveluihin, joita voidaan hyödyntää koko sähköverkossa loppuasiakkaita myöten. Oman sähköverkon pullonkaulatilanteiden hoitaminen helpottuu, koska energiaa voidaan siirtää useammin myös kovan kysynnän aikaan. Tehopulatilanteissa kysyntäjousto toimii yhtenä korjaavana toimenpiteenä verkon rasituksen lieventämiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2008, 36-41)

#### Sähkökauppijat

Sähkökauppijat saattavat ostaa liian vähän energiaa myytäväksi sähköverkkoon. Sellaisessa tilanteessa lisäenergian ostaminen on usein hyvin kallista ja kannattamatonta. Kysyntäjoustopuolella voidaan parantaa sähkömarkkinoiden riskien hallintaa esimerkiksi vähentämällä kysyntää lähemmäksi ostettua energian määrää, jolloin välttyään kalliin lisäenergian ostamiselta. Myös kysyntäjoustopuolelle ennustettavuus on tärkeä tieto sähkön hankinnassa, jotta taloudellisia säästöjä pystytään tekemään. Sähkön-



myyjät voivat luoda loppuasiakkaille erilaisia kysyntäjoustoja hyödyntäviä tuotteita ja parantaa asiakastytyväisyyttään. Sähkönmyyjän näkökulmasta kysyntäjoustopa saadut hyödyt ovat yhtenäisiä loppuasiakkaiden saamien hyötyjen kanssa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2008, 36-41)

#### Loppuasiakkaat

Loppuasiakkaat hyötyvät kysyntäjoustopa, jos se on toteutettu mahdollisimman automatisoidusti ja sitä on vaivatonta hyödyntää. Loppuasiakkailta on laajempi valikoima omaan tarpeeseen hyödynnettäviä sähkönmyyjien uusia tuotteita ja palveluita. Sähkön ollessa kallista, kysyntäjoustopa voi vähentää loppuasiakkaan sähkön kulutusta. Taloudelliset edut näkyvät viimeistään sähkölaskuissa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2008, 36-41)

Kysyntäjoustopa, dynaamisen kuormanohjauksen ja spottihintoittelun yhteistoiminnalla saavutetaan niiden maksimaalinen hyöty. Niiden yhteistoimintaa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi sähköautojen lataamisessa ja kotitalouden lämmittämisessä. Sähköautoja ei kannata ladata heti klo 16.00 iltapäivästä, koska tuona aikana sähköverkossa on jo muutenkin kulutusrasitteita. Sähköautot vaativat paljon energiaa, siksi ne asettavat teknisiä vaatimuksia sähköverkolle. Sähköautojen lataus kannattaisi tehdä spottihintojen mukaisesti sähkön hinnan ollessa halvimmillaan. Sähkön spottihinnat ovat ennustettuja sähkönhintoja tiettyinä ajankohtana. Kysyntäjoustopa yksistään pienentää riskiä, mutta yhdistettynä spottihintaan riskiä ei ole (spottihinnalla on tuntihinnan päällä vain pieni kate). Näin dynaaminen kuormanohjaus voisi ladata sähköautot ja lämmittää kotitaloudet kysyntäjoustopa avulla sopivaan aikaan mahdollisimman matalilla spottihinnoilla. Koko prosessi tuottaa valtavasti taloudellisia hyötyjä ja sen toteutus on mahdollista etäluettavien mittalaitteiden avulla.

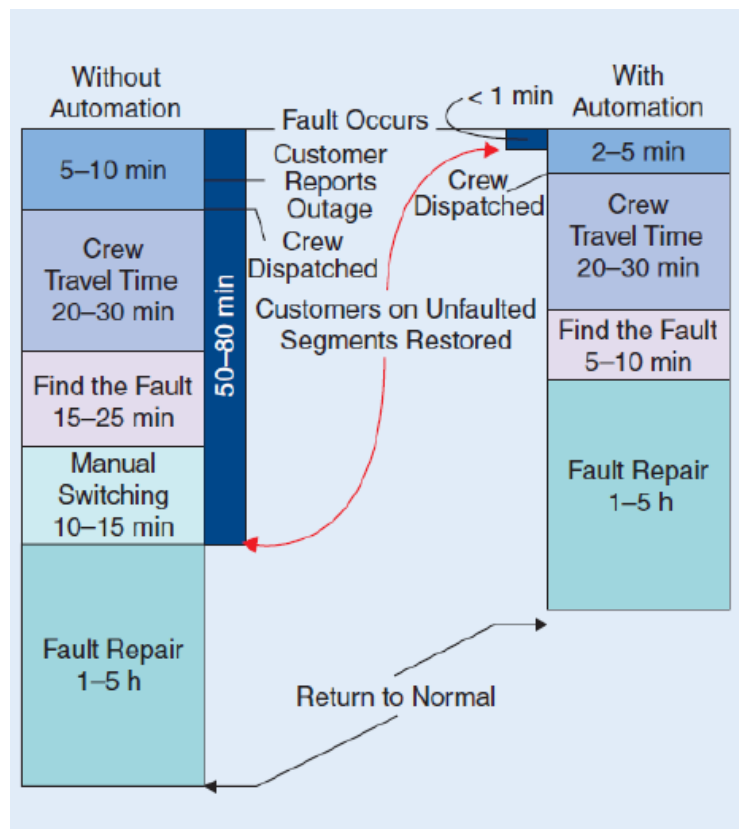
Parantuneen pienjänniteverkon hallinnan ja etäluettavan tuntimittauksen ansiosta kysyntäjoustopa on hyödynnettävissä laajemmin. On kuitenkin tehtävä vielä muutoksia, jotta kysyntäjoustopa voitaisiin alkaa harjoittamaan kokonaisvaltaisesti. Sähkönmyyjät tarvitsevat rajapinnan, jota kautta kysyntäjoustopa voidaan alkaa myydä. Jakeluverkkoyhtiöt eivät välttämättä kehity kysyntäjoustopaomyönteisesti ilman lainsäädännöllistä asetusta. Kaikkien osapuolten hyötyessä kysyntäjoustopa on kehitettävä yhteinen malli, jotta kuormanohjausta voitaisiin hyödyntää kannattavasti.

