

Lauri Lukjanov

PJ-verkon tehonjako ja energian siirto hajaute- tuissa tuotanto-olosuhteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

9.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Lauri Lukjanov PJ-verkon tehonjako ja energian siirto hajautetuissa tuotanto-olosuhteissa 37 sivua + 1 liite 9.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Osmo Massinen
<p>Insinööritöissä selvitettiin pienjänniteverkon tehonjakoon ja energian siirtoon liittyviä asioita hajautetun tuotannon olosuhteissa. Tutkimuksen kohteena oli sähkön pientuotannon ja älykkään sähköverkon tila tällä hetkellä sekä pohdittiin niiden kehityskohteita ja vaikutuksia pienjänniteverkossa.</p> <p>Aluksi käsiteltiin Suomen sähköverkkoa yleisesti ja käytiin läpi sähkön pientuotannon vaatimuksia ja lainsäädäntöä. Seuraavaksi käytiin läpi älykkään sähköverkon kokonaisuutta ja etäluettavien mittareiden tilaa.</p> <p>Lopuksi tutkittiin tarkemmin millaisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa pienjänniteverkon kehitykseen ja sähkön taloudellisuuteen kuluttajalla sekä millaisia vaikutuksia sähkön pientuotanto ja älykkäät ratkaisut tekevät jakelumuuntamoille.</p> <p>Työssä käytettiin lähdemateriaalina erilaisten tutkimustöiden ja yritysten ajankohtaista tietoa sekä muuta kirjallisuutta.</p> <p>Pienjänniteverkko kokee tulevaisuudessa paljon muutoksia ja kehitystä hajautetun tuotannon lisääntyessä ja kuluttajien optimoidessa sähkönkulutustaan erilaisilla ratkaisuilla. Jakelumuuntamoilla joudutaan huomioimaan tulevaisuudessa asiakkaiden oma sähkön tuotanto ja kehittää automatiikkaa ja kestävyttä</p> <p>Työn tuloksena saatiin koottua kokonaiskuva pienjänniteverkon kehityskohteista ja käynnissä olevista hankkeista.</p>	
Avainsanat	pienjänniteverkko, pientuotanto, älykäs sähköverkko, jakelumuuntamo, etäluettava sähkömittari

Author Title	Lauri Lukjanov Low Voltage Network Power and Energy Distribution in Decentralized Generation Circumstances
Number of Pages Date	37 pages + 1 appendix 9 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Osmo Massinen, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was to study low voltage network power and energy distribution in decentralized generation circumstances. This thesis concerns today's situation of small-scale generation of electric power and smart grid in low voltage network, also their effects and targets for development in low voltage network are analyzed.</p> <p>At first we take a look at Finland's distribution network in general and will go through the demands and laws of small-scale generation. Second, the bigger picture of smart grid and the state of smart meters are clarified.</p> <p>Finally, what kind of solutions can be made to improve the development of low voltage network and cost-effectiveness for the end consumers, as well as what kind of effects the small-scale generation of electricity and smart grid solutions have to distribution transformers is clarified.</p> <p>In this thesis, different research papers, current information from companies and other literature were used as a source material.</p> <p>Low voltage network will be facing a lot of changes and development due to increase in distributed generation and optimization of cost-effectiveness by consumers via different solutions. In the future, small-scale generation by consumers has to be taken into account at distribution transformers, as well as the durability and the development in automation. As a result, this thesis gives a general view of areas of development and ongoing projects in low-voltage network.</p>	
Keywords	low voltage network, small-scale generation, smart grid, distribution transformer, smart meter

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkönjakelu Suomessa	1
3	Sähkön pientuotanto ja säädökset	6
3.1	Sähkötuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon	6
3.2	Saarekekäyttö	7
3.3	Hailuoto-hanke	8
3.4	Pientuotanto kuluttajien näkökulmasta	9
3.5	Osuuskunta pientuotannossa	11
4	Älykäs sähköverkko	13
5	Pienjänniteverkon optimointi	16
5.1	Energian mittaus	16
5.2	Kysyntäjousto ja hintaohjaus	17
5.3	Kotiautomaatio	19
5.4	Sähkön varastointi	20
5.5	Verkkotariffien tarkastelu	21
5.6	LVDC-sähkönjakelu	22
6	Jakelumuuntamot	24
6.1	Muuntajakuormitus	24
6.2	Älykkäät muuntajat	26
6.3	IEC 61850 -standardi	26
6.4	Sundom Smart Grid	27
7	Hajautetun tuotannon projektit	28
8	Adaptiivinen liityntä osana Smart Grid-verkkoa	28
9	Pohdintaa	30
	Lähteet	32

Liitteet

Liite 1. Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon

Lyhenteet

AMR	Automatic Meter Reading, etäluettava sähkömittari/älymittari.
EPRI	Electric Power Research Institute, sähkönjakeluun tutkimusta tekevä organisaatio.
ETS	Engineering Tool Software, KNX-standardin käyttöönottojärjestelmä.
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
IUT	Intelligent Universal Transformer, älykäs jakelumuuntaja.
KNX	Kansainvälinen kiinteistöautomaatiostandardi.
LoM	Loss of Mains, tilanne, jossa jakeluverkon syöttö katoaa ja pientuotantolaitos jää syöttämään sähköä verkkoon.
LVDC	Low Voltage Direct Current, pienjännitetasavirta.
PJ	Pienjännite, pienjänniteverkossa käytettävä jännitetaso.
V	Voltti, jännitteen yksikkö.
VA	Voltiampeeri, näennäistehon yksikkö.

1 Johdanto

Sähkönjakeluverkko kehittyi Suomessa kovaa vauhtia. Kanta- ja keskijänniteverkon toiminnan hallinta ja kehitys on pitkällä, mutta varsinkin kuluttajien oman sähköntuotannon ja älykkäiden sähköjärjestelmien nopea kehitys ja käyttöönotto tuovat uusia haasteita pienjänniteverkkoon. Tällä hetkellä huomataan pienjänniteverkon nopean kehittämisen tarve tämän päivän tarpeisiin.

Työssä käydään läpi pienjänniteverkossa tapahtuvaa sähkön pientuotantoa ja älykkään sähköverkon toimintaa. Tarkoituksena on selvittää pientuotannon ja älykkään sähköverkon tilaa, vaatimuksia ja toimintoja. Työn edetessä kuvataan erilaisia tapoja, joilla voidaan vaikuttaa pienjänniteverkon kuormitukseen ja kuluttajan mahdollisuuksiin vaikuttaa sähkön käyttöönsä. Työn pääasiallisena aineistona on käytössä lähivuosina suoritettuja yliopistojen ja yritysten tutkimuksia sekä hankkeita. Lopuksi saadaan yleiskäsitys siitä, kuinka pienjänniteverkko on uudistumassa.

2 Sähkönjakelu Suomessa

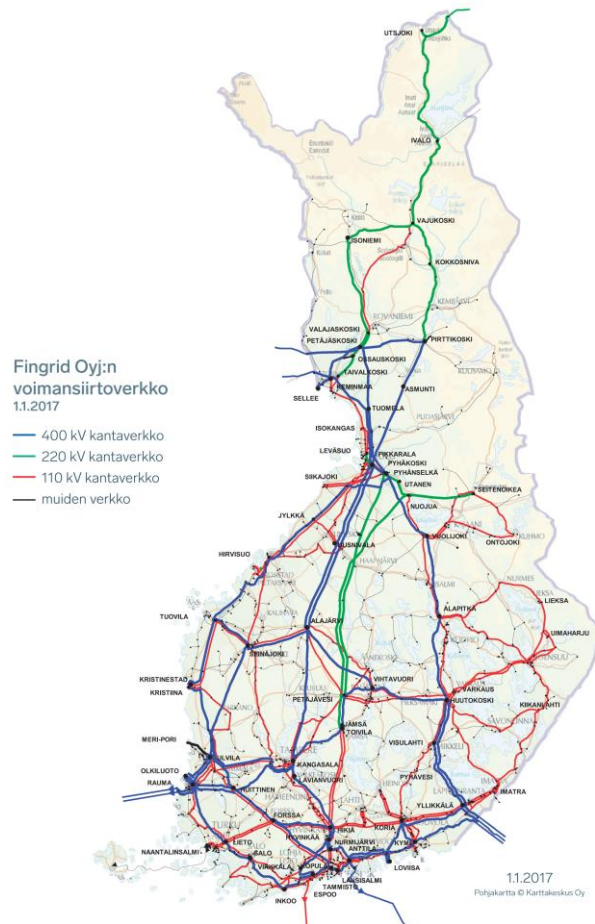
Suomen sähkönjakelu koostuu voimalaitoksista sekä kolmesta verkon osa-alueesta: kantaverkosta, keskijänniteverkosta ja pienjänniteverkosta [1].

Kantaverkko

Kantaverkon voimajohdot jakavat sähköä 400:n, 220:n ja 110 kilovoltin jännitteillä. Verkkoon kuuluu voimalaitoksien, tehtaiden ja jakeluverkkojen sähkönsiirto. [1.]

Fingrid Oyj omistaa ja hallitsee Suomen kantaverkkoa. Sen vastuulla on mm. valvoa, kehittää ja ylläpitää verkkoa. Pitkien siirtoyhteyksien takia kantaverkossa tarvitaan suuria jännitetasoja. Kantaverkolla on pituutta 14400 kilometriä ja 116 sähköasemaa. [1.]

Kuva 1 näyttää kantaverkon koko Suomen alueella.



Kuva 1. Fingrid Oyj:n omistama kantaverkko [49].

Kantaverkon varma toiminta on edellytys kaikelle sähkön käytölle. Fingrid on vastuussa sähkön tehotasapainosta Suomessa. Sähkön tuotantoa ja -kulutusta seurataan koko ajan, ja tärkeintä on pitää sähköverkon 50 Hz:n taajuus vakaana. [2.]

Sähköverkon erilaiset reservit pitävät huolen, että tehotasapaino säilyy. Käyttö- ja häiriö-reservit on mahdollista jakaa vielä taajuusohjattuihin ja manuaalikäynnisteisiin reserveihin, riippuen aktivointiajoista. [2.]

Keskijänniteverkko

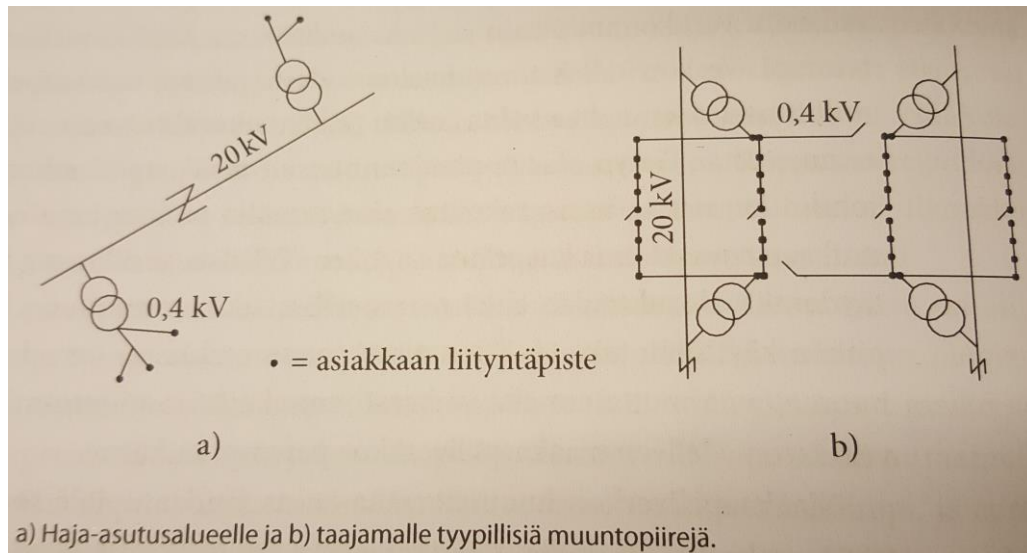
Suomen keskijänniteverkko on yleensä 20 kV, joskus käytetään myös 10 kV jännitetasoa. Keskijänniteverkko luo toimivan jakelujärjestelmän 110 kV:n verkon ja sähköasemien kanssa. [3, s. 125.]

Keskijänniteverkko on todella tärkeä osa myös kuluttajien pienjänniteverkon toiminnalle, sillä jopa yli 90 % sähkökäyttäjien katkoista tulee keskijänniteverkon vioista. Sähkönjakelun ongelmatilanteissa kantaverkossa tai sähköasemilla, keskijänniteverkko on tärkeä varayhteyksien tarjoaja. Keskijänniteverkkoa käytetään säteittäisenä siitä huolimatta, että monesti verkon toteutus on silmukoitu. [3, s. 125.]