#### 4.4.2 Muuntamoautomaatio

Muuntamot toimivat porttina keskijänniteverkon ja pienjänniteverkon liittymispisteissä. Kehittyneen mittausrakenteen ansiosta muuntamoita voidaan hallita etäyhteydellä, jonka avulla muuntamoautomaatio on mahdollista. Muuntamoautomaatiolla on oma roolinsa pienjänniteverkon normaalitilan hallinnassa, vikojen hallinnassa, pienjänniteverkon suunnittelussa ja sähkön laadun seurannassa. Normaalitilassa muuntajia voidaan kaukokäyttää ja valvoa etäyhteydellä. Vikojen hallinnalla havaitaan sulakepalot ja muita sähköverkon häiriöitä. Vikasietoisen pienjänniteverkon suunnittelussa käy-

tetään tukena jakelumuuntajien kuormituksen seurannasta saatuja tietoja. Muuntamoautomaatiolla voidaan vähentää keskeytyksestä aiheutuvia haittoja, koska keskeytykset ovat lyhempiä.

Muuntamoautomaatiota voidaan toteuttaa myös muuntamoon sijoitetun etäluettavan mittalaitteen avulla. Pienjänniteverkon hallinnassa voidaan toisaalta hyödyntää myös muuntamoautomaation mittaustuksia.



Kuva 10. Sähkökatkosta palautuminen automaatiolla ja ilman. (Staszsky, Craig, Befus, 2005, 58)

Muuntamoautomaatio parantaa sähköverkon toimintavarmuutta ja vähentää sähkökeskeytysten pituutta merkittävästi (kuvassa 10). Syöttöautomaatio on vähiten maksava ja lähes aina nopein keino vähentää keskeytyksien pituutta. Kuvassa 10 esitetään miten tyypillinen sähkökatkosta palautuminen tapahtuisi ilman automaatiota ja automaation kanssa. Aikaa säästetään automaatiolla vielä enemmän myrskytilanteissa, kun sähköasentajat pystyvät tekemään useita tarkastuksia samalla kerralla. (Staszsky, Craig, Befus 2005, 58)

#### 4.4.3 Kommunikaatoratkaisut pienjänniteverkon hallinnan tukena

Kommunikaatiopalvelut ovat käytettävän ympäristön tietoihin perustuvia kommunikointiratkaisuja. Tiedotuspalveluita voidaan soveltaa esimerkiksi osana älykkään sähköverkon kommunikointia. Vaikutuksena sähköverkkoyhtiön sisäinen ja ulkoinen kommunikointi nopeutuu. Sähköverkon häiriötilanteissa korjaustoimenpiteet onnistuvat nopeammin puoliautomaattisen viestinnän ansiosta. (Enfo Oyj, 2014 d)

Konkreettista lisäarvoa tiedotuspalvelut tuovat esimerkiksi sähköverkko- ja sähkömyyntiyhtiöille:

1. sähköverkon ja sähköjakelun valvonnan tehostaminen ja viankorjauksen nopeuttaminen
2. sosiaalisen median valvonta - negatiivisiin signaaleihin voidaan reagoida reaaliajassa
3. automatisoitu reagointi ja ennakointi sopimustilanteiden muutoksiin
4. nopeat tilanpäivitykset esimerkiksi urakatöiden etenemisestä
5. parempi kunnossapidon palvelu, myös asiakkaat voivat auttaa
6. välitä tieto peruuntuneista tai myöhästyneistä työtehtävistä nopeammin työtovereille tai asiakkaillesi

(Enfo Oyj, 2014 d)

## Case: energia

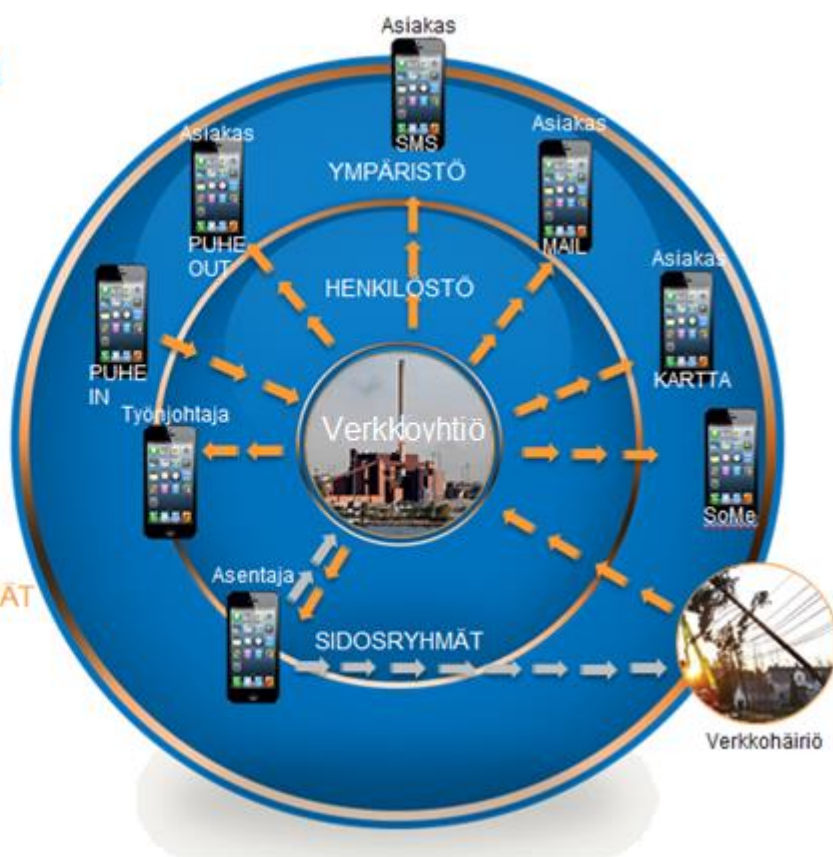
### YMPÄRISTÖT

- Sähköverkko
- Muuntajat
- Voimalaitokset
- Alue
- Taloyhtiö/kiinteistö
- Asiakkaat

### HENKILÖSTÖ JA SIDOSRYHMÄT

- Työnjohto/asentajat
- Verkkoyhtiö
- Kaupunki/kunta
- Palo- ja pelastustoimi
- Puolustusvoimat
- Media

enfo.fi



Kuva 11. Kommunikaatioratkaisu toiminnassa sähköverkon häiriön sattuessa. (Enfo Oyj, 2014 d) [Muokattu]

Kuvassa 11 demonstroidaan tiedonvälityspalvelun avulla verkkoyhtiön sisäistä ja ulkoista tiedonvälitystä sähköverkon häiriön sattuessa. Tilanne laukeaa tässä esimerkissä puun kaatuessa keski- tai pienjänniteverkon päälle katkaisten alueelta sähkön saatavuuden. Sähköttömien mittauspisteiden etäluettavat mittalaitteet lähettävät vikaantumishälytyksen, joka toimitetaan tiedonvälityspalvelun välityksellä tarvittaville osapuolille, joita ovat asiakkaat, verkkoyhtiön asiakastietojärjestelmä, työnjohtajat ja sähköasentajat. Osapuolille voidaan lähettää linkki karttapalveluun häiriöalueesta, jotta osapuolet pystyisivät näkemään häiriöalueen kartalla. Loppuasiakkaat voivat lähettää viestin tai soittaa verkkoyhtiölle tiedonvälityspalveluun lisätietoja verkkohäiriöstä. Loppuasiakkaat voivat tiedustella verkkoyhtiöltä häiriötietoja. Sähköasentajat kuittaavat tiedonvälityspalvelulle aloittavansa korjaustyön ja alkavat tutkia verkon ongelmaa. Häiriön korjaantuessa asentajat voivat kuitata ongelman

ratkaistuksi ja haluttaessa viesti voidaan välittää tarvittaville osapuolille. (Enfo Oyj, 2014 d) Häiriötilanne voi laueta myös asiakkaan, verkkoyhtiön tai sähköyhtiön ilmoituksesta. Muita käyttötarkoituksia sähköverkon häiriötilanteiden kommunikaatiossa ovat sähkökatkot, käyttökeskeytykset, asentajan ja asiakkaan välinen viestintä.

Tiedonvälityspalvelun sisäisen tiedotuksen valittavissa olevia ominaisuuksia ovat loppuasiakkailakin käytössä olevien kanavien lisäksi ns. Ryhmäpuhelin, jolla ryhmäpuheluun voidaan kutsua useita henkilöitä nopeasti. Lisäksi palvelu on hyvin käytännöllinen työnohjauksen tukivälineenä: esimerkiksi ohjaamalla häiriöpaikan puhelut suoraan oikealle työnjohtajalle vältetään turhilta välisoitoilta. (Enfo Oyj, 2014 d)

#### 4.4.4 Uusiutuva energia, sähkön pientuotanto ja varastointi

Uusiutuvan energian tuotannon integroimisessa sähköverkkoon ei pitäisi luottaa vain tekniseen kehitykseen, vaan ihmisten on tehtävä merkittävä muutos käyttäytymisessään. On tarpeen siirtyä pois perinteisestä näkemyksestä, jossa sähköteollisuus orjallisesti tarjoaa energiaa passiivisille asiakkaille. Nykypäivän kuluttajien tulee ajatella myös tuotannon näkökulmaa, koska heidän tulee muuttua yhä aktiivisemmiksi osallistujiksi moderniin ja hienostuneeseen sähköverkkoon. Sähköverkon täytyy kohdata ns. ”kaksoishaaste” eli tarjota sähköä taloudellisilla kustannuksilla, mutta kestävällä tavalla. Tekniikan kehitys voi helpottaa siirtymisprosessia kuluttajista tuottajiksi, mutta muutokseen tarvitaan toimintaa myös kuluttajilta. Kuluttajien täytyy omaksua tämä uusi aikakausi ja ottaa vastuu käyttämästämme energiasta. Elämme aikakautta jona ihmisten toiminta aiheuttaa ilmastonmuutoksen nopeutumista. Meidän pitäisi ottaa opiksemme ja kannustaa kuluttajia uusiutuvan energian tuotantoon. (Boyle, 2007, 209)

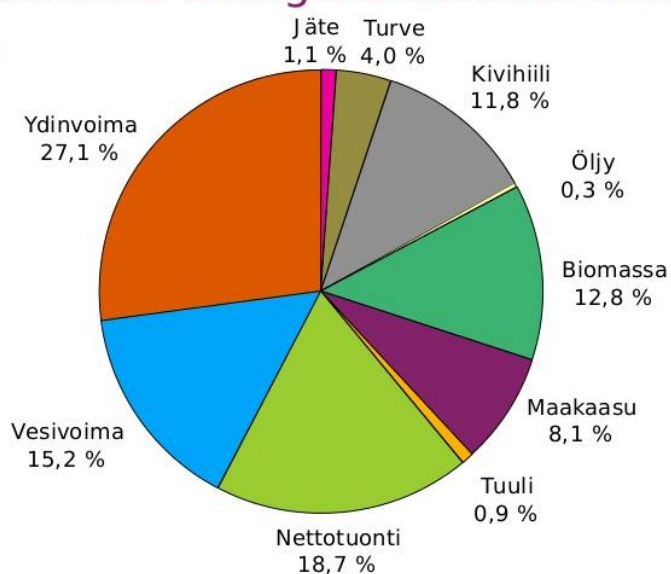
Suomessa ydinvoimaa tuotetaan yhä enemmissä määrin huolimatta sen joustamattomuudesta. Tuotettavan ydinvoiman määrää ei voida säädellä, mikä tekee siitä joustamattomimman energialähteen. Mitä enemmän ydinvoimalla tuotetaan, sitä enemmän muiden energialähteiden tulee joustaa, koska liikaa energiaa ei sähköverkkoon haluta. (Matschoss, P. 2013, 9) Tämä tarkoittaa muiden energialähteiden, kuten uusiutuvan energian, tuotannon rajoittamista siten, että verkkoon ei tuoteta liikaa energiaa. Joskus sähkön tuottaminen voi olla hyödytöntä ja silloin tuotantoa voidaan rajoittaa älykällä ominaisuuksilla.