Pienjänniteverkko

Jakelumuuntamalla keskijänniteverkon jännite muunnetaan yleensä 400 V:n tasolle, jolla syötetään pienjänniteverkkoa. PJ-verkon vikavirta- ja ylikuormitussuojat sijaitsevat jakelumuuntamalla. Pienjänniteverkkoja käytetään tavallisesti säteittäisinä verkkoina. Säteittäisen verkon toteutus ja suojaus ovat yksinkertaisempia verrattuna silmukkaverkkoon, mutta käyttövarmuus ja tehohäviöt ovat vastaavasti heikompia. [3, s. 157–158; 4.]

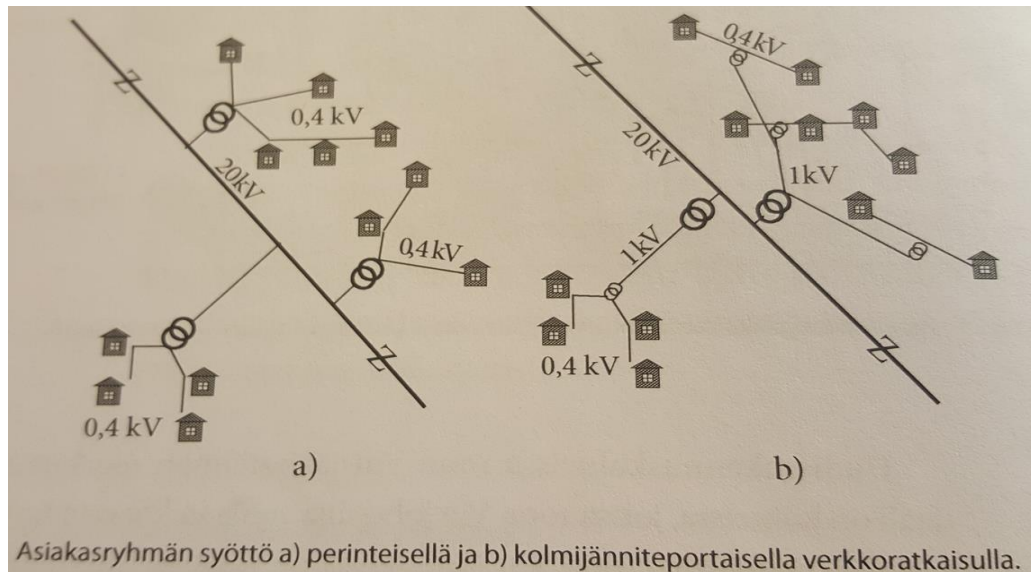
Kuvassa 2 esitetään pienjänniteverkon muuntopiirejä. Haja-asutusalueilla on erilaiset tarpeet verrattuna taajamien muuntopiirien pienjänniteverkkoihin. Haja-asutusalueilla on yleensä paljon alueita, joissa ei ole asutusta ja asiakasmäärät muuntopiireille ovat pieniä. Tästä johtuen häiriötilanteiden vaikutukset kohdistuvat vain yhteen tai korkeintaan yksittäisiin talouksiin. Tätä silmällä pitäen verkon silmukointi ei ole kannattavaa. [3, s. 162.]



Kuva 2. Pienjänniteverkon muuntopiirejä [3, s. 162].

Taloudellisinta on muodostaa verkko, josta runkojohdolta lähtee haarat säteittäisesti. Poikkeustilanteita myös löytyy, esimerkiksi tilanteet, joissa käytetään suuritehoisia laitteita. Tämä voi aiheuttaa nopeita kuormitusvaihteluita, jolloin kyseisissä tilanteissa vaaditaan oma syöttöjohto muuntamolta. [3, s. 162.]

Suomessa on myös käytössä yhden kilovoltin jakelujärjestelmä pienjänniteverkkoon (ks. kuva 3). Järjestelmä on käytännöllinen tilanteissa, joissa vähässä käytössä olevat tai muuten vioille alttiit keskijännitejohdot voidaan muuttaa edullisesti yhden kilovoltin järjestelmäksi. [3, s. 168 – 169.]



Kuva 3. Perinteinen ja 1 kV:n verkko [3, s 170].

Yhden kilovoltin järjestelmällä saadaan vikojen määrät ja vaikutusalueet pienemmäksi, koska vikatilanteista ei aiheudu vaikutuksia muille keskijännitteen syöttöalueella oleviin asiakkaisiin. [3, s. 168 – 169.]

Sähkön laatuominaisuudet

”Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet”-standardissa SFS-EN 50160 annetaan ohjeet pienjänniteverkon jakelujännitteen ominaisuuksista.

Nimellijännite 230 V tulee olla normaalisti 207 – 253 voltin ($\pm 10\%$) sisällä, kun katsotaan 10 minuutin mittausjaksoja. Jännitteen keskiarvon tulee olla 95 % ajasta edellä mainitun marginaalin sisällä. [5.]

Nimellistaajuuden tulee olla 50 Hz. Normaalitilanteissa yhteiskäyttöverkoissa keskiarvon täytyy 10 sekunnin aikavälillä olla $\pm 1\%$ vuodesta nimellistaajuudella tai vastaavasti $+4\%$ / -6% nimellistaajuudesta koko ajan. Erillisverkoissa tilanne on $\pm 2\%$ viikosta tai $\pm 15\%$ koko ajan. [5.]

Hajautetun sähköntuotannon kasvusta johtuen mielenkiinto saarekekäytön (ks. kpl 3.2) käyttömahdollisuuksia kohtaan nousee ja tämän takia sähkön laadun ylläpito kokee haasteita muun muassa taajuuden tasapainossa [3, s. 252].

3 Sähkön pientuotanto ja säädökset

Sähkömarkkinalaissa 588/2013 [6.] tarkoitetaan: ”Pienimuotoisella sähköntuotannolla voimalaitosta tai usean voimalaitoksen muodostamaa kokonaisuutta, jonka teho on enintään kaksi megavolttiampeeria.”

Pientuotannon eri määritelmät riippuvat yleensä tuotantolaitoksen nimellis- ja maksimi-tehoista. Esimerkiksi sähkön mikrotuotannolla tarkoitetaan omaan käyttöön ensisijaisesti otettua sähköntuotantoa. Verkkoon syöttäminen on yleensä vähäistä ja epäsäännöllistä. Mikrotuotannon tehon rajaksi on tällä hetkellä yleensä otettu 100 kVA:n raja. [7; 8.]

Yleisimmät tavat tuottaa sähköä pientuotannolla ovat aurinkoenergia, tuulivoima, vesivoima sekä pienimuotoinen yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto ja biokaasu [8].

3.1 Sähköntuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon

Tärkein prioriteetti on varmistaa, että tuotantolaitoksen turvallisuus ja häiriöttömyys toteutuu, kun pientuotantoa liitetään yleiseen sähköverkkoon. Jotta tuotantolaitoksesta ei aiheudu ongelmia tai jopa laitteiden rikkoutumisia, täytyy niiden täyttää tiettyjä vaatimuksia. [9.]

Pientuotanto ei saa olla kytkettynä yleiseen verkkoon, jos jännite- ja taajuusarvot eivät jää annettujen asetuksien alle. Standardin SFS-EN 50438 ”Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille” perusteella annetaan taulukon 1 mukaiset arvot. [7.]

Taulukko 1. Pientuotannon toiminta-ajat ja asetteluarvot jännitteelle ja taajuudelle [50].

Parametri	Toiminta-aika s	Asetteluarvo
Ylijännite	0,2	$U_n + 10 \%$
Alijännite	0,2	$U_n - 15 \%$
Ylitaajuus	0,2	51,5 Hz
Alitaajuus	0,2	47,5 Hz
Saarekekäytönestosuojaus (LoM) ^{a)}	Toiminta-aika enintään 5 s	
<p>^{a)} Saarekekäytönestosuojauksen (LoM) on perustuttava tunnettuun tekniikkaan, joka soveltuu jakeluverkon suojaukseen.</p> <p>HUOM. Mikrogeneraattorin erottamisen verkosta on tapahduttava mekaanisia koskettimia käyttäen. Tämän mekaanisen katkaisijan on oltava lukittava erotuskytkin.</p>		

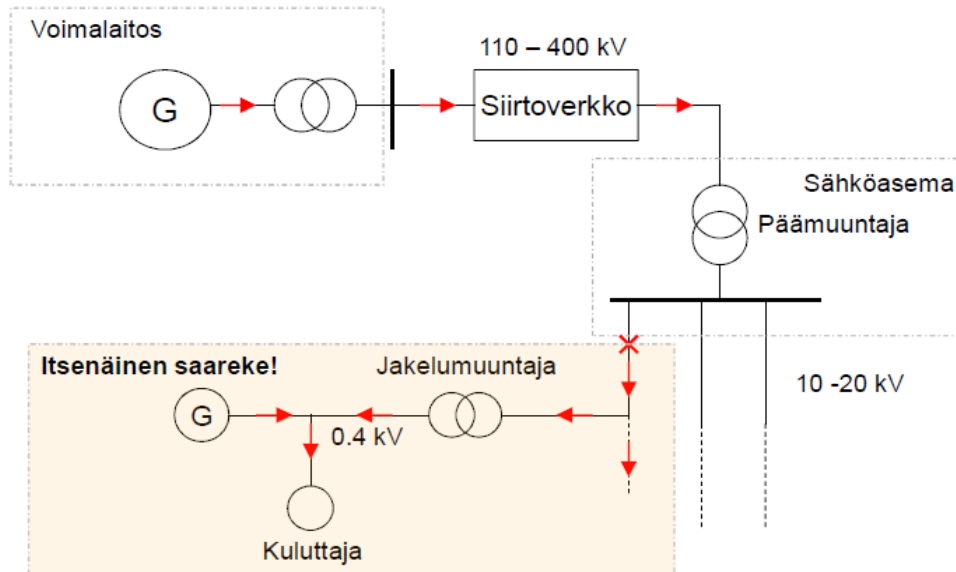
Taulukon 1 arvot ovat standardin SFS-EN 50438 perusteella Suomelle annetut maakohtaiset arvot alle 100 kVA:n laitteistossa, jotka voivat myös vaihdella verkonhaltijan taholta tilanteesta riippuen [7].

Tuotantolaitteiston on pystyttävä olemaan verkossa 47,5 – 49 Hz:n ja 51 – 51,5 Hz:n taajuusalueilla 30 minuuttia. Jos taajuuden suurin muutosnopeus jää alle 2 Hz/s, tuotantolaitteiston täytyy jatkaa normaalia toimintaa LoM–suojuuksesta (Loss of Mains) huolimatta. [9.]

Liitteessä 1 nähdään Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake, jolla ilmoitetaan kaikki oleelliset tiedot verkkoyhtiölle luvan saamiseksi oman sähköntuotannon aloittamiseen.

3.2 Saarekekäyttö

Saarekekäytöllä tai toisin sanoen LoM-tilanteella (Loss of Mains) tarkoitetaan tilannetta, jossa jakeluverkon sähkönsyöttö ja yhteys katoaa, ja pientuotantolaitos jää syöttämään sähköä (ks. kuva 4). Tätä pitää välttää, varsinkin verkon huollon työturvallisuuden takia. Jotta kyseistä tilannetta ei pääsisi syntymään, tarvitaan suojaus pientuotannon irrottamiseksi jakeluverkosta siihen asti, että jakeluverkko-operaattori saa verkon takaisin normaaliin toimintaan. [7.]



Kuva 4. Saareketilanne PJ-verkossa [51].

Saarekekäytön saaminen osaksi pienjänniteverkon toimintaa parantaisi sähkön jakeluvarmuutta. Jos varsinainen jakeluverkko on pois käytöstä vian tai muun syyn takia, pien-tuotannolla voitaisiin taata sähkönjakelun jatkuminen.

3.3 Hailuoto-hanke

Hailuoto on noin tuhannen asukkaan saari Perämerellä, Oulun länsipuolella.

Hailuoto-hankkeen tarkoitus on poistaa riippuvuus valtakunnanverkosta, kun sähkön jakelu on estynyt. Tässä tilanteessa halutaan hajautetun tuotannon toimivan saarekkeena, jolloin sähkön käyttö voisi jatkua esimerkiksi itse tuotetulla sähköllä. Hanke on käynnistynyt 2010-luvulla ja yhteistyökumppaneina toimii ABB, Vattenfall, Tampereen teknillinen yliopisto ja Vaasan yliopisto. [10.]

Tehotasapainon saavuttaminen on suurimpia haasteita, kuorma ja tuotanto on saatava pidettyä yhtä suurena. Hajautetun verkon automatiikka ja suojaus vaativat uuden teknologian kehitystä, jotta saarekekäyttö pystytään toteuttamaan. [10.]

3.4 Pientuotanto kuluttajien näkökulmasta

Ennen pientuotantolaitoksen rakentamista ja käyttöönottoa on otettava huomioon lainsäädännöstä ja kuluttajalle kuuluvista velvollisuuksista. Tietoa kannattaa hakea muun muassa lupa-asioista, tuista, verotuksesta, verkon vaatimuksista ja sähkön myynnistä. [11.]