Kuvassa 12 on esitetty ulkomailta tuodun energian osuudeksi 18,7 %. Loput 81,3 % on kotimaista tuotettua energiaa. Suomessa uusiutuvia energialähteitä voidaan hyödyntää vaihtelevasti. Hajautetun pientuotannon yleistyttyä tuulivoiman ja aurinkovoiman määrä alkaa kasvaa. Tuuliset rannikko-seudut soveltuvat tuulivoimalle erinomaisesti. Suomella on pitkä rannikko, jota voitaisiin käyttää tuulivoiman tuotantoon, mutta mantereella tuulivoimaloiden sijainti pitäisi suunnitella tarkasti. Aurinkovoimaan liittyy kausittainen haaste: talvella aurinkovoimaa ei pystytä pimeyden syystä hyödyntämään juuri ollenkaan, kun taas kesällä lämmityksen tarpeen ollessa pieni, auringosta saadaan valta-

van paljon energiaa. Hajautetulla sähköntuotannolla kotimainen uusiutuvaenergia yleistyy ja riippuvuus ulkomaisesta energiasta vähenee.

## Sähkön hankinta energialähteittäin 2013

Yhteensä 83,9 TWh



Kuva 12. Sähkön hankinta energialähteittäin vuonna 2013. (Energiateollisuus ry, 2014, 9) [Muokattu]

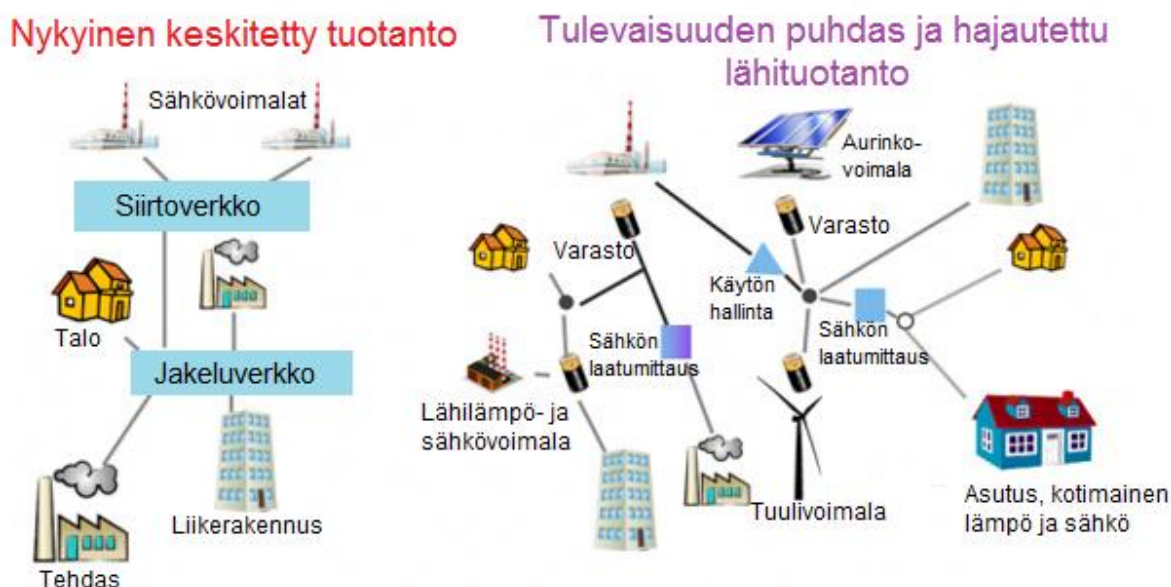
### Keskitetty sähköntuotanto

Kuvassa 13 on vasemmalla esitetty nykyinen sähköntuotannon ja -kulutuksen yksinkertainen rakenne. Rakenteessa sähköntuotanto tapahtuu keskitetysti sähkövoimaloissa. Sähkövoimalat tuottavat suuren osan tarvitusta energiasta ja usein sähkövoimalat sijaitsevat kaukana kulutuskeskuksista. Energia siirretään siirtoverkon avulla jakeluverkkoon käytettäväksi. Jakeluverkossa loppuasiakkaat pääosin vain kuluttavat sähköä eli energian siirtosuunta on tuottajalta kuluttajalle. Keskitetty sähköntuotanto ei ole vikasietoinen ratkaisu, koska häiriön sattuessa koko sähköntuotanto voi keskeytyä ja vaikutukset tuntuvat jakeluverkossa laajalla alueella.