Lainsäädäntö ja verotus

Sähköverovelvollisuuden piiriin kuuluvat yleensä sekä verkonhaltijat että sähköntuottajat. Verotettavan sähkön takia mittaaminen on oleellista ja lainsäädäntö tältä osin tärkeää. Pientuotannon mittaus perustuu tuntimittaukseen ja etäluentaan. Jos pientuottaja syöttää ylimääräistä sähköä verkkoon korvausta vastaan, tulot kuuluvat verotuksen piiriin. [12; 13.]

Kotitalouden pientuotanto ei ole verotuksen näkökulmasta elinkeinotoiminnan tai maatalouden harjoittamista ja tämän takia kotitalouden pientuotantoa verotetaan tuloverolain (1535/1992) mukaan [15].

Sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteveron (1260/1996) mukaisesti sähköveroa ei tarvitse maksaa, mikäli pienimuotoinen sähköntuotanto on enintään 100 kVA [14]. Pientuotannon ja sähkön myynnin ollessa suurta, tuloja verotetaan elinkeinotulon verottamisesta laaditun lain (360/1968) mukaisesti [15].

Valtioneuvoston asetus sähkömarkkinoista (65/2009) ja sen pykälä 5 kertoo, että jakeluverkonhaltija ei saa veloittaa keskimäärin yli 0,07 senttiä kilowattitunnilta vuodessa pientuottajalta [60].

Sähkömarkkinalakiin (588/2013) on jätetty maaliskuussa 2017 esityksen 105a §:n lisäämisestä lakiin:

Tariffin hinnoitteluperusteena käytettävän ajanjakson ylitse lasketaan vain nettomääräisesti siirtyvän sähkön määrä sähkön sen hetkisen markkinahinnan mukaan. Pientuottajan verkkoon syöttämä sähkö hyvitetään pientuottajalle mukaan lukien sähkön siirtokustannukset ja verot. [16.]

Lakimuutoksella haetaan oikeudenmukaisempaa laskutusta sähköverkon haltijan ja sähkön pientuottajan välillä ja pientuottajat saisivat tuottamalleen sähkölle paremmin vastinetta.

Tuet

Tuloverolain mukaan pientuottaja saa kotitalousvähennystä verotuksesta käyttämässään asunnossa tehdystä maksetusta työstä. Tämän takia esimerkiksi aurinko- tai tuuli-voimalan rakentamisesta maksetusta korvauksesta verovelvollinen on oikeutettu kotitalousvähennykseen. Jos verovelvollinen myy yli puolet tuottamastaan sähköstä kotitalousvähennystä ei myönnetä, sillä laitteiston katsotaan olevan hankittu tulojen tekemistä varten kotitaloudelle. [15.]

Työ- ja elinkeinoministeriö voi myöntää energiatukea yrityksille, kunnille ja eri yhteisöille, jotka ovat mukana ilmasto- ja ympäristömyönteisissä hankkeissa. Tällaisia hankkeita ovat esimerkiksi uusiutuvan energian tuotantoon ja käyttöön sekä energiansäästöön ja ympäristöhaittojen vähentämiseen liittyvät hankkeet. [17.]

Kuntien ja yritysten on tällä hetkellä järkevää investoida esimerkiksi aurinkoenergiaan monien tukien ansiosta. Työ- ja elinkeinoministeriö voi myöntää 25 prosentin energiatuen ja energiaperusteiset siirtomaksut voidaan välttää, mikäli kyseessä on omaan käyttöön tuotettu sähkö. Sähköverot ovat myös vältettävissä jos omaan käyttöön tarkoitettu tuotanto jää 100 kW:iin tai 800 MWh:iin/v asti. [18.]

Energiatuen kohdalla on huomioitava, että tuen piiriin eivät kuulu yksityishenkilöt, taloyhtiöt ja asukasosuuskunnat. Tämä on nykykehityksen valossa ongelmallista, koska esimerkiksi aurinkoenergian pientuotanto on kovaa vauhtia tulossa entistä ajankohtaisemmaksi myös pienemmässä mittakaavassa kuluttajien keskuudessa. [19.]

Verkonhaltija ja sopimukset

Lähtökohtaisesti kenellä tahansa on oikeus syöttää sähköä verkkoon, mikäli tuotantolaitos täyttää vaadittavat vaatimukset ja tuottaja on hankkinut ostajan verkkoon tuottamalle sähkölle. Ennen tuotantolaitoksen verkkoon kytkentää tarvitaan sähköverkonhaltijan lupa ja tuotannon liittymissopimus. Jos verkkonhaltija haluaa, voidaan pienemmät laitokset liittää verkkoon myös yleisellä kulutuskohteen liittymissopimuksella. [20.]

Liittymissopimuksessa käsitellään muun muassa liittämiskohtaa ja -maksua, tuotantolaitoksen käyttöä ja suojausta sekä erilaisia raja-arvoja [20].

Verkkopalvelusopimus voidaan tehdä liittymissopimuksen astuttua voimaan. Sopimukseen kuuluu esimerkiksi mittauksen ja kustannusten korvausten käsittely, sähköturvallisuus, sähkön laadun takaaminen ja muita sähkön siirtoon liittyviä asioita. [20.]

Sähköä myytäessä sähkön tuottaja sopii sähkönmyyntisopimuksessa sähkön hinnasta, toimituksen määrästä ja tasehallinnasta. [20.]

3.5 Osuuskunta pientuotannossa

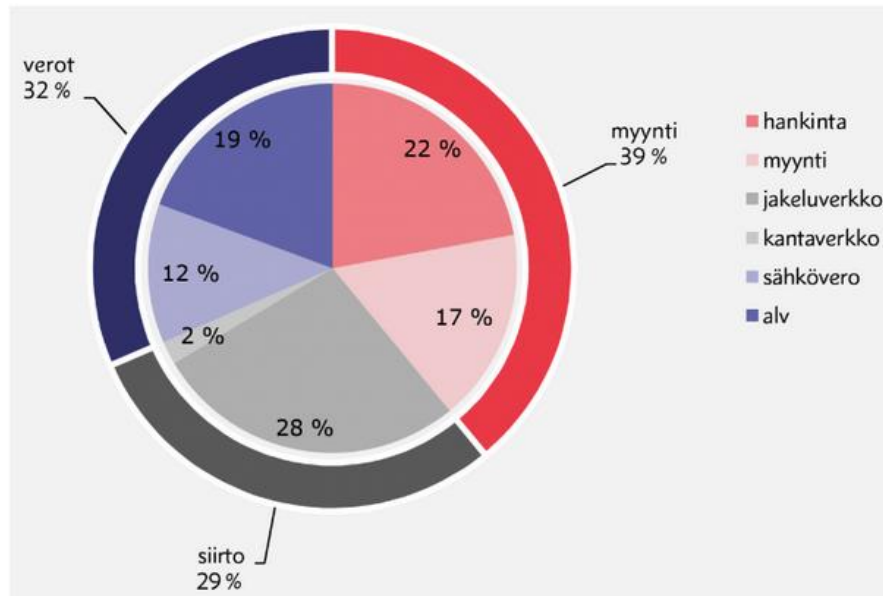
On hyvä pohtia mallia tukemaan pienenergiantuotantoa Suomen olosuhteissa. Hyvä vaihtoehto pientuotannon kasvuun voisi olla osuuskuntamuotoinen malli, joka voisi sopia hyvin esimerkiksi kerrostaloalueelle.

Osuuskunnalla tarkoitetaan yhtiömuotoa, jossa jäsenistön talouden tai elinkeinon tukeminen suoritetaan jäsenien käyttäessä osuuskunnan palveluita. Osuuskunnan johtoon kuuluu hallitus, joka koostuu 1 – 5 henkilöstä. Hallituksen jäsenmäärän ollessa vähemmän kuin kolme henkilöä tarvitaan ainakin yksi varajäsen. Osuuskunnan jäsenet ovat samanlaisessa asemassa verrattuna osakeyhtiön osakkeenomistajiin. [22.]

Osuuskuntamallin mahdollisuudet kasvavat erityisesti aurinkosähkön saralla, sillä sähkön tuotannossa haetaan päästöttömiä ratkaisuita ja ulkomaisen energian oston kasvaessa päästäisiin lähemmäs energiaomavaraisuutta. Jotta energiantuotanto saadaan jaettua tasaisesti jäsenien kesken, tarvitaan AMR-mittarointia (Automatic Meter Reading). Sopivia mittarointitapoja voisivat olla takamittarointi tai virtuaalimittarointi. [21.]

Takamittaroinnissa toteutettaisiin mikroverkko taloyhtiön kaikille osakkaille tai osalle yhtiön osakkaista. Mallissa olisi vain yksi mittari sähköyhtiön suuntaan. Tuotanto ja kustannukset hoituvat siten, että osuuskunta mittaa ja laskuttaa jäseniä sen mukaan kuinka paljon kulutetaan. Virtuaalimittaroinnissa tuotantolaitos kytketään verkkoon siten, että sähkö tulee asukkaiden mittareille yleisen jakeluverkon puolelta. Tämä on tällä hetkellä huono asia kustannuksia silmällä pitäen, sillä tuotannosta jouduttaisiin maksamaan verot ja siirtomaksu. [21.]

Lainsäädännössä on kehittämisen varaa, jotta ihmiset saadaan kannustettua sijoittamaan omaan energian tuotantoon. Erityisesti siirtohintojen korkeat hinnat, kuten kuvasta 5 nähdään, ovat suuressa roolissa investoinneissa.



Kuva 5. Sähkön kuluttajahinnan jakautuminen [52].

Innovaatioprojektissa [21.], jossa selvitettiin aurinkosähkön vaikutuksia pienjänniteverkkoon osuuskunnassa, saatiin päätelmiksi, että isompi tuotantojärjestelmä mahdollistaa työ- ja elinkeinoministeriön tukien avulla kohtuullisen takaisinmaksuajan. Joidenkin tuotantojärjestelmän komponenttien, kuten akustojen, ollessa vielä kalliita on kannattavaa perustaa pientuotantoa osuuskunnan muodossa. [21.]

Saksa on hyvä esimerkkitaapaus energiaosuuskuntamallista, maassa on ollut jo yli 100 vuotta energiayhtiöitä, jotka ovat osuuskuntamuotoisia. Kansalaisomisteiset osuuskunnat ovat olleet roolissa teknologian ja innovaatioiden kehityksessä tavallisten kansalaisten parissa. Yksityishenkilöt ja pääasiassa kansalaisomisteiset osuuskunnat omistavat jopa 40 % uusiutuvasta energiantuotannosta Saksassa. Tämä on merkittävä ero Suomeen verrattuna, jossa ollaan aivan alkutaipaleella tässä asiassa. [23.]

4 Älykäs sähköverkko

Älykäs sähköverkko (Smart Grid) tarjoaa yhteyden sähkön tuottajien ja kuluttajien välille. Se perustuu säätölaitteisiin, tietokoneisiin, automatiikkaan ja uudenlaisiin teknologioihin, jotka toimivat yhteistyössä muodostaen toimivan kokonaisuuden sähköverkolle. Älykäs sähköverkko mahdollistaa tuotannon ja kulutuksen tasapainottamisen. [24.]

Kansainvälinen energiajärjestö (IEA) määrittelee älykkään verkon lyhyesti seuraavasti:

Älykkäät sähköverkot ovat verkkoja, jotka hallitsevat ja ylläpitävät sähkön siirtoa kaikista tuotannon lähteistä, jotta loppukäyttäjien vaihtelevat vaatimukset sähkölle täyttyvät. Ne ovat, jatkossakin käytössä erilaisissa tilanteissa maailmanlaajuisesti, riippuen paikallisesta kaupallisesta kiinnostavuudesta, yhteensopivuudesta nykyiseen teknologiaan, kehityksen sääntelystä ja investointien rakenteista. [25.]

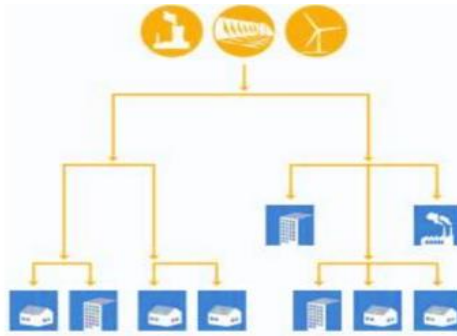
Älykäs sähköverkko liittyy nykyään entistä enemmän uusiutuvaan energian tuotantoon mukaan lukien sähkön pientuotanto. Kuluttajien puolella mahdollistetaan muun muassa energian varastointi ja energian hyödyntäminen sähköisiin ajoneuvoihin. [24.]

Älykäs sähköverkko tarjoaa paljon hyötyjä sähköjakelulle:

- tehokkaampi sähköjakelu
- häiriötilanteista palautuminen on nopeampi
- pienemmät käyttö- ja ylläpitokustannukset sähköntarjoajille ja tätä kautta halvemmat kulut kuluttajille
- pienempi sähkön kulutushuippu
- parempi yhteensopivuus uusiutuvan energian tuotannon kanssa [24.]