### Hajautettu sähköntuotanto

Kuvassa 13 on oikealla esitetty älykkään sähköverkon mahdollistama rakenne, jota kohti kehitys on tapahtumassa. Pienjänniteverkon rooli pelkkänä kulutusalueena tulee muuttumaan. Tulevaisuuden rakenteessa korostuu pienvoimaloiden ja hajautetun sähköntuotannon osuus sähköverkossa. Tuotettu energia pystytään varastoimaan tulevaa käyttöä varten sähkövarastoihin, joita ovat esimerkiksi sähköautojen akut. Tulevaisuudessa loppuasiakkaat pystyvät osallistumaan aktiivisemmin sähköntuotantoon pienjänniteverkosta käsin. Energian siirtosuunta tulee muuttumaan myös perinteisestä tuottajalta kuluttajalle -tyylistä, koska kuluttajat voivat olla myös pientuottajia. Uusiutuvat energialähteet ovat puhdasta energiaa, jota voidaan hyödyntää tehokkaammin teknologioiden kehittyessä

paremmiksi. Hajautettu pientuotanto ja pienvoimalat tulevat sijaitsemaan lähellä kulutuskeskuksia lisäten sähköverkon toimintavarmuutta. Häiriötilanteissa vian korjaaminen pienemmissä tuotantovoimaloissa on helpompaa ja riskit ovat pienemmät, kuin suuressa keskitetyssä sähkövoimalassa. Pienjänniteverkon hallintaa voidaan hyödyntää hajautetun sähköntuotannon yksityiskohtaisessa laatu- tarkkailussa ja sähkövarastokapasiteettien hallinnassa.



Kuva 13. Keskitetty ja hajautettu sähköntuotanto. (Farrell, 2014) [Muokattu]

#### Sähkön varastointi

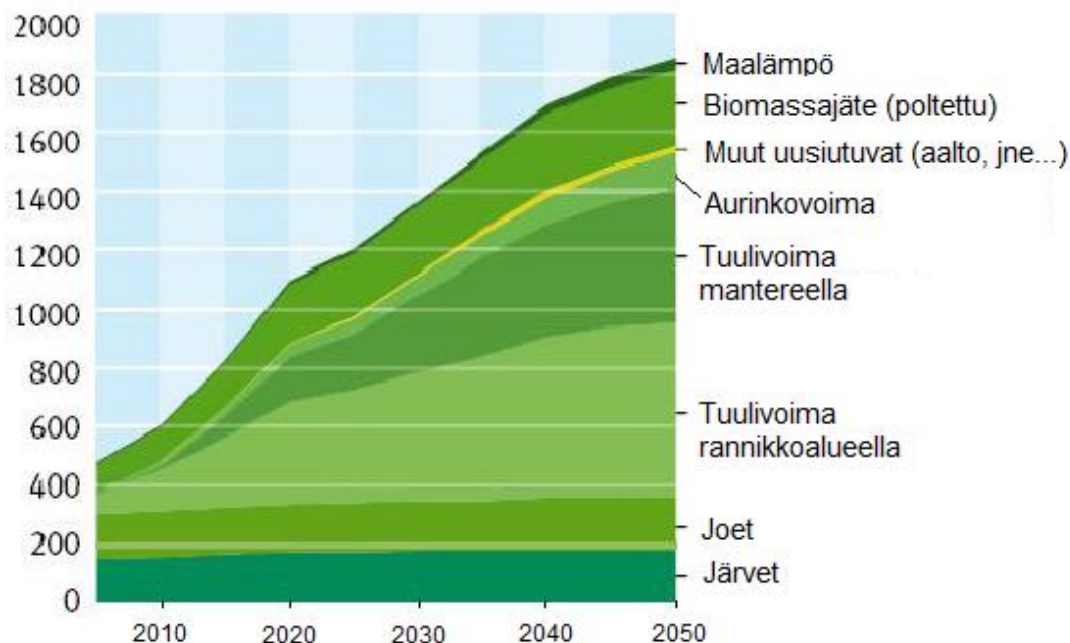
Nykyiseltään sähköverkon sähkön varastointikapasiteetti on riittämätön. Sähköverkossa ei voida varastoida suuria määriä sähköä, koska nykyiset varastointiteknologiat ovat kapasiteeteiltaan varsin pieniä. Tulevaisuudessa sähkö- ja hybridiautojen sähköakkuja on mahdollista käyttää kysyntäjoustop apuvälineenä. Sähköakuista voidaan kulutushuippuina päästää energiaa sähköverkkoon vastaamaan sähköntarpeita.

Tulevaisuudessa sähkön varastointi on yksi oleellisimmista teknologioista, jossa uusiutuvia energialähteitä, kuten aurinko- ja tuulivoimaa, käytetään paljon. Jos uusiutuvilla energialähteillä toteutettu hajautettu sähköntuotanto lisääntyy, energian varastointitarpeet kasvavat uusiutuvan energian saatavuuden ollessa luonnollisesti vaihtelevaa. Vaihteluiden tasaamiseksi tullaan käyttämään energiavarastoja, joita kerrytetään sähköntuotannon huippuina ja puretaan alhaisen tuotannon tai kohonneen kysynnän aikaan. Korkean hinnan kulutushuippuihin voidaan energiavarastosta tarvittaessa tuottaa sähköä verkkoon. (Energiateollisuus ry, Fingrid Oyj, 2012, 113)

Uusiutuvien energialähteillä tuotetun energian määrä moninkertaistuu tulevaisuudessa. Teknologioiden kehittyessä esimerkiksi aurinkopaneelien energiatehokkuus kasvaa ja laitteiden hinnat laskevat.

Kuvassa 14 on ennustus uusiutuvien energialähteiden lisääntymisestä Euroopan energiatuotannossa.

### Uusiutuvan energian tuotanto Euroopassa (TWh)



Kuva 14. Uusiutuvien energialähteiden tuotanto tulevaisuudessa. (Energieollisuus ry, 2011 b, 13) [Muokattu]

Sähkömarkkinat ovat nyt muutoksen keskellä. Euroopan Unioni vaatii yleisiä Euroopan sähkömarkkinoita osallistumaan yhteisiin tavoitteisiin: energiatehokkaan sähkön käytön lisääminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen sähkön tuotannossa ja kulutuksessa. Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen vaikuttaa tulevaisuudessa liikennesektoriin lisäten sähkön hyväksikäyttöä. Sähköautot voidaan nähdä varteenotettavana energiavarastona ja suuri osa näistä energiavarastoista vaikuttaa sähkömarkkinoiden toimintaan. Uusiutuvan energian tuotanto on usein ajoittaista ja saatavuus vaihtelevaa, siksi tarvitaan joustavat pääenergiälähteet. Tämä on haaste sähköverkolle ja markkinamallille: valtavat määrät ajoittaista tuotantoa saattavat haitata sähkömarkkinoiden hinnanmuodostusta. (Energieollisuus ry, 2011 b, 52) Hajautettu sähköntuotanto lisää yksittäisiä sähköntuottajia sähköverkkoon. Vaikutuksena sähköverkko monipuolistuu ja energia alkaa liikkua perinteisen sähkövoimalasta kuluttajille -mallin lisäksi myös pientuottajilta kuluttajille. Pientuotannon yleistyessä palveluiden tarve kasvaa. Kehittynyt mittausinfrastruktuuri tukee pientuotannon integroimista sähköverkkoon ja luo pohjan uusien palveluiden tuottamiselle.