Älykkäässä sähköverkossa energiantuotanto monipuolisempaa, sillä se on keskitettyä sekä hajautettua. Kotitaloudet saadaan tuotannon osaksi ja tehovirtaukset liikkuvat mo-
neen suuntaan, jolloin sähköjakelun varmuus kasvaa. Käyttö on reaaliaikaisen tiedon
mukaista ja kulutus on helpommin hallittavissa. Kuva 6 havainnollistaa älykkään sähkö-
verkon eroja perinteiseen verkkoon verrattuna. [26.]

Perinteinen sähköverkko



Älykäs sähköverkko



Kuva 6. Perinteisen ja älykkään sähköverkon vertailua [26].

Sähköverkon ja teknologian kehittyessä verkonhaltijan on oltava ajan tasalla uusien määräysten kanssa. Vuonna 2013 Suomen hallituksessa päätettiin uudesta sähkömarkkinalaista (588/2013), jolla taataan verkon pysyminen tämän päivän vaatimuksien ja kehityksen tasolla [6].

Pykälän 19 mukaan sähköverkko on suunniteltava ja rakennettava ja sitä on ylläpidettävä siten, että:

- Sähköverkko täyttää sähköverkon toiminnan laatuvaatimukset ja sähkönsiirron sekä -jakelun tekninen laatu on muutoinkin hyvä;
- Sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat luotettavasti ja varmasti silloin, kun niihin kohdistuu normaaleja odotettavissa olevia ilmastollisia, mekaanisia ja muita ulkoisia häiriöitä;
- Sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat mahdollisimman luotettavasti normaaliolojen häiriötilanteissa ja valmiuslaissa (1552/2011) tarkoitetuissa poikkeusoloissa;

- Sähköverkko toimii yhteensopivasti sähköjärjestelmän kanssa ja se voidaan tarvittaessa liittää yhteen toisen sähköverkon kanssa;
- Sähköverkkoon voidaan liittää vaatimukset täyttäviä käyttöpaikkoja ja voimalaitoksia;
- Verkonhaltija kykenee muutoinkin täyttämään sille kuuluvat tai tämän lain nojalla asetetut velvollisuudet.

Sähköverkkojen sähköturvallisuudesta säädetään erikseen. [6.]

Etäluettavat sähkömittarit

Sähkön mittaaminen on muuttunut menneen vuosikymmenen aikana paljon. Aikaisemmin mittaus ja laskutus ovat perustuneet vuosienergian perusteella arvioituun laskutukseen ja vuoden välein mittarin luennan jälkeen suoritettuun tasauslaskutukseen. AMR-mittareihin (Automatic Meter Reading) siirtyminen on kuitenkin muuttanut tämän tavan.

Uusiin etäluettaviin mittareihin siirtyminen alkoi vuonna 2009 sähkömarkkinalain perusteella. Energiateollisuus ry selvitti vuoden 2013 aikana verkonhaltijoilta mittausuudistuksen etenemistä. Vastausten perusteella saatiin tieto yli 3,2 miljoonasta sähkönkäyttöpai- kasta pienjänniteverkossa. Tämä tarkoitti noin 96 prosenttia kaikista sähkönkäyttöpai- koista. [27.]

Vuoden 2014 vaihteessa selvisi, että vastanneiden perusteella jopa 97 prosenttia Suomen sähkönkäyttöpai-koista oli jo uuden tuntimittausperusteisen mittauksen piirissä. [27.]

Uudet mittarit tarjoavat seuraavanlaisia kehittyneitä ominaisuuksia ja hyötyjä:

- etäluennan takia mittaustiedon siirto kustannustehokkaampaa
- energian mittaaminen tietyssä mittauspisteessä tuotetussa energiassa, pientuotannon käyttömahdollisuuksien parantuminen
- mahdollisuus ohjelmistolla päivitykseen
- kulutustietojen tallentaminen
- mahdollisuus mm. yli- ja alijänniteiden sekä jännitekuoppien mittaukseen

- sähköturvallisuuden ylläpito valvonnalla ja hälytyksellä. [27.]

Valtioneuvosto päivitti vuoden 2016 keväällä asetusta sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Asetukset 66/2009 ja 217/2016 antaa seuraavia määräyksiä sähkön mittaukseen:

- Nimellisteholtaan enintään 100 kVA:n sähköntuotantolaitteisto ei tarvitse erillistä mittauslaitteistoa jos sähkönkäyttöpaikka on tuntimittauslaitteiston piirissä, jolla voidaan mitata sähköverkosta otettua ja siihen syötettyä sähköä.
- Sähkönkulutuksen ja pienimuotoisen sähköntuotannon mittauksen tulee perustua tuntimittaukseen ja mittauslaitteiston etäluentaan (tuntimittausvelvoite)
- Mittauslaitteiston rekisteröimä tieto tulee voida lukea laitteiston muistista viestintäverkon kautta (etäluentaominaisuus)
- Sähkönkäyttöpaikan tuntimittauslaitteisto on luettava vähintään kerran vuorokaudessa. [28.]

5 Pienjänniteverkon optimointi

5.1 Energian mittaus

Energian mittaustekniikassa on paljon kehittämisen varaa, vaikka Suomessa onkin siirtynyt älykkäisiin etäluettaviin mittareihin. Tulevaisuudessa asiakkaan merkitys kasvaa entisestään, sillä energiamarkkinoilla on tapahtumassa murrosta.

Elenia Oy on rakentamassa tällä hetkellä sähköverkkoonsa uuden sukupolven älymittausjärjestelmää. Yhteistyötä hankkeessa tehdään Soneran ja Aidon Oy:n kanssa. Uudet mittarit tarjoavat asiakkaille entistä reaaliaikaisempaa tietoa. Sähkönkulutus- ja tehoinformaatio on ajantasaista ja mittausjakso lyhenee vain 5 – 15 minuuttiin. Mittarit on myös tarkoitus saada osaksi kotitalouksien kotiautomaatiota. [29.]

Sähkön tuotantorakenteen muuttuminen ja älykkään sähköverkon kehittyminen aiheuttaa muutoksia sähkömarkkinoille ja -järjestelmään. Tämä nähdään muun muassa uusien energiamuotojen, kuten aurinko- ja tuulivoiman lisääntymisenä. Oma pientuotanto

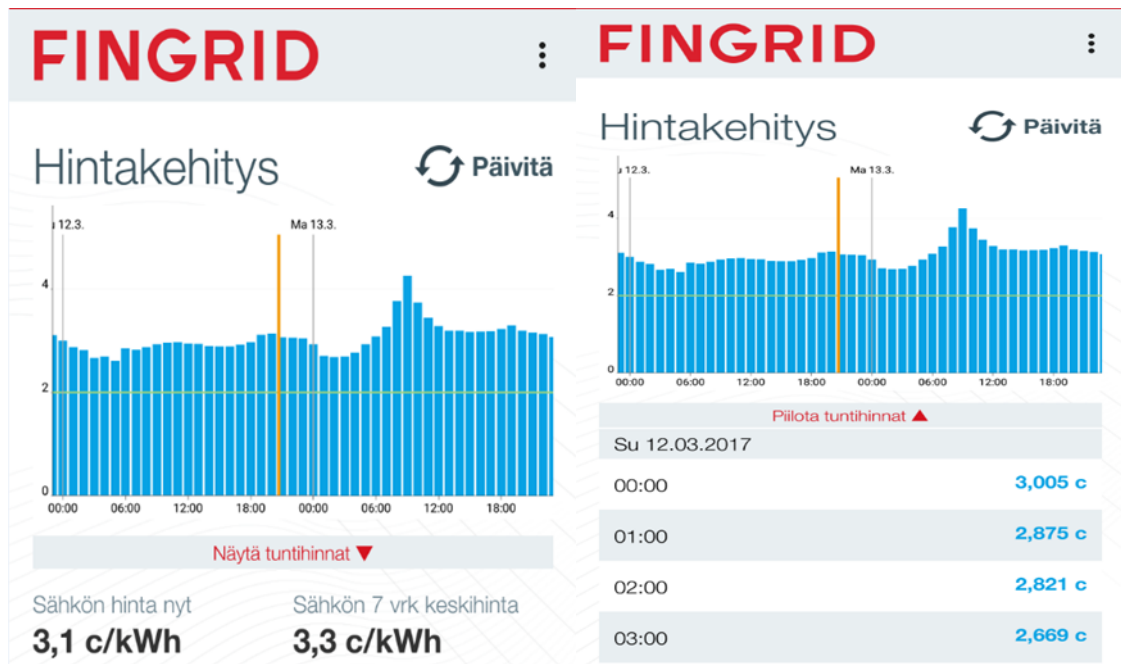
voi aiheuttaa tuotantopiikkejä ja esimerkiksi talvella lämmityksestä aiheutuu kulutuspiikkejä. Sähköjärjestelmä vaatii kehitystä, jotta verkon kehittymisestä aiheutuvat ilmiöt saadaan kuriin ja sähköjärjestelmän ylläpito tasapainoon. [29.]

Älykäs sähköverkko helpottaa kuluttajien osallistumista kysyntäjoustopaikoille. Uuden sukupolven mittarit tarjoavat lähes reaaliaikaisen yhteyden sähkömittarille, jolloin asiakkaiden kanssa pystytään takaamaan energian riittävyys huippukulutuksen aikana. [29.]

5.2 Kysyntäjousto ja hintaohjaus

Kun sähkökäyttöä siirretään tai vähennetään korkean kulutuksen hetkinä halvempaan ajankohtaan tai muuttuneen tehotasapainon hallintaan, puhutaan kysyntäjoustopaikoista. Ajankohtina, jolloin joustamaton tuotanto, kuten ydinvoima ja uusiutuvan energian tuotanto kasvaa verkossa, tarve kysyntäjoustopaikoille lisääntyy. [30.]

Kysyntäjoustopaikoita voi käyttää hyväksi jos kotitaloudesta löytyy Spot-hintaan perustuva sähkösopimus. Spot-hinnalla tarkoitetaan jokaiselle vuorokauden tunnille määräytyvää hintaa Pohjoismaisessa Nord Pool-sähköpörssissä. Spot-hinnat voi tarkastaa jo etukäteen seuraavalle vuorokaudelle ja esimerkiksi mobiililaitteille saa sovelluksen (ks. kuva 7), jolla voi seurata hintojen kehitystä. [31.]



Kuva 7. Fingrid Oyj:n Tuntihinta-mobiilisovelluksen kuvakaappaukset.

Sähkön myyjät ovat yleensä tarjonneet asiakkaille tariffeja, joissa sähkön hinta on kiinteä. Tämä saattaa olla usein sähkön myyjille turvallisempaa, jos sähkömarkkinoilla tapahtuu äkillisiä muutoksia ja muodostuu hintapiikkejä. Spot-hintoihin sidotut sähkösovimukset voivat tarjota monesti paremman kokonaishinnan kuluttajille. Sähkölämmitteiset talot ovat Suomessa yleensä tarifoitu kaksi- tai kolmiaikatariffiin. Koska arkisin päivällä sähkö on kalliimpaa, käyttövesi ja sähkölämmitys kuluttavat energiaa pääasiassa öisin. Tiettyyn aikaan sidottu hintojen ohjaus ei kuitenkaan varsinaisia hintoja markkinoilla vastaa kovinkaan usein, joten perinteiset kiinteätariffihinnat ovat lopulta melko huonoja antamaan kuluttajalle hintavaihtelusta tietoja. [32.]

Sähkömarkkinat tarvitsevat tarpeeksi hintajoustoa, jotta markkinat toimivat tehokkaasti ja ongelmattomasti. Hintajousto takaa markkinoilla tuotannon ja kulutuksen välisen tasapainon, jolloin hinnat pysyvät vakaana ja itse sähköjärjestelmä toimii. Hintaohjaus tarkoittaa tilannetta, jossa asiakas ohjaa omia sähkökuormiaan hintakehityksen mukaisesti. Hintaohjaus on kannattavaa esimerkiksi tilanteissa, kun asiakkaalla on omaa sähkön pientuotantoa. [32.]

Perusedellytyksenä kysyntä- ja hintajoustolle on saada markkinahintojen muutokset kuluttajalle. Mikäli halutaan, että hintajousto toteutuu automaattisesti, tarvitaan tietojen

kulku kotiautomaatioon. Spot-hinnan päivittäinen tieto tarvitaan, jotta asiakas pysyy nopeiden hintavaihteluiden perässä ja sähkömittarin tieto energiankulutuksesta suoraan automaatioon vartin sisällä. Lisäksi tarvitaan rakennuksesta lämpötilatietoja ja muita energianhallintaan liittyviä tietoja. Asiakas voi myös hallita kulutusta esimerkiksi lämmitämällä taloa takalla sähkön sijasta kalliin sähkön aikana. [32.]

Pienjänniteverkossa kysyntäjoustop hyötykäyttö näkyy käytännössä varsinkin yleistyvän kotiautomaation tulemisessa kotitalouksiin.

5.3 Kotiautomaatio

Kotiautomaatiojärjestelmät tarjoavat oivan tavan seurata ja säätää esimerkiksi sähkön, ilmanvaihdon ja vedenkulutuksen käyttöä. Automaatiojärjestelmillä on helppo hallita koko talon toimintoja mistä vain ja säästää asumiskustannuksissa.

Markkinoilla on tänä päivänä paljon vaihtoehtoja ja valmistajia kotiautomaation toteuttamiseen. Erilaisiin taloihin ja tilanteisiin voi toinen järjestelmä sopia toista paremmin, joten on kannattavaa tutkia mikä sopii itselleen parhaiten. Seuraavassa on lyhyt vertailu kahden järjestelmän välillä.

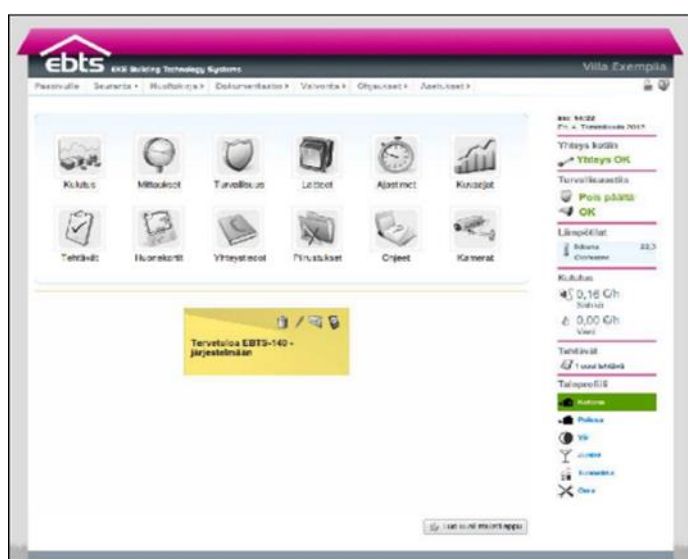
KNX-järjestelmä

KNX on kansainvälinen kiinteistöautomaatiostandardi, jolla voidaan ohjata muun muassa valaistusta, lämmitystä ja ilmanvaihtoa. Kyseessä on väylätekniikka, jossa laitteet ovat yhteydessä toisiinsa. Väyläkaapeli on käytetyin asennustapa laitteiden yhteyden luomiseen, mutta tavallista sähköverkkoa tai langatonta yhteyttä voidaan esimerkiksi myös käyttää. Jokainen anturi ja toimilaite ohjelmoidaan erikseen ja varsinaista keskustietokonetta ei tarvita. Avoimen standardin takia kaikki laitteet ovat yhteensopivia, kunhan varmistaa tuotteiden olevan KNX-standardin mukaisia. Järjestelmän varsinaisen käyttöönotto tehdään ETS-ohjelmistolla (Engineering Tool Software), joka on maksullinen ohjelmisto. [33.]

EBTS-järjestelmä

Suomalaisen EKE-konsernin EBTS-järjestelmä ohjaa KNX-järjestelmän tavoin kodin toimintoja, mutta käyttöjärjestelmässä ja- tavassa on eroa. Järjestelmän toiminta on keskitetty keskusyksikköön, joka ohjaa koko järjestelmää ja muita yksiköitä, kuten turvallisuus- ja mittausyksiköitä.

EBTS-järjestelmä käyttää eri valmistajien vakiopainikkeita ja kaapelointi suoritetaan CAT-kaapelilla. Järjestelmää ei tarvitse erikseen ohjelmoida, asetukset annetaan selainkäyttöliittymällä (ks. kuva 8). [34.]



Kuva 8. Selainpohjainen käyttöliittymä [53].

5.4 Sähkön varastointi

Sähkön varastointi on nousemassa merkittäväksi asiaksi hajautetun sähkön tuotannon kasvaessa. Viime vuosina sekä kotimaassa että ulkomailla on toteutettu monia hankkeita sähkön varastoinnin hyödyntämiseksi sähköverkossa. Luvussa 7 on lisää tietoa hankkeista.

Sähkön tuotto on ollut yleensä tasaista lyhyiden aikajaksojen sisällä, mutta energian tarve vaihtelee päivän aikana. Sähkön tuotannon täytyy sopeutua energian tarpeen vaihteluihin. Kehittämällä sähkön varastointia ja varastoidun energian käyttöä aikoina, milloin

tarve näin vaatii, saadaan merkittävä kehitysaskel sähkönjakeluun. Sähkövarastot vaikuttavat ja lisäävät luotettavuutta tuotannolle. Sähkövarastoilla voidaan hallita sähkön jakelua esimerkiksi huippukulutuksen aikana, jolloin energian tarve on suurinta. Mikro-tuotannon ollessa osana verkkoa, varastoidulla sähköllä voidaan tasapainottaa tuotantoa ja kuormitusta. [35; 36, s 281.]

Varastoidulla energialla voidaan yksinkertaisesti vaikuttaa sähkölaskuun. Sähköä on järkevä ottaa varastoon halpaan aikaan ja vastaavasti käyttää varastoitua energiaa kalliin sähkön aikana.

5.5 Verkkotariffien tarkastelu

Sähkön käyttöä ja sen optimointia voidaan myös tarkastella tutkimalla sähkön hintoja ja niiden muodostumista. Sähkölaskun hintaa on helppo tarkastella jos katsotaan vain energian hintaa, mutta otetaan tässä tapauksessa tarkasteluun sulakeperusteisten siirtomaksujen hinta vuositasolla koko sähkölaskun hinnassa.

Tarkastellaan tässä esimerkissä Järvi-Suomen Energian ja Suur-Savon Sähkön sähkön siirrosta ja myynnistä koostuvaa kokonaismaksua erään sähkönsopimuksen tämän hetken hinnoilla [61].

Taulukko 2. Sähkön hinta vuodessa.

1500 kWh/vuosi	€/kWh	Vuodessa (€)
Yleissähkönsiirto	0,0362	54,3
Vero	0,027937	41,9058
Kuukausimaksu	1,99	23,88
Energiamaksu	0,0429	64,35
Yhteensä		184,4358

Taulukossa 2 nähdään sähkön hinnan vuodessa ilman sulakeperusteisia perusmaksuja. Esimerkkitalanteeksi otettiin 1500 kWh:n vuosikulutus. Jos mietitään tilannetta pienessä kerrostaloasunnossa, jossa asuu yksi henkilö, sähkön kulutus on yleensä hyvin pientä. Vertaillaan, minkälainen vaikutus saadaan, kun valitaan 3 x 25 ampeerin sulakkeiden sijasta 1 x 25 ampeerin syöttö.

Taulukko 3. Sulakeperusteiset perusmaksut kerrostalossa.

Sulakeperusteiset perusmaksut (kerrostalo)		
Sulakkeet	€/kk	€/vuosi
1x25 A	15,14	181,68
3x25 A	23,32	279,84

Kun lasketaan taulukon 3 mukaan perusmaksut vuoden ajalta yhteen muiden maksujen kanssa, saadaan vuoden kokonaishinnaksi:

- 3 x 25 A:n sulakkeilla noin 464 €
- 1 x 25 A:n sulakkeilla noin 366 €

Tilanteessa, jossa asukkaalla on hyvin pieni yhtäaikainen sähkönkulutus eikä asunnossa ole suuritehoisia laitteita, kuten sähkösaunaa, yksivaiheisella syötöllä on mahdollista pärjätä ja saavuttaa säästöä.

5.6 LVDC-sähkönjakelu

Älykkään sähköverkon ja tehoelektroniikan kehittymisen ansiosta on ajankohtaista pohtia tasasähkön roolia pienjänniteverkossa. Esimerkiksi Nuutisen [37] esittämässä väitöskirjassa tutkitaan Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Suur-Savon Sähkön LVDC-tutkimusverkkoa (Low Voltage Direct Current). Kyseessä on ensimmäinen jatkuvassa käytössä oleva tasasähköverkko koko maailmassa [38].

LVDC-verkon mahdollisuuksia on syytä pohtia yksinkertaisesti sen takia, että kuluttajat voivat hyödyntää tasasähköä entistä enemmän. Pienet sähkögeneraattorit, sähkövarastot ja sähköiset ajoneuvot käyttävät kaikki tasasähköä. LVDC-sähkönjakelu antaisi helpon yhteyden kuluttajan oman sähköntuotannon ja älykkäiden ratkaisuiden sekä verkon välille. [37.]

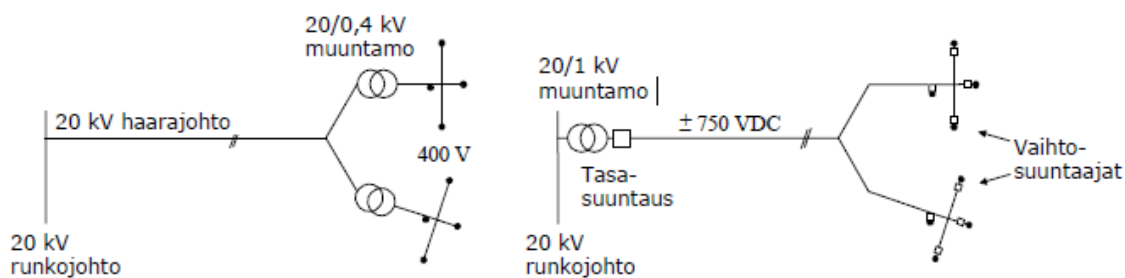
On huomioitava, että vaihtosähköverkossa verkon suojaus on rakennettu sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden varaan. Tämän takia vaihtosuuntaajan toiminta ja yhteensopi-

vuus on tärkeää, sillä nykyisen vaihtosähköverkon suojauksen on toimittava ja vaihtosuuntaajan on syötettävä oikosulkuvirtaa. Väitöskirjassa tasasähkön syöttö saatiin häiriöttömäksi oikealla suodatuksella ja vaihtosuuntaajan rakenteella. Tämä antaa etua, kun verrataan nykyistä vaihtosähköjakeluverkkoa tasasähköverkkoon. [37.]

Kysyin Lappeenrannan Teknillisestä Yliopistosta tutkijatohtorilta LVDC-tutkimusverkon toiminnasta sen käyttöönotosta asti. Verkko on ollut toiminnassa vuoden 2012 kesästä alkaen. Suuria ongelmia ei ole oikeastaan ollut ja verkon toiminta on ollut hyvää. Viime aikojen ongelmista esiin tuli vain vuoden 2016 syksyllä ilmennyt eristystason häiriö verkossa, joka mahdollisesti johtui jostain pieneläimestä, ja viime talvena yksi kaupasta ostettu invertterin teholähde rikkoutui. Tutkimusverkon elinkaaren aikana suurimmat muutokset ovat olleet akuston asentaminen järjestelmään ja tyristoritasasuuntaajien vaihtaminen verkkovaihtosuuntaajiin. [39.]

Yksi suurista LVDC-jakelun mahdollisuuksista on keskijänniteverkon korvaaminen taloudellisella pienjännitekaapeloinnilla ja siirtokapasiteetin nousulla. Tällä ratkaisulla saadaan verkkokustannukset pienemmiksi ja asukkaille laadukkaampaa sähköä. Älykkään sähköverkon ratkaisuja voidaan parantaa myös integroitujen yhteyksien avulla. [37.]

Kuvassa 9 esitetään VTT Verkkovisio 2030 -raportissa annettu esimerkki LVDC-verkolle:



Kuva 9. Vasemmalla perinteinen KJ/PJ-verkko ja oikealla LVDC-verkko [54].

Tasasähkön jakelulla on etunsa vaihtosähköön verrattuna. Esimerkiksi jännitteenalene- misesta johtuvat ongelmat saadaan pienennettyä, mikäli 0,4 kV:n jännitetaso tuotetaan vaihtosuuntaajalla. Tehoelektronikka tuo taas toisaalta omat ongelmansa verkkoon.

Komponenttien käyttöikä ja lisääntynyt lukumäärä saattaa aiheuttaa lisää keskeytyksiä ja huoltamisen tarvetta. [40.]

6 Jakelumuuntamot

Jakelumuuntamo rakentuu yhdestä tai monista jakelumuuntajista sekä keskijännitekiskosta. Pienjännitteen puolella ovat pienjännitelähdöt ja muuntamosta voi löytyä myös apujännitejärjestelmä. Haja-asutusalueilla puistomuuntamot (ks. kuva 10) ovat pääasiallisessa käytössä. Ne pitävät sisällään muuntajakoneen, kojeiston ja pienjännitekeskukseen. Tiheästi asutulla alueella muuntamot sijaitsevat usein kiinteistössä, kuten kerrostalon kellarissa. Kiinteistömuuntamoissa on huomioitava riittävä ilmanvaihto ja muuntamon muodostama voimakas magneettikenttä. [41.]