#### KAH-laskenta ja sähköverkon korjaus

Sähköverkon toimintavarmuuden lisäämiseksi tehdään tulevaisuudessa enemmän töitä uuden sähkömarkkinalain velvoittamana. Tulevaisuudessa sähköverkon kuntoa arvioidaan aktiivisesti ja suur-

häiriötilanteisiin halutaan olla valmiustilassa. Huoltotöitä suoritetaan sähköverkon riskialttiuden ja arvioidun KAH:n (keskeytyksestä aiheutunut haitta) perusteella. KAH-laskennalla saadaan taloudellisia säästöjä verkon huoltotöiden suorittamisessa.

Tapahtumienhallintapalveluilla sähköverkon kuntoa arvioidaan esimerkiksi seuraavien tekijöiden perusteella:

- Verkon topologia
- Etäluettavien mittalaitteiden katko- ja hälytystiedot (pienjänniteverkon häiriöt)
- Keski- ja pienjänniteverkon katkotiedot
- Tuntikulutustiedot
- Kulutuksen vuosiennusteet
- Sääennusteet

Tiedoilla saadaan lisäarvoa KAH-laskennan tarkentumisena. Tiedot voidaan syöttää laskentamoottorille, joka laskee sähköverkon liittymäkohdille KAH-ennusteen eri ajankohdille, yhdistää verkkotasoja ja vakiokorvaukset hinnoitellun vuosiennusteen perusteella. Tuloksena saadaan karttanäkymä, josta sähköverkon osia voidaan tutkia. Karttanäkymällä nähdään sähköverkon kriittiset osat joiden korjaus on suositeltavaa. Keskijänniteverkon ja pienjänniteverkon osille on annettu häiriöiden kustannukset summattuina häiriöittäin. Tiedoista voidaan muodostaa listoja ja graafeja kuvaamaan sähköverkon osia. Tapahtumienhallintapalvelut hahmottavat sähköverkon kokonaiskuvan euroina ja kriittisimmät huoltoa tarvitsevat verkon osat häiriöalueittain. (Enfo Zender Oy, 2014)



## 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä todettiin sähköverkon olevan kovan kehityspaineen alla. Ympäristöedut ja lainsäädännön tavoitteleva toimintavarmuuden takaaminen edellyttävät toimenpiteitä koko sähköverkon kehittämiseksi. Pienjänniteverkossa tapahtuva sähkön pientuotanto on integroitava osaksi sähköverkkoa ja loppuasiakkaita on kannustettava muuttumaan passiivisista sähkökuluttajista aktiivisiksi pientuottajiksi. Sähköverkosta tarvitaan enemmän tietoa, jotta älykkään sähköverkon ratkaisuja voitaisiin kehittää tulevaisuuden visioita varten.

Älykäs sähköverkko on kehittynyt nykyiselleen sen kiistattomien hyötyjen ansiosta. Älykkään sähköverkon kehitystä ohjaavat osapuolet pyrkivät saamaan sähköverkosta taloudellisia etuja, toimintavarmuutta ja turvallisuutta, käytännöllisyyttä ja parempia palveluita, asiakastyytyvyyttä ja ympäristöetuja. Älykkään sähköverkon kehittäminen on välttämätöntä, jotta osapuolien intressit voidaan toteuttaa.

Kehittynyt mittausrakenteellinen on älykkään sähköverkon peruspilari. Se mahdollistaa pienjänniteverkon kaksisuuntaisen tietoliikenteen ja aktiivisen käyttöpaikkojen hallinnan ja valvonnan. Tarkemman mittaustiedon saatavuuden ansiosta pienjänniteverkon hallinnasta on tullut tärkeä osa älykästä sähköverkkoa. Etäluettavat mittalaitteet kykenevät rekisteröimään tarkkaa mittaustietoa, lähettämään hälytyksiä häiriötilanteista ja niiden avulla voidaan suorittaa etäkomentoja pienjänniteverkkoon saakka. Mittaustietoja voidaan käyttää hyväksi sähköverkon osapuolia hyödyttävissä uusissa palveluissa, joita opinnäytetyössä on kuvattu. Pienjänniteverkon hallinnan automaattisilla hälytyksillä ja laatu- ja toimintatietojen raportoinnilla saadaan koko pienjänniteverkko valvontaan. Laatu- ja toimintatiedot helpottavat sähköasentajien viankorjaustyötä ja antavat merkittävän hyödyn sähköverkon kehittämissuunnitelmaan. Sähköverkon suunnittelussa laatu- ja toimintatietoja voidaan käyttää esimerkiksi paremman toimintavarmuuden saavuttamiseksi. Kysyntäjouston hyödyntäminen kulutushuippujen aikaan pitäisi saada laajemmin käyttöön, jotta sähköverkon rasitteita voitaisiin kuormanohjauksella lieventää ja joustavuutta lisätä. Dynaaminen kuormanohjaus tarvitsee sähkönmyynti- ja sähköverkkoyhtiöiltä toimenpiteitä, jotta se voitaisiin tuotteistaa loppuasiakkaiden käyttöön esimerkiksi ohjaamaan kotitalouksien lämmitystä sähkön hinnan ollessa tarpeeksi alhaalla.

Sähköverkon rakenne on muuttumassa suurten sähkövoimaloiden keskitetystä sähköntuotannosta hajautettuun pientuotantoon. Sähköntuotannossa tarvitaan lisää joustavuutta käytettyihin energialähteisiin, koska hajautetun uusiutuvan energian tuotannon on ennustettu tulevaisuudessa moninkertaistuvan. Sähköntuotannon energialähteiden joustavuus on uusiutuvan energian hyödyntämisen kannalta tärkeää, koska sähköverkkoon ei saa päästää liikaa energiaa ja uusiutuvan energian on pystyttävä korvaamaan muiden energialähteiden tuotantoa. Uusiutuvalla energialähteenä halutaan korvata ainakin ympäristöä saastuttavia fossiilisia polttoaineita ja vähentää ydinvoiman tarvetta. Sähköntuotantoteknologiat lisäävät sähköverkon joustavuutta, mutta niiden kapasiteetit ovat nykyisin riittämättömiä.

Mahdollisissa jatkotutkimuksissa voitaisiin tutkia sähköverkon älykkäiden ominaisuuksien hyödyntämistä esimerkiksi kodin turvajärjestelmien integroinneissa (smart home). Hajautetun sähköntuotannon seurauksena moni asia tulee muuttumaan. Sähkön varastointitekologioita ja niiden kehitystä voisi tutkia paremman sähköntuotannon joustavuuden saavuttamiseksi. Sähkömarkkinoiden palvelumahdollisuuksia voisi tutkia tarkasti pienjänniteverkon moninkertaistuneen mittaustiedon pohjalta. Kysyntäjouston laajamittainen toteuttaminen vaatii eriosapuolten yhteistoimintaa. Jatkotutkimuksena olisi hyödyllistä tutkia miten kysyntäjoustoja joudutettaisiin laajamittaiseen käyttöön vikasietoisemmän sähköverkon saavuttamiseksi.

## LÄHTEET

Aidon Oy, 2012. Oulun Seudun Sähkö: Lifetime costs - the determining factor for system renewal. [Verkkoartikkeli] [Viitattu 19.2.2014] Saatavissa:

[http://www.aidon.com/uploads/files/CaseStudies/Aidon\\_CaseStudy\\_OSS\\_Nov2012\\_en.pdf](http://www.aidon.com/uploads/files/CaseStudies/Aidon_CaseStudy_OSS_Nov2012_en.pdf)

Aidon Oy, 2013, Pienjänniteverkon valvonta: Toiminnallinen kuvaus.

AIE, Solving Poor Power Quality (PQ). [Verkkajulkaisu] [Viitattu 5.2.2014] Saatavissa:

[http://www.aie.eu/files/PDF/AIE\\_Power%20Quality\\_BritEng\\_v3%20AIE.pdf](http://www.aie.eu/files/PDF/AIE_Power%20Quality_BritEng_v3%20AIE.pdf)

Borlase, S. 2012. Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions. United States of America. CRC Press

Boyle, G. 2007. Renewable Electricity and the Grid, London, Earthscan.

Carvalho, A, Cooper, J. 2011. The Advanced Smart Grid: Edge Power Driving Sustainability. Norwood. Artech House.

Consumer Focus, 2012. Benefits and disadvantages of smart meters. [Verkkosivu] [Viitattu 8.10.2013] Saatavissa: <http://www.consumerfocus.org.uk/get-advice/energy/smart-meters-what-are-they-and-how-can-i-find-out-more/benefits-and-disadvantages-of-smart-meters>

Enease Oy, 2007. Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin päivitetty tila. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 6.3.2014] Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/18209/Enease\\_Etaluenta\\_Raportti\\_\(2\).pdf](http://www.tem.fi/files/18209/Enease_Etaluenta_Raportti_(2).pdf)

Energiateollisuus ry, 2005. Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 8.2.2014] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/sahkontoimituksen\\_laatu\\_ ja\\_toimitustapavirheen\\_sovellusohje\\_2005.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/sahkontoimituksen_laatu_ ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2005.pdf)

Energiateollisuus ry, 2011 a. Älyverkko on vastaus yhteiskunnan odotuksiin. [Verkkoartikkeli] [Viitattu 13.10.2013] Saatavissa: <http://energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/alyverkko-vastaus-yhteiskunnan-odotuksiin>

Energiateollisuus ry, 2011 b. Vision for European Electricity Markets in 2030 - Final report. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 7.4.2014] Saatavissa:

[http://energia.fi/sites/default/files/vision\\_for\\_european\\_electricity\\_markets\\_2030\\_0.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/vision_for_european_electricity_markets_2030_0.pdf)

Energiateollisuus ry, 2013 a. Verkon rakenne. [Verkkosivu] [Viitattu 3.9.2013] Saatavissa:

<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/verkon-rakenne>

Energiateollisuus ry, 2013 b. Keskeytystilasto 2012. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 7.4.2014] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/keskeytystilasto\\_2012.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/keskeytystilasto_2012.pdf)

Energiateollisuus ry, 2014. Energiavuosi 2013 Sähkö. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 20.4.2014] Saatavissa: <http://www.slideshare.net/fullscreen/energiateollisuus/energiavuosi-2013-shk/9>

Energiateollisuus ry, Fingrid Oyj, 2012. Mistä lisäjoustoa sähköjärjestelmään? Loppuraportti. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 22.4.2014] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/mista\\_lisajoustoa\\_sahkojarjestelmaan\\_loppuraportti\\_28\\_11\\_2012.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/mista_lisajoustoa_sahkojarjestelmaan_loppuraportti_28_11_2012.pdf)

Enfo Oyj, 2012. Enfon Tiedonvälityspalvelut yhtiötetään Enfo Zender Oy:ksi [Verkkoartikkeli] [Viitattu 20.8.2013] Saatavissa: <http://www.enfo.fi/pressrelease/5238/>

Enfo Oyj, 2014 a. Enfo Lyhyesti. [Verkkoartikkeli] [Viitattu 10.1.2014]. Saatavissa: <http://www.enfo.fi/enfo-group/enfo-lyhyesti/>

Enfo Oyj, 2014 b. Tietotekniikkapalvelut. [Verkkosivu] [Viitattu 10.1.2014] Saatavissa: <http://www.enfo.fi/tietotekniikkapalvelut/>

Enfo Oyj, 2014 c. Talousprosessipalvelut. [Verkkosivu] [Viitattu 10.1.2014] Saatavissa: <http://www.enfo.fi/talousprosessipalvelut/>

Enfo Oyj, 2014 d. InfoNow palvelukuvaus.

Enfo Zender Oy, 2014. Tapahtumienhallintapalvelu.

Farrell, J. 2011. The Challenge of Reconciling a Centralized v. Decentralized Electricity System. [Verkkoartikkeli] [Viitattu 26.4.2014] Saatavissa: <http://www.ilsr.org/challenge-reconciling-centralized-v-decentralized-electricity-system/>

Fingrid Oyj, 2013. Katsaus käyttövarmuuden hallintaan. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 4.2.2014] Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Neuvottelukunta/2013/Katsaus%20k%C3%A4ytt%C3%B6varmuuden%20hallintaan.pdf>

Fingrid Oyj, 2014 a. Voimajärjestelmän tila. [Verkkosivu] [Viitattu 15.4.2014] Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/voimajarjestelman-tila/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj, 2014 b. Suomen sähkövoimajärjestelmä. [Verkkosivu] [Viitattu 12.10.2013] Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Suomen%20s%C3%A4hk%C3%B6voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Sivut/default.aspx>

Fortum Oyj, 2011. Fortumin näkemys älykkäistä verkoista. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 19.1.2014] Saatavissa: <http://www.fortum.com/fi/media/ajankohtaista/kannanotot-ja-vastineet/kannanotot/fortuminnakemysalykkaistaverkoista/pages/default.aspx>

Kamstrup A/S, 2013. Technical description: Kamstrup 162M/382M.

Kilpailuttaja, 2010. Sähkötuotteet eli tariffit. [Verkkosivu] [Viitattu 14.9.2013] Saatavissa: [https://www.kilpailuttaja.fi/palvelut/tuki\\_ja\\_ohjeet/Sahkon\\_hinta\\_ja\\_kilpailuttaminen\\_kilpailuttajafi\\_palvelussa/sahkotuotteet\\_eli\\_tariffit/](https://www.kilpailuttaja.fi/palvelut/tuki_ja_ohjeet/Sahkon_hinta_ja_kilpailuttaminen_kilpailuttajafi_palvelussa/sahkotuotteet_eli_tariffit/)

Löf, N. 2009. Pienjänniteverkon automaattioratkaisuiden kehitysnäkymät. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. [Opinnäytetyö] [Viitattu 9.9.2013] Saatavissa: [http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Lof\\_Niklas\\_julk.pdf](http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Lof_Niklas_julk.pdf)

Matschoss, P. 2013. The German energy transition - Status, challenges and the Finnish perspective. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 2.2.2014] Saatavissa: <http://www.fia.fi/assets/publications/bp128.pdf>

Parempityöelämä, 2013. [Verkkosivu] [viitattu 9.7.2013] Saatavissa: <http://www.parempityoelama.fi/parhaat-tyopaikat/yleinen-sarja/enfo/>

Schipman, K, Delincé, F. The importance Of Good Power Quality. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 4.12.2013] Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/38ceb0497589318fc12577a5003d210c/\\$file/power%20quality%20improvement%20with%20lv%20capacitors%20and%20filters.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/38ceb0497589318fc12577a5003d210c/$file/power%20quality%20improvement%20with%20lv%20capacitors%20and%20filters.pdf)

Staszeky, D., Craig, D., Befus, C., 2005. Advanced Feeder Automation is Here, IEEE power & energy magazine. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 11.4.2014] Saatavissa: [http://www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_037407.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_037407.pdf)

Sähköinfo Oy. 2006. Ratkaisuja sähkön laadun ongelmiin. [Verkkosivu] [Viitattu 4.1.2014] Saatavissa: [http://www.sahkoala.fi/ajankohtaista/artikkeleita/sahkotekniikka/fi\\_FI/sahkon\\_laatu/](http://www.sahkoala.fi/ajankohtaista/artikkeleita/sahkotekniikka/fi_FI/sahkon_laatu/)

Tukes, 2013. Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588. Lainsäädäntö. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 8.12.2013] Saatavissa: <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20130588>

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2008. Sähkön kysyntäjoustop edistäminen [Verkkajulkaisu] [Viitattu 6.4.2014] Saatavissa: [https://www.tem.fi/files/18777/Sahkon\\_kysyntajoustop\\_edistaminen.pdf](https://www.tem.fi/files/18777/Sahkon_kysyntajoustop_edistaminen.pdf)

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2008. Sähkön kysyntäjoustop edistäminen. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 20.3.2014] Saatavissa: [https://www.tem.fi/files/18777/Sahkon\\_kysyntajoustop\\_edistaminen.pdf](https://www.tem.fi/files/18777/Sahkon_kysyntajoustop_edistaminen.pdf)

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2012. Työ- ja Elinkeinoministeriön ehdotus toimenpiteistä sähkönjakelun varmuuden parantamiseksi sekä sähkökatkojen vaikutusten lievittämiseksi. [Verkojulkaisu] [Viitattu 5.12.2013] Saatavissa:

[http://www.tem.fi/files/32354/Muistio\\_TEMin\\_ehdotuksiksi\\_toimitusvarmuudesta\\_16032012\\_final\\_claan.pdf](http://www.tem.fi/files/32354/Muistio_TEMin_ehdotuksiksi_toimitusvarmuudesta_16032012_final_claan.pdf)