Kuva 10. Puistomuuntamo [55].

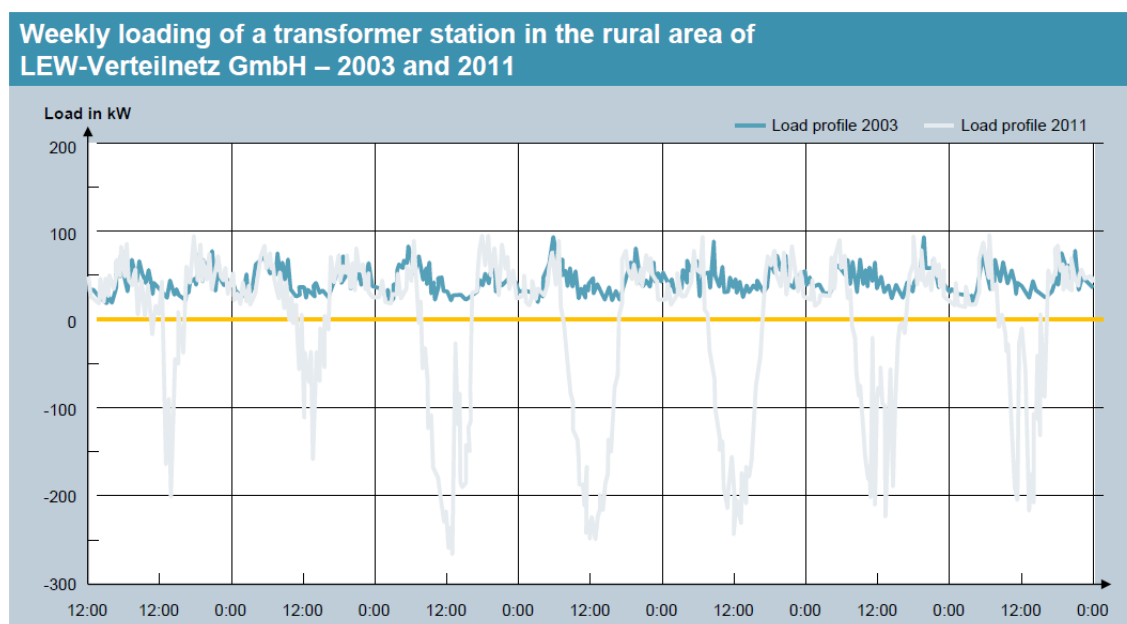
Harvemmin asutulla alueella ja erityisesti maaseudulla, jossa verkko on toteutettu ilmajohdoilla, käytetään pylväsmuuntamoita. Pylväsmuuntamot ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja pieniä. Keskijännite liitetään erottimen kautta muuntajaan ja varsinaista keskijännitekiskostoa ei löydy. [3, s. 157.]

6.1 Muuntajakuormitus

Pientuotantolaitosten yleistyessä kuluttajien keskuudessa on tärkeää ottaa huomioon myös vaikutukset pienjänniteverkon jakelumuuntamoille. Lähtökohtaisesti pientuotanto keventää kuormitusta verkossa, koska silloin ei olla niin paljon verkkoyhtiöiden sähkön varassa. Tilanteissa, joissa verkko-operaattoreilta tulevan sähkön käyttö on vähäistä ja oma pientuotanto on suurta, verkkoon voi aiheutua ongelmia tehonsuunnan kääntyessä

verkkoon päin (ks. kuva 11). Jos pientuotannon maksimiteho nousee suuremmaksi kuin huippukuorma siihen kytketyssä verkossa, verkkokomponentit voivat mahdollisesti ylikuormittua ja sähkön laatu kärsiä muun muassa liian suurena jännitteenä. Tätä mahdollisuutta voi joutua tarkastelemaan tulevaisuudessa tarkemmin pientuotannon yleistyessä. [42.]

Pientuotanto mukautuu Suomen olosuhteisiin onneksi hyvin, sillä pienjänniteverkon kuormitus kotitalouksissa on yleisesti suurta verrattuna melko pieniin oman tuotannon tehoihin. Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston esityksen mukaan saatiin tulokset tilanteesta, jossa aurinkopaneeleilla varustetut rakennukset ovat 200 metrin sisällä asiakkaan liityntäpisteestä ja yhteydessä samaan verkkoon. Huippukulutuksen aikaan noin 20 prosentin asiakkaista tulisi rajoittaa energian tuotantoa tai vaihdattaa liitännäsulakkeet suuremmiksi verkko-operaattorilla. [42.]



Kuva 11. Saksalaisen jakelumuuntamon tehokäyrän muutos [56].

Jakelumuuntamon ylikuormitus riippuu paljon siitä kuinka moneen rakennukseen asennetaan aurinkopaneeleita, ero on suuri jos vain asuinrakennukset ovat paneloitu verrattuna muiden varasto- ym. rakennuksien aurinkopanelointiin [42].

6.2 Älykkäät muuntajat

Aikaisemmin on puhuttu älykkäistä sähköverkoista, mutta voidaan myös puhua älykkäistä muuntajista. EPRI (Electric Power Research Institute) aloitti älykkään IUT- muuntajan (Intelligent Universal Transformer) ideoimisen jo vuonna 2004. Rakenne on tehty modulaariseksi, elektroniikkakomponenteista rakentuvaksi laitteeksi. Älykkäällä muuntajalla on paljon hyödyllisiä toimintoja osana älykästä sähköverkkoa:

- Jännitteensäädön avulla on mahdollista saavuttaa selvää energiansäästöä.
- Uusiutuvat energianlähteet ja sähkövarastot voidaan integroida muuntajan toimintaan.
- Parempi hyötysuhde kevyessä kuormituksessa sopii hyvin pientuotannon toimintoihin.
- Varaosia ei juuri tarvita moduulirakenteen vuoksi.
- Yksivaiheisen vaihtosähkösyötön voi muuntaa esimerkiksi kolmivaihesyötöksi tai tasasähköksi.

Älykkään muuntajan avulla pystytään entisestään yhdistämään älykkään verkon osat alueet yhteen ja parantaa toimintoja ja luotettavuutta. [40; 43.]

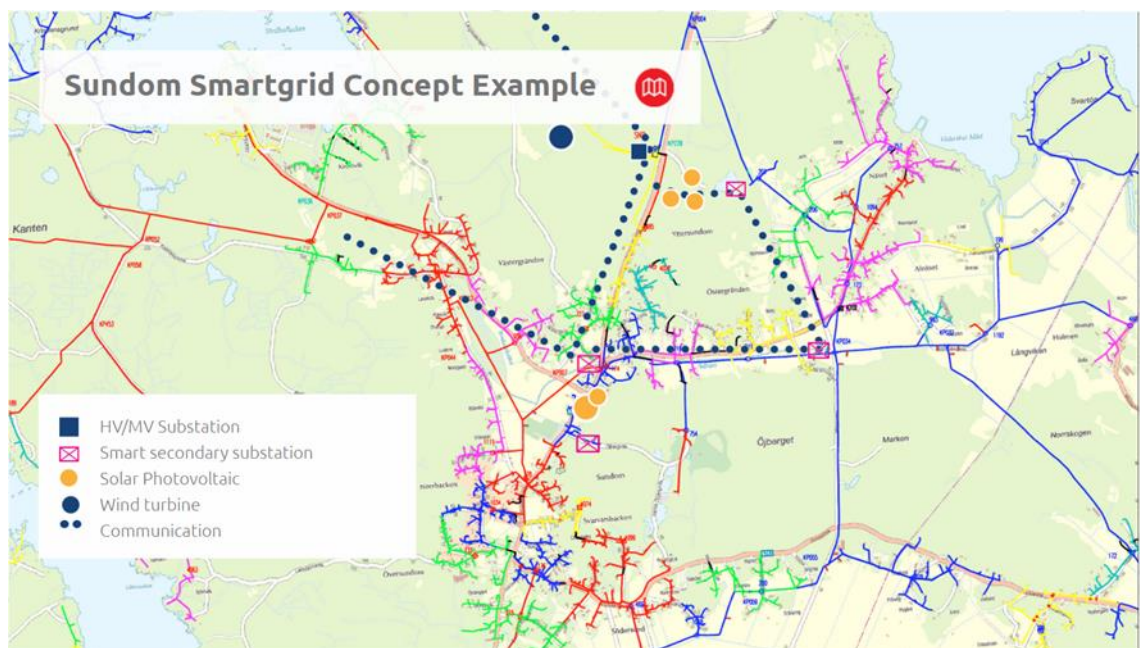
6.3 IEC 61850 -standardi

IEC 61850 on maailmanlaajuisesti käytössä oleva tietoliikennestandardi sähköasemille ja älykkäille verkoille. Kyseessä on uudehko standardi ajankohtaisiin pientuotannon ja älykkään verkon vaatimuksiin. Automaation uusiminen tuo mukanaan tarpeen paranneluille viestintäratkaisuille. [44.]

Standardi tarjoaa yksinkertaisen jakelumuuntamorakenteen ja helpottaa monia osa-alueita, kuten muuntamon huoltamista. Käyttäjäläiittymäongelmat helpottuvat avoimen tietoliikenneprotokollan myötä ja eri valmistajien tuotteet ovat yhteensopivia. Standardi korvaa muun muassa muuntamoiden välisen kaapeloinnin sekä säätö- ja signaalilaitteet, tämän myötä saadaan tehtyä säästöä kuluille. Luotettavuutta saadaan parannettua käyttämällä vain yhtä reaaliaikaista yhteyskanavaa, jolla kaikki tieto siirretään. [45.]

6.4 Sundom Smart Grid

Sundom Smart Grid on Vaasan alueella suoritettu pilottihanke älykkään sähköverkon kehitykselle. Verkon rakenteeseen kuuluu neljä älykästä jakelumuuntamoita (ks. kuva 12). Parannetulla muuntamoautomaatiolla ollaan koko ajan perillä verkon tilasta ja parannetaan verkon etätoimintoja. Uusilla tietoliikennetekniikoilla saadaan mittaustietoa sähkön laadusta ja kuormituksesta. Mittaustietojen avulla on mahdollista löytää vikapaikka, jopa ennen vian muuttumista pysyväksi. Muuntamon suojaus suojaa verkon laitteet vikavirralla ja varmistaa näin sujuvan ja turvallisen verkon toiminnan. [46.]



Kuva 12. Sundom Smart Grid -hankkeen kokonaisuus [57].

Älykkäässä verkossa nopeat tietoliikenneyhteydet ovat erityisesti avainroolissa, verkon käyttö perustuu ajantasaiseen tietoon. Tietoliikenneyhteydet tarjoavat kuluttajalle monipuoliset palvelut. Kotitalouden sähkönkulutusta voidaan seurata ja säätää reaaliajassa sekä kotiautomaation etäohjaukseen saadaan hyötyjä. [46.]

7 Hajautetun tuotannon projektit

Helenin akkuvarasto

Helen Oy on ottanut käyttöön suuren sähkövaraston aurinkovoimalan yhteyteen Helsingin Suvilahdessa. Varastolla on kokoa teholtaan 1,2 megawattia ja energiakapasiteettia 600 kilowattituntia. Sähkön kysynnän kasvaessa varastoa pystytään helposti purkamaan. Tarkoituksena on tuotannon ja kulutuksen sovitus, kotitalouksien pienemmän mitatakaan mukaisesti. Parhaiten akustoa voidaan hyödyntää jos verkkoon ilmaantuu lyhyitä tehopiikkejä tai vastaavasti kompensointitarvetta verkon kuopille. Varasto on käytössä ensiksi Fingridin käyttö- ja häiriöreservinä sekä myöhemmin Suvilahden alueen aurinkovoimalan ja jakeluverkon optimoinnissa. [47.]

Feldheim

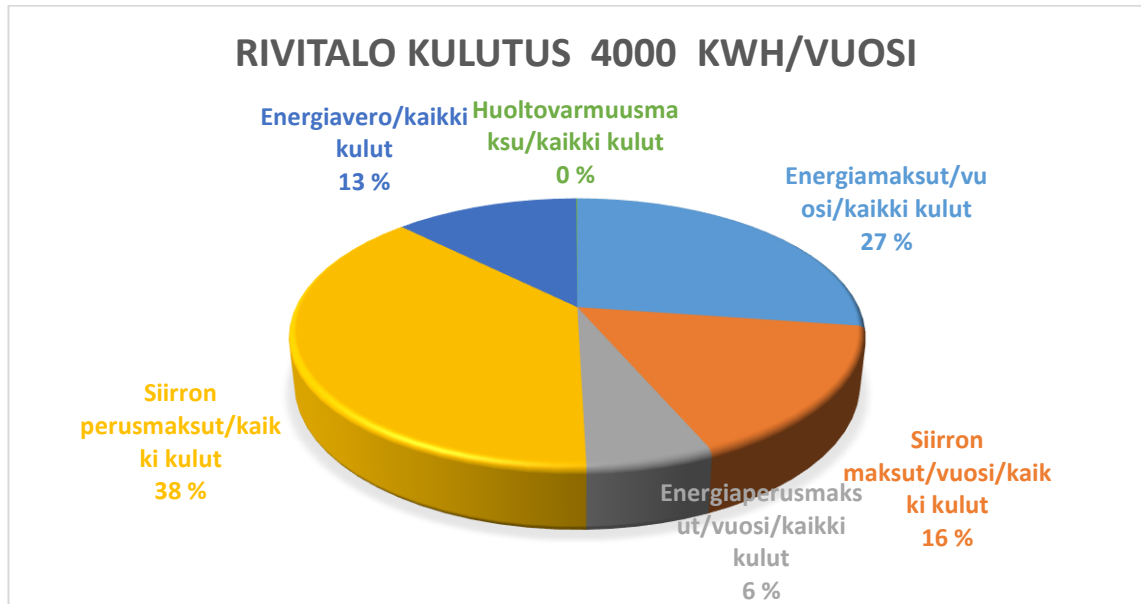
Saksalainen noin 130 asukkaan Feldheimin pikkukylä on täysin energiaomavarainen. Kylässä on itsenäinen sähköverkko, johon tuotetaan sähköä pääasiassa tuulivoimalla ja lämpö tuotetaan biokaasulla. Sähköä saadaan myös aurinkovoimalla, erityisen kylmään aikaan voidaan kotitalouksia tarvittaessa lisälämmittää puuhakkeella. [48.]

8 Adaptiivinen liityntä osana Smart Grid-verkkoa

Mielenkiintoinen malli kuluttajien sähkönkäytön ja kulutuksen optimoimiseksi voisi olla niin sanottu adaptiivinen sulakekäyttö. Ajatuksena olisi, että kiinteän liityntäkoon vastapainona erilaisiin tehotilanteisiin saataisiin huippukulutuksen mukaan vaihteleva sulakekoko automaatiolla ohjattuna. Sähkölaskuille voitaisiin kehittää toimintoja, joilla ohjata sähkönjakelua halutusti. Adaptiivisuudella olisi positiivinen vaikutus sähkölaskuun.

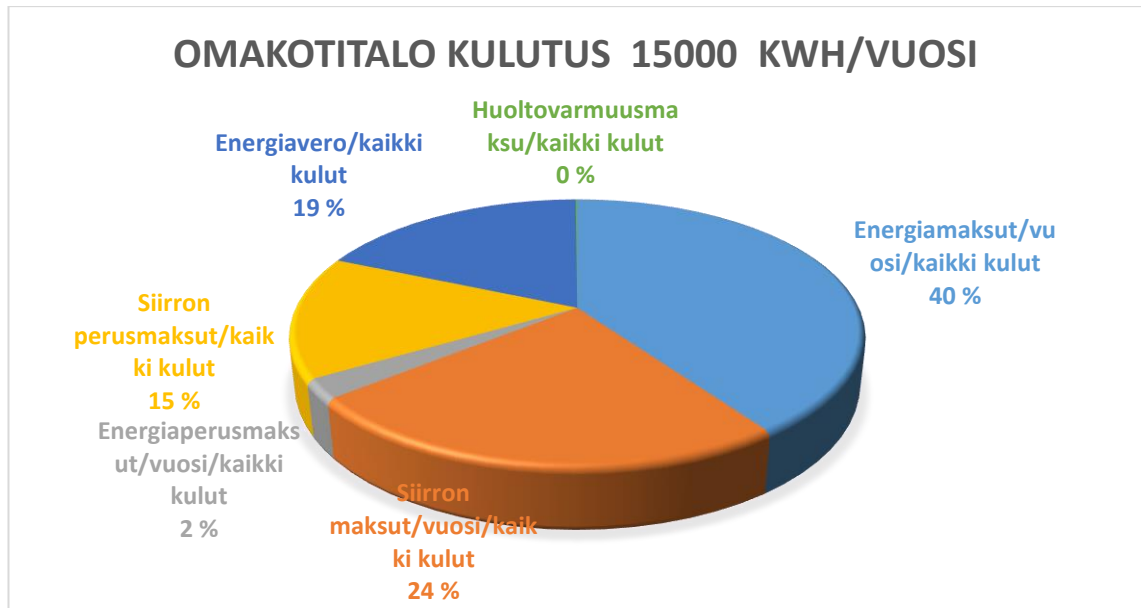
Liitännäsulakkeet saattavat olla turhan suuria todelliselle sähkön käytölle. Esimerkkinä voidaan pitää tilannetta, jossa kerrostalon 3 x 160 A:n sulakkeiden sijaan verkon sen hetkisen oletettavan huippukulutuksen mukaan otetaankin 3 x 80 A:n edestä sähköä. Tilanteeseen voitaisiin kehittää ns. väylämaksu, jossa hinta määräytyisi sen hetkisen pienemmän sulakekoon mukaisesti. On huomioitava kuitenkin, että fyysiset pääsulakkeet pysyvät alkuperäisen mitoituksen mukaisena suojauksen toiminnan varmistamiseksi.

Kuvassa 13 ja 14 nähdään millaisista osuuksista sähkön hinta koostuu, kun vuosittaista kulutusta muutetaan. Sulakekokojen adaptiivisuudella pystytään vaikuttamaan kiinteisiin siirron perusmaksuihin.



Kuva 13. Sähkön hinnan koostuminen (4000 kWh/vuosi) [58].

Kun vuosittainen kulutus nousee reilusti, siirron perusmaksujen prosentuaalista määrää saadaan laskettua.



Kuva 14. Sähkön hinnan koostuminen (15000 kWh/vuosi) [58].

Kumpaakin tilannetta tarkastelemalla on helppo nähdä sähkön siirtoon liittyvien maksujen muodostavan suuren osan sähkölaskussa. Näihin kiinteisiin maksuihin on vaikea vaikuttaa tällä hetkellä, mutta adaptiivisen liittynän mallilla, kasvavien älytoimintojen kanssa olisi mahdollista pienentää kuukausittaisia maksuja ja leikata kulutushuippuja.

9 Pohdintaa

Työssä lähdettiin pohtimaan, kuinka sähkön pientuotanto ja älykkään sähköverkon ratkaisut vaikuttavat pienjänniteverkkoon, jakelumuuntamoilta kotiin asti.

Pientuotannossa on vielä paljon varaa erilaisille kannustimille, joilla olisi mahdollista kasvattaa kuluttajien energiaomavaraisuutta ja päästöttömiä energiaratkaisuja. Lainsäädännön ja tukien puolella voidaan parantaa tilannetta verohelpotuksien muodossa, sekä esimerkiksi energiatukien saamiseksi yksityisille toimijoille ja taloyhtiöille. Tällä hetkellä on myös paljon vaihtelua energiayhtiöillä siinä, että minkälaisia korvauksia ja kuluja pientuottajat kohtaavat sähkön tuotannosta ja ylijäämänsähkön siirtämisestä jakeluverkkoon. Tämä tilanne saattaa helpottaa piakkoin lakiuudistuksien muodossa muun muassa siirtomaksujen poistumisella pientuotantolaitoksella tuotetusta sähköstä jakeluverkkoon.

Pienjänniteverkon optimoinnissa on kannattavaa kiinnittää huomiota kysyntäjouston ja älykkäisiin toimintoihin, joilla parantaa sähkön käyttöä. Etämittareilla, kotiautomaatiolla sekä sähkön pientuotannolla ja -varastoinnilla saadaan toimiva kokonaisuus, jolla optimoida pienjänniteverkon toimintaa ja säästää sähkön käyttökuluissa. LVDC-sähkönjakelu saattaa olla hyvinkin osa laajempaa toimintaa pienjänniteverkoissa lähiaikoina, sillä siihen liittyvä tutkimus on antanut hyviä tuloksia. Jakelumuuntamoilla on havaittavissa kehitystä, niiden saamiseksi osaksi älykästä sähköverkkoa ja tulevaisuudessa huomiolle pantava asia on sähkön pientuotannon kuormituksen vaikutukset jakelumuuntamoilla.

Työssä pohdittiin lisäksi malleja, joilla voisi olla tulevaisuudessa mahdollista optimoida kuluttajan sähkön käyttöä ja -tuotantoa. Osuuskuntamallilla on potentiaalia kannustaa ihmisiä tuottamaan omaa sähköä isommassa mittakaavassa, kuten taloyhtiöissä. Viime aikoina muun muassa sähkömarkkinalain muutosehdotuksella on haettu parannusta pientuottajien sähköntuotannon hinnoitteluperusteisiin. Älykkään sähköverkon kehityksen varalle mietittiin myös kiinteiden liitäntäsulakkeiden automaattista ohjausta erilaisille kulutustilanteille, jolla voitaisiin vaikuttaa sähkölaskun kiinteisiin maksuihin, joihin tällä hetkellä ei voi käytännössä vaikuttaa.

Tavoitteena oli saada kokonaiskuva, missä tilassa pienjänniteverkko on sähkön pientuotannon ja älykkäiden toimintojen kannalta. Työn tekemisen aikana kävi hyvin selväksi, kuinka nopeaa tekniikan ja säädösten uudistuminen pienjänniteverkon toimintoihin on, ja odotettavissa onkin, että tulevina vuosina lainsäädäntöä muokataan ja erilaisia hankkeita toteutetaan enemmän, joilla kehitetään älykkään sähköverkon kokonaisuutta.

Lähteet

- 1 Suomen sähkövoimajärjestelmä. 2017. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Suomen%20s%C3%A4hk%C3%B6voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Sivut/default.aspx>>. Luettu 8.2.2017.
- 2 Sederlund, Jarno. 2008. Taajuuden ylläpito sähköjärjestelmässä. Verkkodokumentti. <http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCtaajuuden_yllapito.aspx>. Luettu 26.2.2017.
- 3 Lakervi, Erkki. Partanen, Jarmo. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3. painos. Helsinki:Gaudeamus/Otatieto.
- 4 Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Verkkodokumentti. <http://www.leenakorpi.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf>. Luettu 21.2.2017.
- 5 SFS-standardi. 2011. SFS-EN 50160: Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Suomen standardisoimisliitto.
- 6 Sähkömarkkinalaki. 2013. Verkkodokumentti. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>>. Luettu 14.2.2017.
- 7 SFS-standardi. 2015. SFS-EN 50438: Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille. Suomen standardisoimisliitto. Luettu 8.2.2017.
- 8 Hajautettua sähkön pientuotantoa. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/perustieto/energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto>. Luettu 8.3.2017.
- 9 Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon - nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen. 2016. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/files/1249/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kva_PAIVITETTY_20160427.pdf>. Luettu 8.2.2017.
- 10 Käyhkö, Tuija. 2010. Hailuoto-projektin tavoite: Sähköverkon saarekeosa toimii myös häiriötilanteissa. Verkkodokumentti. <<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/b755bbdb4468faadc125773500357632.aspx>>. Power & Automation -lehti. Luettu 2.3.2017.
- 11 Suunnittelu ja asennustyöt. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto/kulut-taja_alle_50_kva/suunnittelu_ja_asennustyot>. Luettu 15.2.2017.

- 12 Lainsäädäntö ja velvollisuudet. 2017. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto/kuluttaja_alle_50_kva/lainsaadanto_ja_velvollisuudet>. Luettu 15.2.2017.
- 13 Energiaverotusohje 2016. 2016. Verkkodokumentti. Verohallinto.<http://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Valmisteverotus/Energiaverotusohje_2016%2841343%29#2%20S%C3%A4hk%C3%B6n%20verotus_>. Luettu 2.3.2017.
- 14 Sähköntuotannon verovelvollisuuden muutokset. 2015. Verkkodokumentti. Adato Energia Oy. <<http://www.sahkoverkkoekstra.fi/asiakkuus/lait-maaraykset-ja-standardit/sahkontuotannon-verovelvollisuuden-muutokset>>. Luettu 10.4.2017.
- 15 Varonen, Sami. Myllymäki, Janne. 2014. Kotitalouden sähköntuotannon tuloverotus. Verkkodokumentti. Vero. <https://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Henkiloasiakkaan_tuloverotus/Kotitalouden_sahkontuotannon_tuloverotus>. Verohallinto. Luettu 15.2.2017.
- 16 Lakialoite laiksi sähkömarkkinalain muutoksesta. 2017. Verkkodokumentti. Suomen eduskunta. <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Lakialoite/Sivut/LA_4+2017.aspx>. Luettu 5.4.2017.
- 17 Energiatuki. 2017. Verkkodokumentti. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<http://tem.fi/energiatuki>>. Luettu 15.2.2017.
- 18 Auvinen, Karoliina. 2016. Romuttaako siirtohinnoittelun tuleva muutos aurinkosähkön kannattavuuden? Verkkodokumentti. Finsolar. <<http://www.finsolar.net/tag/energiatuki/>>. Luettu 28.3.2017.
- 19 Auvinen, Karoliina. 2016. Asukkaat mukaan tukien piiriin. Verkkodokumentti. Finsolar. <<http://www.finsolar.net/taloyhtiot/asukkaat-mukaan-tukien-piiriin/>>. Luettu 1.3.2017.
- 20 Opas sähkön pientuottajalle. 2012. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf>. Luettu 1.3.2017.
- 21 Nieppo, Perttu. Musawi, Omid. Utriainen, Timo. 2017. Aurinkopaneelien vaikutukset osana pienjänniteverkon tehotuotantoa. Innovaatioprojektin loppuraportti. 6.3.2017. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 28.3.2017.
- 22 Osuuskunta. 2014. Verkkodokumentti. Suomen Yrittäjät ry. <<https://www.yrittajat.fi/yrittajan-abc/perustietoa-yrittajyydesta/yritysmuodot-ja-vastuut/osuuskunta-318169#quickset-valilehti=0>>. Luettu 27.3.2017.
- 23 Koistinen, Laura. Rikkonen, Pasi. Rasi, Saija. 2014. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus -raportti. Verkkodokumentti. <<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/482196/mttraportti134.pdf?sequence=4>>. Luettu 28.3.2017.

- 24 What is the Smart Grid. 2017. Verkkodokumentti. U.S. Department of Energy. <https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html>. Luettu 26.2.2017.
- 25 Smart Grids. 2017. Verkkodokumentti. International Energy Agency. <<https://www.iea.org/topics/electricity/electricitysubtopics/smartgrids/>>. Luettu 23.3.2017.
- 26 Vanhanen, Tuomas. Smart Grids. 2016. Verkkodokumentti. AMK-opettajien neuvottelupäivät-esitys. <http://www.mamk.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/mamk/embeds/mamkwwwstructure/26059_1-Mikkeli-AMK-SmartGrids-ABB-Vanhanen_v3.pdf>. Luettu 26.2.2017.
- 27 Energian mittaus. 2017. Verkkodokumentti. Adato Energia Oy. <<http://sahkoverkkoekstra.fi/asiakkuus/energian-mittaus-0>>. Luettu 8.3.2017.
- 28 Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta. 2016. Verkkodokumentti. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160217#Lidm2195408>>. Luettu 10.3.2017.
- 29 Elenia rakentaa ratkaisua sähkömarkkinoiden kysyntäjoustopon edistämiseksi. 2017. Verkkodokumentti. Elenia Oy. <<http://www.elenia.fi/uutiset/elenia-rakentaa-ratkaisua-s%C3%A4hk%C3%B6markkinoiden-kysynt%C3%A4joustopon-edist%C3%A4miseksi>>. Luettu 10.3.2017.
- 30 Kysyntäjousto. 2017. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto/Sivut/default.aspx>>. Luettu 10.3.2017.
- 31 Spot-hinta. 2017. Verkkodokumentti. Nordic Green Energy. <<https://www.nordic-green.fi/asiakaspalvelu/energiatietoa/spot-hinta/>>. Luettu 12.3.2017.
- 32 Koponen, Pekka. Kärkkäinen, Seppo. Farin, Juho. Pihala, Hannu. 2006. Markkinahintasiignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus. Loppuraportti. Verkkodokumentti. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2362.pdf>>. VTT Oy. Luettu 13.3.2017.
- 33 Kähkönen, Miko. 2016. KNX-järjestelmä omakotitalossa. Opinnäytetyö. Verkkodokumentti. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113683/Kahkonen_Miko.pdf?sequence=1>. Luettu 21.3.2017.
- 34 Miten EKE:n käyttämä tekniikka eroaa KNX-väylätekniikasta. 2017. Verkkodokumentti. EKE-yhtiöt. <<http://smarhome.eke.com/tietopankki/smarhome-by-eke-vs-knx/>>. Luettu 21.3.2017.
- 35 Energy Storage. 2017. Verkkodokumentti. U.S. Department of Energy. <<https://energy.gov/oe/services/technology-development/energy-storage>>. Luettu 16.3.2017.

- 36 Electricity transmission, distribution and storage systems 2013. Woodhead Publishing Limited, Edited by Ziad Melhem.
- 37 Nuutinen, Pasi. 2015. Power electronic converters in low-voltage direct current distribution - Analysis and implementation. Väitöskirja. Verkkodokumentti. <<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/117972/Pasi%20Nuutinen%20A4.pdf?sequence=2>>. Lappeenranta University of Technology. Luettu 20.3.2017.
- 38 Tasasähkö ja tehoelektroniikka vähentävät sähkökatkoja ja luovat älykkään sähköverkon. 2015. Verkkodokumentti. Lappeenranta University of Technology. <http://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/tasasahko-ja-tehoelektroniikka-vahentavat-sahkokatkoja-ja-luovat-alykkaan-sahkoverkon>. Luettu 20.3.2017.
- 39 Nuutinen, Pasi. 2017. Lappeenranta University of Technology. Sähköpostikysely. 3.4.2017
- 40 Verkkovisio 2030. 2006. Jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio. Tutkimusraportti. Verkkodokumentti. VTT Oy. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2361.pdf>>. Luettu 27.3.
- 41 Kaapeli, Samuli. 2016. Opinnäytetyö: Muuntamoautomaation esittely. Verkkodokumentti. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113155/kaapeli_samuli.pdf?sequence=1>. Luettu 14.3.2017.
- 42 Partanen, Jarmo. 2017. Älykäs sähköverkko ja pientuotanto. Verkosto 2017-messujen Aurinkoinen pientuotanto-seminaari. Verkkodokumentti. Powerpoint-esitys. <http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/verkosto_2017_-messujen_aurinkoinen_pientuotanto_-_seminaari_25.1.2017_aineisto.html#material-view>. Luettu 13.3.2017.
- 43 McGranaghan, Mark. 2009. Intelligent Universal Transformer Design and Applications. Verkkodokumentti. CIREC International Conference on Electricity Distribution. <http://www.cired.net/publications/cired2009/main_sessions/Session%201/Main%20Session%201%20pdfs/Block%201/S1%201032.pdf>. Luettu 27.3.2017.
- 44 Mekkanen, Mike. 2015. Väitös: Älykkäiden sähköverkkojen tietoliikennestandardi joutui testiin. Verkkodokumentti. Vaasan yliopisto. <<http://www.uva.fi/fi/news/mekkanen/>>. Luettu 23.3.2017.
- 45 Efficient Energy Automation with the IEC 61850 Standard. Verkkodokumentti. Siemens. <<http://www.energy.siemens.com/co/en/energy-topics/standards/iec61850.htm>>. Luettu 23.3.2017.

- 46 Sundom Smart Grid. 2017. Verkkodokumentti. Energy Vaasa. <<https://app.seidat.com/presentation/shared/n4Xx3ewpsnkECCKFj/1/0>>. Luettu 25.3.2017.
- 47 Helsinkiin Pohjoismaiden suurin sähkövarasto. 2015. Verkkodokumentti. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2015/helsinkiin-pohjoismaiden-suurin-sahkova-rasto/>>. Luettu 7.3.2017.
- 48 The energy self-sufficient village. 2016. Verkkodokumentti. Neue-Energien-Forum Feldheim. <<http://nef-feldheim.info/the-energy-self-sufficient-village/?lang=en>>. Luettu 7.3.2017.
- 49 Voimansiirtoverkko. Verkkodokumentti. <<http://www.fingrid.fi/fi/yhtio/esittely/voimansiirtoverkko/Sivut/default.aspx>>. Luettu 8.2.2017.
- 50 SFS-standardi. 2015. SFS-EN 50438: Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille. Suomen standardisointiliitto. Luettu 8.2.2017.
- 51 Mäki, Kari. 2011. Aurinkojärjestelmien verkostovaikutukset. Verkkodokumentti. <https://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/luennot/SMG-4450_vierailu-luento_12_10_2011.pdf>. Luettu 29.3.2017.
- 52 Auvinen, Karoliina. 2016. Romuttaako siirtohinnoittelun tuleva muutos aurinkosähkön kannattavuuden? Verkkodokumentti. Finsolar. <<http://www.finsolar.net/tag/energiatuki/>>. Luettu 28.3.2017.
- 53 EBTS-100/140 kodinhallintajärjestelmä. Verkkodokumentti. <<http://smart-home.eke.com/wp-content/uploads/Tekninen-asennusohje.pdf>>. Luettu 26.3.2017.
- 54 Verkkovisio 2030. 2006. Jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio. Tutkimusraportti. Verkkodokumentti. VTT Oy. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2361.pdf>>. Luettu 27.3.2017.
- 55 Puistomuuntamo. Verkkodokumentti. Norelco Oy. <<http://www.norelco.fi/tuotteet-ja-palvelut/>>. Luettu 25.3.2017.
- 56 Kenis, Lieven. Bassem, Philippe. Verkkodokumentti. Siemens. Energy meets Intelligence. <https://www.siemens.be/cmcc/upload/cms/docs/events/cameroon/Siemens_general.pdf>. Luettu 8.3.2017.
- 57 Sundom Smart Grid. Verkkodokumentti. Energy Vaasa. <<https://app.seidat.com/presentation/shared/n4Xx3ewpsnkECCKFj/1/0>>. Luettu 25.3.2017.

- 58 Massinen, Osmo. 2017. Sähkön hinta. Excel-taulukko. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 10.4.2017
- 59 Mikrotuotannon yleistietolomake. 2017. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/files/1515/Mikrotuotannon_yleistietolomake_paivitetty_20170101.pdf>. Luettu 24.4.2017
- 60 Valtioneuvoston asetus sähkömarkkinoista. 2009. Verkkodokumentti. Finlex. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090065#Pidp1820544>>. Luettu 25.4.2017
- 61 Verkkopalvelutariffit. 2017. Verkkodokumentti. Järvi-Suomen Energia. <http://www.jseoy.fi/PageFiles/2700/Verkkopalvelutariffit_010117.pdf>. Luettu 18.3.2017

Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon

Verkkoyhtiölle toimitettava lomake luvan saamiseksi omaan mikrotuotantoon [59].

Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellistehoaltaan enintään 100 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle. Sähköntuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

1. YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Henkilötunnus tai Y-tunnus	
Sähköposti	Puhelinnumero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkösiirtolaskulta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	Puhelinnumero

2. TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Biokaasu	<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliitännälaitteiden (invertteri/vaihtosuuntaaja) valmistaja, määrä ja malli					
Tuotantolaitteiston nimellisteho	kVA/kW	Tuotantolaitteiston enimmäisvirta			A
(laitoksen suurin mahdollinen virta)					
Laitteiston kytkentä	<input type="checkbox"/> Kolmivaiheinen	<input type="checkbox"/> Yksivaiheinen, merkitse vaihe	<input type="checkbox"/> L1	<input type="checkbox"/> L2	<input type="checkbox"/> L3
<input type="checkbox"/> Käyttöpaikkaan on liitetty sähkövarasto (akku)	Sähkövaraston kapasiteetti				Ah

3. TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

3.1. Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehdoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytketymisajat

<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset (sama kuin Energiateollisuus ry:n suositus 2016, tekninen liite 1)	<input type="checkbox"/> Jokin muu
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimuskirje VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)	<input type="checkbox"/> HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytyy myös lomakkeen kohta 8.
HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä	

3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen

<input type="checkbox"/>	Vakuutan, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy (esim. talon ulkoseinällä, ei lukitussa tilassa)
	Erotuskytkimen sijainti (esim. talon ulkoseinällä pääoven vieressä)
<input type="checkbox"/>	Liittymän sähkökeskuksilla on varoituskyltit takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle

4. TUOTETUN SÄHKÖN VERKKOONSYÖTTÄMINEN

	Verkkoyhtiön sähköverkkoon siirtyvän sähkön ostaja (yhtiön nimi)
<input type="checkbox"/>	Sähkön siirto käyttöpaikalta sähköverkkoon on teknisesti estetty (sähkön ostajaa ei tarvita)

5. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT

(tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Urakoitsija toimittaa asiakkaalle laitteistoa koskevan käyttöönottotarkastuspöytäkirjan. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja on pyydettyessä toimitettava verkonhaltijalle.

6. LISÄTIEDOT

Lisätietoja

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemiaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. Lisätietoja saat verkkoyhtiöltäsi.

7. ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi	
Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvennys

Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho, kuten sähköurakoitsija

8. Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat

HUOM! Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3. vaihtoehdon Jokin muu

Verkkoonliitännälaitteen suojausasettelu noudattaa standardia:					
Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojaus 1			Ylitaajuussuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*			Ylitaajuussuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1			Alitaajuussuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*			Alitaajuussuojaus 2*		
* jos on					
Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumisaika verkkojännitteen palaututtua					s
Saarekekäytönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-aika					
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty					