

Henri Malinen

## Sähkön pientuotannon liittäminen jakeluverkkoon

Hinnoittelu ja tekniset vaatimukset

Tekijä Otsikko	Henri Malinen Sähkön pientuotannon liittäminen jakeluverkkoon
Sivumäärä Aika	38 sivua 31.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	lehtori Jarno Varteva
<p>Insinöörityössä koottiin yhteen sähkön pientuotannon eli hajautetun tuotannon verkkoon liittämistä koskevat tekniset vaatimukset ja liittymismaksuperiaatteet. Yhtäläillä tavoitteena oli antaa lukijalle yleiskuva sähkön pientuotannosta ja tarkastella pientuotannon tilaa Euroopassa ja tulevaisuudennäkymiä Suomessa.</p> <p>Insinöörityössä tarkasteltiin erilaisia pientuotannon määritelmiä ja tutustuttiin eri tapoihin tuottaa sähköä pienimuotoisesti. Työssä esiteltiin Fortumin jakeluverkkoyhtiöiden laatimat tekniset vaatimukset, ohjeet ja periaatteet tuotannon verkkoon liittämistä varten. Vaatimukset ja ohjeet on laadittu annettujen verkostosuosituksen ja viranomaismääräysten pohjalta. Lisäksi esiteltiin Fortumin jakeluverkkoyhtiöiden tuotantoliittymiä koskevat liittymismaksuperiaatteet, joiden mukaan tuotantoliittymän liittymismaksun suuruus määräytyy. Lopuksi käytiin läpi yleisellä tasolla pientuotannon tilaa ja tukimuotoja Euroopassa ja pohdittiin sen tulevaisuutta suomalaisessa sähköjakeluverkossa.</p> <p>Sähkön pientuotannon tulevaisuus Suomessa vaikuttaa valoisalta muun muassa siksi, että myös Suomessa otettiin alkuvuonna 2011 käyttöön uudenlainen uusiutuvaa energiaa koskeva valtiollinen tukimuoto eli syöttötariffijärjestelmä. Syöttötariffin käyttöönoton myötä pientuotannon määrällisen kasvun oletetaan kiihtyvän suomalaisessa sähköverkossa.</p> <p>Sähkön pientuotantoa suunnittelevan kannattaa jo suunnitteluvaiheessa olla yhteydessä paikalliseen jakeluverkonhaltijaan liittämistä koskevien käytännön asioiden ja liittamisestä aiheutuvien kustannusten selvittämiseksi. Tuottajan on hyvä selvittää myös tuotantolaitteistoa ja tuotetun sähkön laatua koskevat ehdot jo ennen laitoksen hankkimista. Tuotetulle sähkölle kannattaa myös hankkia ostaja hyvissä ajoin, koska Suomessa käyttöönotettu syöttötariffijärjestelmä ei velvoita paikallista sähköyhtiötä ostamaan tuotettua sähköä.</p>	
Avainsanat	sähkön pientuotanto, hajautettu tuotanto, tuulivoima, syöttötariffi

Author Title	Henri Malinen Small Scale Production into Distribution Network
Number of Pages Date	38 pages 31 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Jarno Varteva, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was to collect information about the technical requirements and enrollment policy for connecting small scale electricity production into the distribution network. Another aim was to provide an overview of small scale electricity production and examine the present state of small scale production in Europe as well as future prospects in Finland.</p> <p>This study describes small scale production, and explores different ways to produce electricity in a small scale. The work presents the technical standards, guidelines and principles for connecting production facilities into the network as described by Fortum's distribution companies. These requirements and guidelines are based on the recommendations of the network and official regulations. In addition, the thesis presents the principles applied to the enrollment criteria of Fortum's distribution companies. The amount of the production plant's electricity subscription is based on these criteria.</p> <p>The end of this work focuses on the current state of small scale production and the financial subsidies available in Europe. Moreover, this study discusses the future of small scale production in a Finnish electricity distribution network.</p> <p>The future of small scale electricity production seems bright in Finland thanks to a new state subsidy, the Feed-in Tariff, which was introduced in the beginning of 2011. The introduction of the feed-in tariff is expected to increase small scale electricity production in the Finnish power grid.</p> <p>If you are planning small scale production of electricity, you should already be planning to contact the local owner of the distribution network. It's important to figure out the costs and practical issues regarding the connection to the power plant. The producer should also find out about the quality conditions for the produced electricity and the cost of the production equipment before acquiring the plant. The producer also agrees to acquire a buyer for the produced electricity in good time, because the feed-in scheme introduced in Finland does not require the local electric company to buy the produced electricity.</p>	
Keywords	small scale production, wind energy, feed-in tariff

## Sisällys

### Tiivistelmä

### Abstract

### Sisällys

<b>1 Johdanto</b>	1
<b>2 Sähkön pientuotannon määritelmät</b>	2
<b>3 Erilaisia sähkön pientuotannon muotoja</b>	3
3.1 Tuulivoima	3
3.1.1 Erilaisia tuulivoimalatyyppejä	3
3.1.2 Tuulivoimalan rakenne	6
3.1.3 Tuulivoimalan toimintaperiaate	7
3.2 Aurinkovoima	7
3.2.1 Aurinkovoimalan rakenne	8
3.2.2 Aurinkovoimalan toimintaperiaate	9
3.3 Muita sähkön pientuotannon muotoja	9
<b>4 Tekniset vaatimukset tuotantolaitoksen liittämiseksi sähkönjakeluverkkoon</b>	11
4.1 Sähkömarkkinalaki	12
4.2 Energiamarkkinavirasto	12
4.3 Energiateollisuus Ry	12
4.4 Sähkön laatua koskevat standardit	13
4.5 Fortumin liityntäperiaatteet sähkön tuotantolaitteistoille	13
4.5.1 Yleistä sähkön tuotantolaitteistoista ja niiden liitynnöistä	13
4.5.2 Tuotantolaitteistojen luokat	14
4.5.3 Ohjeet ja vaatimukset eri luokkien tuotantolaitteistoille	15
4.5.4 Sähköntuotannon mittaus	23
<b>5 Sähkön pientuotannon liittymismaksuperiaatteet</b>	24
5.1 Fortumin hinnoitteluperiaatteet sähkön tuotantoliittymille	24
5.1.1 Yleistä sähkön tuotantoliittymien hinnoittelusta	24

5.1.2	Enintään 2 MVA sähköntuotantolaitoksen liittymismaksun määräytyminen	25
5.1.3	Yli 2 MVA sähköntuotantolaitoksen liittymismaksun määräytyminen keskijänniteverkossa	25
5.1.4	Yli 2 MVA tuotantolaitoksen liittymismaksun määräytyminen alueverkossa	26
5.1.5	Liittymispisteen määrittäminen	27
5.1.6	Liittymänmuutokset	27
<b>6</b>	<b>Sähkön pientuotanto Euroopassa</b>	<b>28</b>
6.1	Tuulivoima Euroopassa	29
6.2	Syöttötariffit	30
<b>7</b>	<b>Sähkön pientuotannon tulevaisuus Suomessa</b>	<b>31</b>
7.1	Tuulivoima Suomessa	31
7.2	Syöttötariffijärjestelmän käyttöönotto Suomessa	33
7.2.1	Työryhmän ehdotus	33
7.2.2	Käyttöön otettava syöttötariffi	34
<b>8</b>	<b>Lopuksi</b>	<b>35</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>37</b>

## 1 Johdanto

Sähkön pientuotanto, jota kutsutaan myös hajautetuksi tuotannoksi, on nykyisin kasvavassa roolissa myös suomalaisissa sähkönjakeluverkoissa. Muun muassa VTT on tehnyt aiheesta tutkimuksia. Myös Energiateollisuus Ry on julkaissut pientuotannon jakeluverkkoon liittämistä koskevia suosituksia.

On odotettavissa, että tulevaisuudessa hajautetun tuotannon osuus sähköntuotannosta kohoaa edelleen myös Suomessa. Tämä johtuu muun muassa Euroopan Unionin asettamista uusiutuvan energian lisäys- ja ilmastotavoitteista. Asiaan vaikuttaa myös pienten energiantuotantolaitosten hintojen aleneminen, ihmisten kulutuspäätöksiä lisääntyvässä määrin ohjaava ympäristötietoisuus sekä sähkönkäyttäjien halu vaikuttaa oman sähkölaskunsa suuruuteen. Kaikki edellä mainitut tekijät ovat vaikuttaneet siihen, että kiinnostus hajautettuun sähköenergian lähituotantoon on kasvanut vahvasti.

Pientuotannon lisääntyessä verkkoyhtiöiden tehtävänä ja haasteena on kehittää jakeluverkkoaan siten, että ne kykenevät tarjoamaan sähkön pientuotannolle luotettavan verkon johon liittyä sekä takaamaan sähkönjakelun toiminta ja turvallisuus myös liittämisen jälkeen. Energiamarkkinaviraston pyynnöstä jakeluverkkoyhtiöiden on määriteltävä selkeät periaatteet tuotannon liittymismaksuhintojen määräytymisestä huhtikuun 2011 loppuun mennessä.

Tässä insinöörityössä tarkastellaan erilaisia pientuotannon muotoja ja määritelmiä. Työssä esitetään myös jakeluverkkoyhtiön tekniset vaatimukset ja reunaehdot tuotantolaitoksen liittämiseksi sähkönjakeluverkkoon, jotka on laadittu annettujen suositusten ja viranomaismääräysten pohjalta. Esimerkkiyhtiöinä käytetään Fortum Sähkönsiirto Oy:tä sekä Fortum Espoo Distribution Oy:tä. Työssä tarkastellaan myös tuotantoliittymien liittymismaksujen hinnoitteluperiaatteita. Lopuksi käsitellään sähkön pientuotannon tilaa Euroopassa sekä pohditaan mahdollisia tulevaisuudennäkymiä Suomessa.

## 2 Sähkön pientuotannon määritelmät

Pientuotannon määritelmät vaihtelevat paljonkin riippuen määrittelevästä tahosta. Yleensä määritelmät perustuvat tuotantolaitoksen nimellis- tai maksimitehoon ja/tai tuotantolaitokseen liitettävän verkon jännitetasoon.

Pientuotannosta käytetään yleisesti termiä hajautettu tuotanto. Nimitys perustuu siihen, että voimalat sijaitsevat yleensä lähellä sähkön käyttökohteita ja niiden tarkoituksena on tuottaa sähköä paikallista tarvetta varten. Yleisesti pienvoimalat myös siirtävät tuottamansa sähkön käyttökohteeseen suoraan käyttäen kohteen omaa verkkoa, jolloin voimalaa ei liitetä paikallisen jakeluverkkoyhtiön verkkoon ollenkaan. [1, s. 7.]

Sähkömarkkinalaki määrittelee pienimuotoiseksi tuotannoksi sähköntuotantolaitoksen tai useista sähköntuotantolaitoksista muodostuvan kokonaisuuden, jonka yhteenlaskettu nimellisteho on maksimissaan 2 megavoltiampeeria (MVA). [2, 3 §.]

VTT:n tutkimusraportti esittää pienvoimalan määritelmäksi tuotantolaitosta, joka on liitetty paikallisen verkonhaltijan pien- tai keskijänniteverkkoon tai siihen liitetyn asiakkaan verkkoon. Suomessa pienjänniteverkolla tarkoitetaan 0,4 kV:n jakeluverkkoa ja keskijänniteverkolla yleensä 10 tai 20 kV:n jakeluverkkoa. [3, s. 8.]

Energiateollisuus Ry on julkaissut verkostosuosituksen mikrotuotannon liittämisestä sähkönjakeluverkkoon vuonna 2009. Mikrotuotanto on erittäin pienimuotoista sähkön pientuotantoa ja siksi siitä käytetään usein tätä nimitystä. Mikrotuotannolla ei kuitenkaan tarkoiteta yleisesti pientuotantoa, vaan sen yhtä osa-aluetta. Suosituksessa mikrotuotannoksi määritellään tuotanto, jonka ensisijainen tarkoitus on tuottaa sähköä kohteen omiin tarpeisiin, verkkoon syötön ollessa vain satunnaista tai vähäistä. Mikrotuotannossa sähkön syöttäminen verkkoon ei ole varsinainen motiivi tuotannolle. Mikrotuotantolaitoksena voidaan pitää sähköntuotantolaitosta, joka on kytketty kulutuskohteen pienjänniteverkkoon ensisijaisena tarkoituksena tuottaa sähköä kohteen omaan käyttöön. Mikrotuotantolaitoksina pidetään enintään 30 kVA:n tuotantolaitoksia. Yksivaiheisen mikrotuotannon kokorajana pidetään 16 ampeeria, joka tarkoittaa suurinta laitoksen syöttämää virtaa. [4, s. 2 - 3; 5, s. 1.]

### 3 Erilaisia sähkön pientuotannon muotoja

Erilaisia tapoja tuottaa sähköä pienimuotoisesti on useita. Seuraavaksi käsitellään muutamia tyypillisiä sähkön pientuotannon muotoja.

#### 3.1 Tuulivoima

Tuulen eli ilman virtauksen sisältämää liike-energiaa voidaan muuntaa sähköenergiaksi tuulivoimalalla. Tuulivoima on uusiutuva energiamuoto, joka saa alkunsa auringon säteilyn vaikutuksesta maapallolla. Tuulivoimalla tuotetusta sähköstä ei myöskään synny päästöjä ilmakehään, vesistöihin tai maahan.

Tuulivoimalalla tuotetun energian määrässä esiintyy ajallista vaihtelua tuuliolosuhteista riippuen. Tästä ja päästöttömyydestään johtuen tuulivoima sopii hyvin hajautettuun sähköntuotantoon. [6.]

##### 3.1.1 Erilaisia tuulivoimalatyyppejä

Tuulivoimaloissa käytettyjä tuuliturbiineita on useita erilaisia. Yleisesti voimalat jaetaan kahteen eri päätyyppiin eli vaaka- ja pystyakselisiin tuuliturbiineihin. Myös lapojen määrä vaihtelee erityyppisissä turbiineissa.

##### *Pystyakseliset voimalat*

Pystyroottorin pyyhkäisy-pinta-ala on roottorin suurin tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala. Napakorkeus mitataan roottorin pyyhkäisy-pinta-alan keskipisteestä maahan. Pystyakselinen tuulivoimala ei tarvitse erillistä suuntausta tuulen suunnan mukaan, vaan se toimii samalla tavalla riippumatta tuulen suunnasta. Kuva pystyakselisesta tuulivoimalasta esitetään seuraavalla sivulla (kuva 1). [7.]





Kuva 1. Pystyakselinen tuulivoimala [7]

### *Vaaka-akseliset voimalat*

Vaaka-akselisen tuulivoimalan pyyhkäisypinta-ala muodostuu potkurin lavan kärjen piirtämän ympyrän pinta-alasta. Napakorkeus mitataan potkurin akselin etäisyydestä maahan. Vaaka-akseliset tuuliturbiinit suunnitellaan siten, että ne sopivat tietylle tuulen nopeusalueelle parhaiten. Tuulen nopeuden ollessa suunnitellulla alueella tuottaa voimala enemmän sähköä. Vaaka-akselisten tuulivoimaloiden etuna pystyakselisiin verraten on roottorin suurempi pyyhkäisypinta-ala. Tällöin tuulen liike-energiasta saadaan kerättyä enemmän energiaa hyötykäyttöön. Potkurimallisella tuulivoimalalla on lisäksi parempi tehokerroin keskisuurilla tuulen nopeuksilla, kun verrataan pystyakseliseen. Sähkötuotannossa käytetäänkin nykyään yleisesti vaaka-akselista, kolmelapaista tuulivoimalatyyppeä.

Vaaka-akselisen tuulivoimalan toiminnan edellytyksenä on, että voimalan potkuri käännetään kohti tuulta. Suuntaaminen toteutetaan joko moottorikäyttöisesti tai käyttäen

apuna pyrstöä tai poikittaista kääntöpotkuria. Kääntöpotkuri toimii, kun tuuli osuu voimalaan sivusuunnassa. Vaaka-akselisia voimaloita on aiemmin ollut kahta päätyyppiä, etutuuli- ja takatuulipotkurillisia.

Etutuulipotkurisessa voimalassa potkurin akseli on lähes vaakatasossa, potkurin ollessa mastosta katsottuna tuulen puolella. Tämä on nykyisin yleisin tuulivoimalatyyppe. Takatuulipotkurisessa voimalassa potkurin akseli on myös lähes vaakatasossa, mutta potkuri on mastosta katsottuna tuulen alapuolella. Tämä tyyppi oli aiemmin varsin yleinen, sillä näin voitiin potkuria tuuleen kääntävä suuntauskoneisto jättää kokonaan pois lapojen toimiessa tuuliviirin tavoin ohjaten voimalan aina oikeaan suuntaan. Takatuulipotkuri on kuitenkin menettänyt suosionsa vähitellen, koska maston taakse aiheutuvat pyörteet aiheuttavat ongelmia potkuriin osuessaan. Lähinnä tämä ilmeni tärinä ja meluna. Kolmelapainen, vaaka-akselinen etutuulipotkurivoimala esitetään seuraavassa kuvassa (kuva 2). [7.]



Kuva 2. Vaaka-akselinen tuulivoimala [8]

### 3.1.2 Tuulivoimalan rakenne

Nykyisin yleisimmin käytetty tuulivoimalatyyppe on kuvan 2 mukainen kolmelapainen, vaaka-akselinen etutuulipotkurivoimala. Tällainen voimala koostuu perustuksista, tornista, roottorista sekä koneistosta eli konehuoneesta.

#### *Torni ja perustukset*

Eurooppalaisissa voimaloissa torni on yleensä putkirakenteinen terästorni, joka on kiinnitetty betonista valettuun perustukseen. 500 - 1 650 kW:n voimaloissa tornin korkeus on yleensä 50 - 90 m. Voimaloiden koko on kuitenkin viime aikoina jatkuvasti kasvanut eivätkä yli 100 metrin tornitkaan ole enää kovin harvinaisia. Suomessa käyttöön ollaan ottamassa myös hybridirakenteisia torneja. Hybriditornista n. 50 m on betonia ja loput terästä. [9.]

#### *Konehuone*

Tuulivoimalan konehuoneessa sijaitsevat säätö- ja ohjausjärjestelmät, generaattori sekä vaihteisto. Vaihteistolla roottorin matala kierrosluku, joka on tyypillisesti 10 - 40 rpm (kierrosta minuutissa) muutetaan generaattorille sopivaksi eli noin 1 000 - 1 500 rpm. Generaattorina käytetään yleisimmin 4- tai 6 -napaista epätahtigeneraattoria, jonka pyörimisnopeus määräytyy sähköverkon taajuudesta. Konehuonetta käännetään tuulen suuntaan erillisillä moottoreilla suunta-anturin ja säätölaitteen avulla. Konehuoneen rungon ja kuoren valmistamiseen käytetään yleensä terästä tai lasikuitua. [9.]

#### *Roottori*

Roottorin lavat valmistetaan nykyisin komposiittimateriaaleista, joissa käytetään lasikuitua ja toisinaan hiilikuitua tai puuta yhdessä epoksin tai polyesterin kanssa. Roottorin lavat toimivat lisäksi voimalan pysäytys- ja tehonsäätömekanismina. Tehon säätäminen perustuu joko sakkaukseen tai lapakulman säätämiseen. Voimalan pysäyttämiseen käytetään joko kärkijarruja tai lapojen kääntämistä kokonaan pois tuulesta. Voimaloissa on lisäksi toinen erillinen pysäytysmekanismi, joka toimii levyjarrun avulla joko hitaalla tai nopealla akselilla tai molemmilla. Yleensä levyjarru on nopealla akselilla. [9.]

### 3.1.3 Tuulivoimalan toimintaperiaate

Tuulen sisältämä liike-energia muutetaan pyörimisliikkeeksi käyttäen tuulivoimalan roottorin lapoja. Akselin ja vaihteiston avulla roottori pyörittää generaattoria, joka muuntaa pyörimisliikkeen sisältämän mekaanisen energian sähköenergiaksi. Generaattorin tuottama sähkö syötetään verkkoon joko muuntajan avulla tai suoraan riippuen voimalaan kytketyn verkon jännitetasosta.

Kuten aiemmin mainittiin, täytyy vaaka-akselinen tuuliturbiini kääntää aina kohti tuulta, jotta se tuottaisi mahdollisimman paljon tehoa. Potkuria käännettäessä kohti tuulta esiintyy koriolisvoima, joka pyrkii kiertämään potkurin akselia. Koriolisvoimasta johtuen etenkin kaksilapaisessa turbiinissa esiintyy voimakasta värinää, joka rasittaa potkuria sekä akselia. Kolmelapaisissa potkureissa koriolisvoimasta johtuvat hitausvoimat ovat akselin suhteen tasapainossa, eikä värinää juurikaan esiinny. Tästä syystä voimalat ovat usein kolmelapaisia. [10.]

## 3.2 Aurinkovoima

Aurinkovoimalla tarkoitetaan auringon säteilyn hyödyntämistä energiantuotannossa. Aurinkoenergia on tuulivoiman tavoin uusiutuva energiamuoto, eikä siitä synny päästöjä tai jätettä muuten, kuin laitteiden valmistuksessa ja kierrätyksessä.

Auringon säteilyyn sisältyvä energiamäärä on todella suuri. Säteilyn teho maan pinnalla on noin 170 000 TW. Käytännössä tästä energiasta ei kuitenkaan voida hyödyntää kuin pieni osa. Aurinkovoiman käyttöä suuressa mittakaavassa rajoittavat kustannukset, käyttökohteiden lukumäärä sekä säteilyn vuodenaikavaihtelu. Eteläisessä Suomessa vuosittainen säteilymäärä on suuruusluokaltaan samaa kuin Keski-Euroopassa, mutta säteilyn vuodenaikavaihtelu on suurempaa. Etelä-Suomessa saadaan 90 % säteilyenergiasta maaliskuun ja syyskuun välisellä ajalla. Pohjoiseen mentäessä vuodenaikavaihtelut ovat vielä suurempia. [11.]

Aurinkovoimaa käytetään kuitenkin pienimuotoisessa sähkön ja lämmön tuotannossa. Perinteisesti aurinkosähköjärjestelmiä on käytetty siellä missä verkkosähköä ei ole saatavilla, kuten kesämökeillä, veneillä, linkkimastoissa sekä saaristo- ja erämaakohteissa.

Aurinkosähköllä on kuitenkin mahdollista tuottaa myös suuri osa tavallisen omakotitalon tarvitsemasta sähköstä ja tämän vuoksi verkkoon kytketyt aurinkovoimajärjestelmät ovat yleistymässä. Tällainen asuin- tai toimistorakennukseen asennettu aurinkosähköjärjestelmä tuottaa yleensä osan rakennuksen tarvitsemasta sähköstä ja syöttää oman kulutuksen ylittävän osan energiasta sähköverkkoon. [12.]

### 3.2.1 Aurinkovoimalan rakenne

Auringon säteilyn sisältämä energia muutetaan sähköenergiaksi aurinkopaneelin avulla. Aurinkopaneeli koostuu aurinkokennoista, joihin auringonsäteiden sisältämä energia synnyttää sähköjännitteen. Yleensä kennojen raaka-aineena käytetään yksikiteistä, monikiteistä tai amorfista piitä. Aurinkokenno on siis elektroninen puolijohde. Auringonsäteilyn vaikutuksesta kennon ylä- ja alapinnan välille syntyy jännite. Kennoja sarjaan kytkemällä saavutetaan haluttu jännitteen taso. Aurinkopaneeli esitetään seuraavassa kuvassa (kuva 3). [12.]



Kuva 3. Aurinkopaneeleita [13]

### 3.2.2 Aurinkovoimalan toimintaperiaate

Aurinkovoimala koostuu yleensä yhdestä tai useammasta aurinkopaneelistä, ohjausyksiköstä ja tarvittaessa akustosta. Piistä valmistetut aurinkokennot muuttavat auringon säteilyn sähköenergiaksi niin kutsutun valosähköisen ilmiön avulla. Aurinkopaneelin tuottama sähköenergia johdetaan sähköverkkoa pitkin kulutuslaitteisiin tai akustoon. Suoraan käyttökohteeseen kytketty aurinkovoimala voi olla myös kytkettynä yleiseen sähköjakeluverkkoon, jolloin se syöttää ylimääräisen tehon verkkoon. Akustoon kytketty aurinkovoimala varastoi tuottamansa energian akkuihin myöhempää käyttöä varten. Ohjausyksikkö valvoo järjestelmän toimintaa sekä suojaa akustoa ylivarautumiselta ja syväpurkautumiselta.

Aurinkovoimalan toiminnan kannalta erityisen tärkeää on oikeantyyppinen ja hyvälaatuinen akku. Akustoa käytetään öisin ja pilvisinä päivinä. Akusto täytyy sijoittaa ilmastoituihin ja lapsilta suojattuun tilaan. Yleensä akusto mitoitetaan siten, että sen kapasiteetti riittää kattamaan muutaman päivän normaalikulutuksen ilman välillä tapahtuvaa latausta. Aurinkovoimaloissa käytetään nimenomaan tätä tarkoitusta varten kehitettyä akkua, joka kestää usein toistuvaa lataamista ja purkamista hyvin. [12.]

### 3.3 Muita sähkön pientuotannon muotoja

Sähköä tuotetaan pienimuotoisesti useilla muillakin tavoilla, kuin kahdella aiemmin esitetyllä. Esimerkkeinä voidaan mainita muun muassa pienvesivoima, erilaiset sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitteistot sekä bioenergia.

Pienvesivoimalaitoksessa putouksessa virtaavan veden sisältämä liike-energia muutetaan pyörimisliikkeeksi turbiinin avulla. Turbiini puolestaan pyörittää generaattorin akselia, tuottaen näin sähköä. Pienvesivoimala voidaan rakentaa joko luonnollisen putouksen yhteyteen tai vaihtoehtoisesti putous voidaan luoda keinotekoisesti patojen ja vesiteiden avulla. Kuten tuulivoimassa ja aurinkovoimassa, myös vesivoimalla tuotetussa energiassa esiintyy ajallista vaihtelua vuosittain sateisuuden seurauksena. Suomessa oli alle 1 MW:n minivesivoimaloita sekä 1 - 10 MW:n pienvesivoimaloita vuonna 2006 yhteensä noin 200 kappaletta. Alle 1 MW:n minivesivoiman hyödyntämättömäksi potentiaaliksi vuonna 2006 oli arvioitu noin 140 MW suojelemattomissa vesistöissä.

Suomessa on myös paljon vanhoja saha- ja myllypatoja, joita ei nykyisin hyödynnetä millään tavalla.

Vesivoimaa voidaan sikäli pitää hyvänä sähköntuotantoratkaisuna, että sen rakentamisen jälkeen voimalasta ei juurikaan aiheudu lisäkuluja. Voimalaitosten ohjaaminen onnistuu kauko-ohjatulla automatiikalla ja lisäksi voimalan pitkä käyttöikä pitää tuotantokulut alhaisina. Uudet pienvesivoimalat soveltuvat parhaiten paikkoihin missä sijaitsee jo valmiiksi joko luonnollinen tai keinotekoinen putous. Näissä paikoissa uusien voimaloiden ympäristövaikutukset jäisivät vähäisiksi. [1, s. 9.]

Pienimuotoinen sähkön ja lämmön yhteistuotanto, jota kutsutaan myös CHP - tuotannoksi, perustuu useisiin erilaisiin polttoaine- ja teknologiaratkaisuihin. Vaihtoehtoja tällaiseen pientuotantoon ovat mm. kaasua- ja dieselmoottorit, mikroturbiinit, höyryturbiinit sekä *stirling* - moottorit.

Kaasu- ja dieselmoottorivoimalat koostuvat generaattorista sekä siihen liitetystä mäntämoottorista. Pientuotannossa moottoreita käytetään aina 200 kW:n voimaloista 10 MW:n voimaloihin asti. Haluttu teho saavutetaan kytkemällä useita mäntämoottoreita yhteen. Jatkuvatoimisessa sähkön ja lämmön yhteistuotannossa käytetään yleensä kaasulla toimivia moottoreita. Dieselmoottorit ovat yleisempiä varavoimageneraattoreissa. [1. s. 10.]

Höyryturbiineissa sähkö tuotetaan paineistetulla höyryllä, joka kulkee turbiinin siipien läpi pyörittäen generaattoria. Höyryllä toimivia voimaloita ovat myös lämpökattilan ja höyrykoneen yhdistelmään perustuvat CHP - voimalat. Tällaisessa voimalassa polttoaineesta vapautuu lämpöenergiaa, joka muutetaan höyrykattilalla höyryksi. Höyry ohjataan höyrykoneeseen, jossa se liikuttaa mäntää, joka taas pyörittää kampiakselin välityksellä sähkögeneraattoria. Höyryä voidaan käyttää edelleen myös lämmön tuottamiseen. Polttoaineena tällaisissa voimaloissa voi käyttää periaatteessa mitä tahansa kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista fossiilista- tai biopolttoainetta. Yleisimpiä polttoaineita ovat kiinteät polttoaineet kuten hiili, turve, kierrätyspolttoaineet ja biomassa. Höyrykone on alle 1 MW:n voimaloissa höyryturbiinia taloudellisempi vaihtoehto höyryturbiinin huonon hyötysuhteen vuoksi etenkin osakuormilla. Yli 1 MW:n voimaloissa käytetään kuitenkin höyryturbiinia. [1, s. 10.]

*Stirling* - moottoreita käytetään vain rakennuskohtaisissa voimalasovelluksissa, tehon ollessa luokkaa 2 - 20 kW. *Stirling* - moottori ja dieselmoottori eroavat toisistaan siten, että *Stirling* - moottorin sylinteri on suljettu ja polttoaineen palaminen tapahtuu sylinterien ulkopuolella. Polttoaineena käytetään maakaasua, öljyä tai kiinteitä polttoaineita. [1, s. 10.]

Mikroturbiinit ovat noin 25 - 250 kW:n tehoisia kaasuturbiineita. Polttoaineena voidaan käyttää maa- tai biokaasua, vetyä, kaasutettua kierrätyspolttoainetta tai biomassaa. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös nestemäisiä polttoaineita kuten diesel- tai bioöljyä tai bensiiniä. Palaminen tapahtuu polttokammiossa, josta palamisessa syntynyt kaasu ohjataan suoraan kaasuturbiiniin. Syöttöilman paineistamiseen käytetään kompressoria ennen kuin syöttöilma syötetään polttokammioon. Tavallisesti mikroturbiineissa on vain yksi akseli, johon turbiini, kompressori ja generaattori on laakeroitu. Generaattorin tuottama vaihtovirta on korkeataajuista, koska turbiinin pyörimisnopeudet ovat suuria. Mikroturbiinin tuottama vaihtovirta muunnetaan verkkotaajuiseksi taajuusmuuttajan avulla.

Mikroturbiineita ei käytetä sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, vaan niillä tuotetaan vain sähköä. Pakokaasujen hukkalämmön talteenotolla turbiinin kokonaishyötysuhdetta voidaan kuitenkin nostaa aina 75 - 85 %:n asti. Pelkällä sähköntuotannolla hyötysuhde jää 15 - 35 %:n. Lämpö voidaan ottaa talteen joko höyrynä tai vetenä. [1, s. 10 - 11.]

#### **4 Tekniset vaatimukset tuotantolaitoksen liittämiseksi sähkönjakeluverkkoon**

Pienimuotoisen tuotannon liittämiseksi paikallisen verkonhaltijan yleiseen sähkönjakeluverkkoon on laadittu paljon suosituksia ja erilaisia teknisiä vaatimuksia. Näitä vaatimuksia käsitellään seuraavaksi.



#### 4.1 Sähkömarkkinalaki

Sähkömarkkinalaissa esitetään seuraavat vaatimukset pientuotannon liittamisestä jakeluverkkoon sekä jakeluverkon haltijalle että tuotannon liittäjälle.

Verkonhaltijan tulee ylläpitää, käyttää ja kehittää sähköverkkoaan sekä yhteyksiä toisiin verkkoihin asiakkaiden kohtuullisten tarpeiden mukaisesti ja turvata osaltaan riittävän hyvälaatuisen sähkön saanti asiakkaille (verkon kehittämisvelvollisuus).

Verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja sähköntuotantolaitokset toiminta-alueellaan (liittämisvelvollisuus).

Liittämistä koskevien ehtojen ja teknisten vaatimusten tulee olla tasapuolisia sekä syrjimättömiä ja niissä on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuuden ja tehokkuuden vaatimat ehdot. Verkonhaltijan tulee julkaista liittämistä koskevat tekniset vaatimukset.

[2, § 9.]

#### 4.2 Energiamarkkinavirasto

Energiamarkkinaviraston tehtävänä on valvoa ja edistää sähkö- ja maakaasumarkkinoiden toimintaa sekä tukea ilmastotavoitteiden saavuttamista. Virasto on julkaissut tuotannon liittämisehdot sekä tuotannon verkkopalveluehdot joita se suosittaa noudatettaviksi pienimuotoista tuotantoa verkkoon liitettäessä.

#### 4.3 Energiateollisuus Ry

Energiateollisuus Ry on julkaissut mm. verkostosuosituksen mikrotuotannon verkkoon liittamisestä sekä muistion pienimuotoisen tuotannon liittamisestä sähkönjakeluverkkoon. Näiden julkaisujen ja suositusten tarkoituksena on käsitellä nykylainsäädäntöön, sopimusehtoihin ja muihin ohjeisiin ja vaatimuksiin perustuvia periaatteita pientuotannon liittamisestä, jotka verkkonhaltijoiden tulisi huomioida pienimuotoista tuotantoa verkkoon liitettäessä. Energiateollisuuden julkaisut on tarkoitettu lähinnä verkkonhaltijoiden käyttöön, mutta niistä on apua myös esimerkiksi pientuotantolaitosten jälleenmyyjille. Jälleenmyyjien on hyvä tutustua liittämisperiaatteisiin, jotta ne osattaisiin ottaa huomioon tuotteita markkinoidessa.

#### 4.4 Sähkön laatua koskevat standardit

Suomessa kaiken jakeluverkkoon syötettävän sähköenergian kuuluu täyttää SFS-EN 50160 - standardin asettamat vaatimukset yleisen sähkönjakeluverkon jännitteen ominaisuuksista. Standardi määrittelee syötettävän sähköenergian pääominaisuudet liittymispisteessä eli kohdassa, jossa tuotantokohteen verkko liittyy yleiseen sähkönjakeluverkkoon.

#### 4.5 Fortumin liityntäperiaatteet sähkön tuotantolaitteistoille

Kaikkien edellä mainittujen vaatimusten, suositusten ja ohjeiden pohjalta Fortum Sähkönsiirto Oy ja Fortum Espoo Distribution Oy ovat laatineet sähkömarkkinalain edellyttämällä tavalla sähkön tuotantolaitteistoja koskevat liityntäperiaatteet tuotannon verkkoon liittämistä varten. Ohjeen tarkoituksena on määritellä tuotantolaitteistojen verkkoon liittämisen tekniset vaatimukset liityttäessä verkkoyhtiön hallinnoimaan sähkönjakeluverkkoon. Ohjeessa jakeluverkoiksi luetaan jännitetasoltaan alle 24 kV:n verkot.

##### 4.5.1 Yleistä sähkön tuotantolaitteistoista ja niiden liitynnöistä

Fortumin tuotantoliittymiä koskevien teknisten vaatimusten tarkoituksena on varmistaa etteivät verkkoon liitetyt tuotantolaitteistot aiheuta häiriötä muille sähkönkäyttäjille ja yleiselle jakeluverkolle. Vaatimuksilla estetään myös vaaratilanteiden syntymistä verkon käyttö- ja kunnossapitotöissä työskenteleville henkilöille tai muille jakeluverkon kanssa tekemisissä oleville henkilöille.

Tuotantolaitteistoiksi ohjeessa katsotaan generaattoreiden lisäksi myös muut sähköä syöttävät laitteistot, kuten suuntaajilla varustetut akustot sekä erilaisilla polttokennoilla toteutetut tuotantolaitteistot. Laitteistojen sekä niiden verkkojen suunnittelussa, teknisissä rakenteissa, käytössä ja ylläpidossa on varmistuttava siitä, ettei tuotantolaitteisto aiheuta häiriötä tai vaaratilanteita. Tällaisia häiriöitä ja vaaratilanteita voi aiheutua esimerkiksi vaiheiden epäsymmetrian, jännitteenvaihteluiden tai tuotantolaitteiston virheellisen toiminnan vuoksi verkon häiriötilanteen aikana. Tuotantolaitteistojen sekä muiden toteutuksessa käytettyjen verkon osien pitää täyttää myös yleisen jakeluverkon ja asiakkaan verkon väliset toimintavaatimukset sekä sähköturvallisuuden vaatimukset.

Lisäksi tuotantolaitteiston toteutuksen on oltava sellainen, ettei tuotantolaitteiston sekä jakeluverkon saarekekäyttö ole mahdollista eikä takasyötön vaaraa ole.

Tuotantolaitteistoa suunnitellessa tulee ottaa yhteyttä jakeluverkon haltijaan jo suunnitteluvaiheessa verkkoon liittymismahdollisuuden selvittämiseksi. Tällä tavalla verkkoyhtiölle jää myös riittävästi aikaa liittymisvaihtoehtojen määrittämistä, liittymän suunnittelua sekä verkon rakennustoimenpiteitä varten.

Tuotantolaitoksen suunnittelijan tulee toimittaa tuotantolaitteiston sähkötekniset tiedot verkkoyhtiölle jakeluverkkoliitynnän suunnittelua varten. Ennen laitoksen käyttöönottoa tuotantolaitoksen tiedot päivitetään jakeluverkon haltijan tietojärjestelmiin, tehdään tarvittavat energiamittauksen muutokset sekä tarkistetaan, että liitynnälle ja suojausjärjestelmille asetetut vaatimukset täyttyvät. Jokainen tuotantoliittymä käsitellään tapauskohtaisesti sähkömarkkinalain 14 b §:n mukaisesti.

Sähköntuotantolaitteistojen liittymis- ja verkkopalvelusopimuksissa noudatetaan Fortumin jakeluverkkoyhtiöissä Energiateollisuus Ry:n yleisesti hyväksymiä verkkopalvelu- ja liittymisehtoja VPE05 ja LE05. Tuotannon osalta noudatetaan tuotannon verkkopalvelu- ja liittymisehtoja TVPE05 ja TLE05. Sähköntuotantolaitteiston luokka määrittelee mitä ehtoja kussakin kohteessa noudatetaan. [14, s. 1.]

#### 4.5.2 Tuotantolaitteistojen luokat

Fortumin jakeluverkkoyhtiöissä verkkoon liitettävät sähkön tuotantolaitteistot jaetaan viiteen eri luokkaan toimintaperiaatteen ja käyttötarkoituksen perusteella. Jokaiselle luokalle määritetään jakeluverkkoliityntää koskevat ohjeet ja vaatimukset. Tuotantolaitteistojen luokittelut esitetään seuraavassa taulukossa (taulukko 1). [14, s. 2.]

Taulukko 1. Tuotantolaitteistojen luokat [14, s. 2]

		Luokka	Rinnan- käynnin- esto	Tahdistus	Yhteen- sopivuus- ehdot	Yksin- syötön- esto	Sopi- mus- ehdot
Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvät tuotantolait- teistot	Rinnankäyttö estetty mekaani- sella kytkimellä	Lk 1	x	-	-	-	LE05 VPE05
	Rinnankäyttö rajoitettu auto- maattisella syötönvaihdolla (kork. 5 s)	Lk 2	x	x	-	-	LE05 VPE05
Yleisen jakelu- verkon kanssa rinnankäyvät tuotantolait- teistot	Sähkön siirto jakeluverkkoon estetty	Lk 3a	-	x	x	x	LE05 VPE05
	Sähkön siirto jake- luverkkoon sallittu	Lk 3b	-	x	x	x	LE05 VPE05
	Tuottaja ei saa korvausta verk- koon siirtyneestä sähköstä (vain pienet mikroge- neraattorit)						
	Tuottaja myy sähköä muulle sähkökaupan markkinaosa- puolelle	Lk 4	-	x	x	x	TLE05 TV- PE05

#### 4.5.3 Ohjeet ja vaatimukset eri luokkien tuotantolaitteistoille

Jakeluverkkoliityntään vaikuttavat merkittävästi tuotantolaitoksen koko, tyyppi sekä sijainti verkossa. Verkkoliityntämahdollisuuksia määritettäessä liitettävälle tuotantolaitokselle olennaisessa osassa ovat verkon siirtokyvyn, häviöiden, liittymispisteen sähköisen jäykkyyden sekä sähkön laadun riittävyyden arvioinnit. Eri luokkien tuotantolaitosten verkkoliityntöjen merkittävimpien sähkötekniisten kriteerien lisäksi täytyy tapauskohtaisesti koordinoita tuotantolaitteiston ja jakeluverkon suojaukset. Liityntää suunniteltaessa vaaditaan Fingridin järjestelmätekniisten vaatimusten huomioimista ja soveltamista.

Tuotantolaitteistojen täytyy lisäksi täyttää yleisten sähkön laatua sekä sähköturvallisuutta koskevien standardien vaatimukset. Jakeluverkkoon tahdistuksessa tulee käyttää automaattitahdistusta. [14, s. 2.]

**Luokka 1.** Yleisestä jakeluverkosta erillään käyvä tuotantolaitteisto, rinnankäyttö estetty mekaanisella kytkimellä

Tuotantolaitteiston rinnankäynti jakeluverkon kanssa tulee estää erotuskytkinvaatimukset täyttävällä mekaanisella vaihtokytkimellä, joka kytkee kuormitukset joko tuotantolaitteiston tai yleisen jakeluverkon taakse. Kytkimen asennoksi suositetaan 0- eli neutraalia keskiasentoa. [14, s. 3.]

**Luokka 2.** Yleisestä jakeluverkosta erillään käyvä tuotantolaitteisto, rinnankäyttöaika rajoitettu automaattista syötön vaihtoa käyttämällä

Tahdistettavalla kontaktori- tai katkaisijavaihtoautomaatiikalla varustetut tuotantolaitteistot kuuluvat luokkaan 2. Tällaiset laitteistot on yleensä tarkoitettu varavoimakäyttöön verkon vika- ja häiriötilanteissa.

#### *Toimintaa koskevat vaatimukset*

Tuotantolaitteiston ja yleisen jakeluverkon rinnankäyntiaika täytyy rajoittaa korkeintaan 5 sekuntiin releautomaatiikan avulla. Jakeluverkon häiriö- tai vikatilanteissa tulee yhteys asiakkaan tuotantolaitteistolla varmistetun verkon sekä yleisen jakeluverkon välillä katketa luotettavasti ennen kuin tuotantolaitteistolla voidaan ruveta syöttämään asiakkaan verkkoa.

Yleisen jakeluverkon jännitteen palatessa saa asiakkaan tuotantolaitoksen kautta syötetty verkko kytkeytyä jakeluverkkoon tahdistumalla vasta, kun jakeluverkon jännite on ollut 10 minuuttia normaaliarvossaan. [14, s. 3.]

#### *Tuotantolaitteistolta vaadittava erotuskytkin*

Asiakkaan jakelulaitteisiin tulee sisältyä lukittava erotuskytkin, jolla voidaan tarpeen tullen estää sähkön syöttö yleiseen jakeluverkkoon. Erotuskytkimen sijaintitieto tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle. Erotuskytkin tulee sijoittaa siten, että jakeluverkonhaltijan edustajalla on helppo ja nopea pääsy kytkimelle. Erotuskytkin voi sijaita esim. pääkeskuksen pääkytkimen tai mittauskeskuksen välittömässä läheisyydessä. Erotuskytkin

tulee merkitä selkein opastetarroin ja merkinnöin, jotta se on helposti tunnistettavissa.  
[14, s. 3.]

**Luokka 3a.** Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvä tuotantolaitteisto, sähkön siirto jakeluverkkoon estetty

Keskijänniteverkkoon liittyvän tuotantolaitteiston tai samaan liityntäpisteeseen kytkettyjen tuotantolaitosten aiheuttama jännitemuutos sellaisilla keskijänniteverkon johtolähdöillä tai kytkennöillä, joihin on liittyneenä myös muita asiakkaita saa olla korkeintaan 2,5 % nimellijännitteestä.

Mikäli liityntä tapahtuu ainoastaan tuotantoa sisältävään keskijänniteverkon johtolähtöön, saa jännitemuutos kyseisellä johtolähdöllä olla korkeintaan 5 % nimellijännitteestä.

Pienjänniteverkkoon liittyvän tuotantolaitteiston tai samaan liityntäpisteeseen kytkettyjen tuotantolaitosten aiheuttama jännitemuutos saa olla korkeintaan 4 % nimellijännitteestä missä tahansa verkon osassa, mikäli muuntopiiriin on liittyneenä myös muita asiakkaita.

Mikäli liityntä tapahtuu vain tuotannon liittämiseen tarkoitettuun jakelumuuntamoon, saa suurin pienjänniteverkkoon aiheutuva jännitemuutos olla korkeintaan 6 % nimellijännitteestä.

Rinnankäytön aikana tuotantolaitteiston tai -laitteistojen tulee toimia vähintään tehokertoimella  $\cos = 0,95$  (induktiivista tai kapasitiivista), ellei toisin ole sovittu.

Tuotantolaitteiston tai -laitteistojen, jotka on kytketty samaan liityntäpisteeseen aiheuttama välkyntä saa muiden asiakkaiden liityntäpisteissä olla enintään  $Plt \leq 0,2$  (pitkäaikainen välkyntän häiritsevyyssindeksi) ja  $Pst \leq 0,3$  (lyhytaikainen välkyntän häiritsevyyssindeksi).

Yliaaltovirtojen osalta tuotantolaitteistojen tapauksessa noudatetaan Senerin vuoden 2001 pienvoimaloiden verkkoon kytkennän ohjeistuksessa esitettyjä raja-arvoja. Arvot

löytyvät seuraavasta taulukosta (taulukko 2). Taulukossa esitetään pienvoimalalle sallittavat yliaaltovirrat  $I_h$  prosentteina liittymän referenssivirrasta  $I_R$ . Kokonaisarvo saa olla korkeintaan 5 %. Sulakepohjaisessa liittymässä referenssivirta voi olla liittymän pääsulakkeen nimellisvirta  $I_N$  ja tehopohjaisessa liittymässä liittymissopimuksen mukainen virta. [14, s. 3 - 4.]

Taulukko 2. Pienvoimalalle sallittavat yliaaltovirrat [14, s. 4]

Yliaallon järjestysluku $h$	Parittomat yliaaltovirrat $I_h$ , prosenttia $I_p$ :sta	Parilliset yliaaltovirrat $I_h$ , prosenttia $I_p$ :sta
$h < 11$	4,0 %	1,0 %
$11 \leq h < 17$	2,0 %	0,5 %
$17 \leq h < 23$	1,5 %	0,4 %
$23 \leq h < 35$	0,6 %	0,2 %
$35 \leq h < 50$	0,3 %	0,1 %

*Tuotantolaitteiston toiminta verkon häiriö- ja vikatilanteissa sekä saarekekäytön estosuojaus*

Tuotantolaitteisto on varustettava saarekekäytön estävillä suojalaitteilla, jotka kytkevät tuotantolaitteiston irti verkosta, mikäli verkkosyöttö katkeaa. Suojalaitteiston on kytkettävä tuotantolaitteisto irti verkosta myös, mikäli verkon jännite tai taajuus poikkeaa normaaleista arvoista. Tuotantolaitteiston ja jakeluverkon oikosulku- ja maasulkusuojaukset täytyy lisäksi yhteen sovittaa siten, että jakeluverkon suojaus- ja turvallisuusvaatimukset täyttyvät.

Verkkosyötön katkeamisen toteaminen, saarekekäytön esto sekä irtikytkentä verkosta voidaan toteuttaa esim. seuraavia estoreleitä käyttäen:

- taajuuden muutosnopeusrele  $df/dt$
- myötä – alijänniterele  $U1 <$
- impedanssin muutosrele  $dZ$
- muu verkonhaltijan hyväksymä suojausmenetelmä.

Suojareleiden mittaussuureet, jotka ilmaisevat jakeluverkon tilaa tulee mitata pääkatkaisijan jakeluverkon puolelta. Tuotantolaitteiston apusähkönsyöttö tulee varmentaa

akustoa käyttämällä siten, että varmistetaan tuotantolaitoksen ohjausyksiköiden ja suojauksen toiminta myös silloin, kun jakeluverkon sähkönsyöttö on katkennut. Käytettävien suojarleiden on oltava kolmivaiheisia. Tuotantolaitoksen suojauksen ja rakenteen tulee kestää rikkoutumatta rinnankäyntitilassa yleisen jakeluverkon käyttöhäiriöt, kuten oiko- ja maasulkuvat pikajälleenkytkentöineen sekä jännitekuopat ja taajuushäiriöt.

Tuotantolaitteisto saa kytkeytyä verkkoon vain silloin, kun jakeluverkon jännitteen ja taajuuden arvot ovat sallittujen rajojen sisäpuolella. Jakeluverkon vika- ja häiriötilanteiden jälkeen tuotantolaitteisto saa kytkeytyä verkonhaltijan jakeluverkkoon vasta sen jälkeen, kun verkon jännite sekä taajuus ovat olleet normaaliarvoissaan vähintään 10 minuuttia. [14, s. 4.]

#### *Verkkoon syötön estäminen*

Sähkön käyttöpaikan pääkatkaisijalle on järjestettävä tehon suuntaa valvova laitteisto, jonka täytyy vähentää tarvittaessa tuotantolaitteiston tehoa siten, ettei tehon virtaus ole ulospäin sähkön käyttöpaikasta eli yleiseen jakeluverkkoon päin. Vaihtoehtoisesti verkkoon syöttö voidaan estää laitteistolla, joka kytkee tuotantolaitteiston irti yleisestä verkosta, mikäli tehon suunta kääntyy jakeluverkkoon päin. Molemmissa tapauksissa tehon syöttö käyttöpaikan ulkopuolelle tulee lopettaa alle 5 sekunnin kuluttua tehon suunnan kääntymisestä ulkopuoliseen verkkoon päin.

Tehon suunnan valvomiseen voidaan käyttää esim. energiamittaria, josta saadaan kosketintieto ulospäin mittaavan rekisterin käynnistymisestä. Kosketintiedon avulla tuotantolaitteisto laukaistaan irti ulkopuolisesta verkosta tai pienennetään tuotantolaitteiston tuottamaa tehoa automatiikan avulla.

Tuotantolaitteiston testit ja koeajot tulee suorittaa käyttäjän omaan kuormitukseen. Mikäli käyttäjän kuorma ei riitä tähän tulee käyttää keinokuormia tai muita tapoja joilla estetään tehon syöttäminen verkonhaltijan verkkoon. [14, s. 5.]



### *Tuotantolaitteiston erotuskytkin ja sen käyttäminen*

Sähkönsyöttö verkonhaltijan jakeluverkkoon tulee voida tarvittaessa estää lukittavalla erotuskytkimellä. Erotuskytkimen sijaintitieto tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle. Jakeluverkonhaltijan edustajalla tulee olla helppo ja nopea pääsy erotuskytkimelle. Erotuskytkimen on hyvä sijaita esim. pääkeskuksen pääkytkimen tai mittauskeskuksen välittömässä läheisyydessä. Erotuskytkin täytyy merkitä selkein opastetarroin ja merkinnöin, jotta se olisi helposti tunnistettavissa.

Jakeluverkon haltijan edustajalla on tarvittaessa oikeus erottaa tuotantolaitteisto verkosta, mikäli esim. verkon kunnossapito tai korjaustyöt sitä edellyttävät. Tuotantolaitteisto voidaan erottaa verkosta myös, mikäli se ei täytä tuotantolaitteistolle tai liittymälle asetettuja vaatimuksia tai aiheuttaa häiriötä muualle jakeluverkkoon. Tuotantolaitteiston verkosta erottamisesta pyritään aina ilmoittamaan tuottajalle erikseen. [14, s. 5.]

#### **Luokka 3b.** Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvät mikrotuotantolaitteistot

Fortumin laatimassa ohjeessa mikrotuotantolaitoksiksi määritellään yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvät yksi- tai useampivaiheiset tuotantolaitteistot, jotka on liitetty pienjänniteverkkoon korkeintaan 16 ampeerin sulakkeilla. Mikrotuotantolaitteisto voidaan toteuttaa käyttämällä kahta tai useampaakin rinnankytkettyä tuotantoyksikköä, mutta tässäkin tapauksessa tulee tuotantolaitteiston kokonaisnimellisvirta olla korkeintaan 16 A/vaihe. Mikrotuotantokohteissa satunnainen ylijäämänsähkön syöttö jakeluverkkoon sallitaan, vaikka kukaan sähkökauppaa käyvä osapuoli ei ostaisikaan sitä. Fortumin ohjeistuksessa esitettyjen vaatimusten lisäksi mikrotuotannon verkkoliityntöjen osalta noudatetaan standardin EN 50438 vaatimuksia. [14, s. 5.]

#### *Mikrotuotantoliittymän yleisimmät mitoitusperiaatteet*

Pienjänniteverkkoon liitetyn mikrotuotantolaitoksen tai samaan liittymispisteeseen kytettyjen mikrotuotantolaitosten aiheuttama jännitemuutos saa olla korkeintaan 4 % nimellisjännitteestä missä tahansa pienjänniteverkon osassa, mikäli samaan jakelu-  
muuntamoon on liittyneenä myös muita asiakkaita. [14, s. 5.]

*Tuotantolaitteiston toiminta verkon häiriö- ja vikatilanteissa sekä saarekekäytön estosuojaus*

Mikrotuotantolaitteistojen suojaus on toteutettava siten, ettei taka- tai saarekesyöttöjä pääse syntymään jakeluverkon vika- ja häiriötilanteiden aikana. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jakeluverkon vika- ja häiriötilanteissa tuotantolaitteiston tulee kytkeytyä irti verkosta, mikäli verkon jännite laskee tai katoaa kokonaan. Suojauksen aseteluiden osalta noudatetaan standardin EN 50438 Annex A Suomen kansallisia vaatimuksia. Mikäli tuotantolaitteisto koostuu useista erillisistä mikrotuotantolaitteistoista, joilla on joko erilliset tai yhteinen liittymän suojalaitteisto, on suojaus todennettava koko asennuksen osalta erikseen. Seuraavasta taulukosta käyvät ilmi suojauksen toiminta-arvot ja laukaisurajat eri parametreilla (taulukko 3). [14, s. 5 - 6.]

Taulukko 3. Suojauksen toimintarajat [14, s. 6]

Parametri	Kokonaisaikaohidastus, s	Laukaisun raja-arvot
Ylijännite (porras 1)	1,5	$U_N + 10 \%$
Ylijännite (porras 2)	0,15	$U_N + 15 \%$
Alijännite (porras 1)	5	$U_N - 15 \%$
Alijännite (porras 2)	0,15	$U_N - 50 \%$
Ylitaajuus	0,2	51,0 Hz
Alitaajuus	0,5	48,0 Hz
YSE	0,5	*)
*) Laukaisuraja-asettelut sovitaan jakeluverkon haltijan kanssa riippuen valitusta YSE-suojatyypistä Taulukon aikahidastus muodostuu releen ja katkaisijan yhteenlasketusta toiminta-ajasta. Releiden tulee olla 3-vaiheiset, paitsi taajuusreleiden, jotka voivat olla yksivaiheiset.		

*Tuotantolaitteiston erotuskytkin ja sen käyttäminen*

Sähkökäyttäjän jakelulaitteisto on varustettava lukittavalla erotuskytkimellä, jolla sähkönsyöttö jakeluverkonhaltijan verkkoon on mahdollista estää tarvittaessa. Erotuskytkimen sijaintitieto tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle. Jakeluverkon haltijan edustajalla tulee olla helppo ja nopea pääsy erotuskytkimelle. Kytkimen on hyvä sijaita esim. pääkeskuksen pääkytkimen tai mittauskeskuksen välittömässä läheisyydessä. Erotuskytkin on merkittävä selkein opastetarroin ja merkinnöin, jotta se olisi helposti tunnistettavissa.

Jakeluverkon haltijan edustajalla on tarvittaessa oikeus erottaa tuotantolaitteisto verkosta, mikäli esim. verkon kunnossapito tai korjaustyöt sitä edellyttävät. Tuotantolaitteisto voidaan erottaa verkosta myös, mikäli se ei täytä tuotantolaitteistolle tai liittymälle asetettuja vaatimuksia tai aiheuttaa häiriötä muualle jakeluverkkoon. Tuotantolaitteiston verkosta erottamisesta pyritään aina ilmoittamaan tuottajalle erikseen. [14, s. 6.]

#### **Luokka 4.** Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvä tuotantolaitteisto

Keskijänniteverkkoon liitetyn tuotantolaitteiston tai samaan liittymispisteeseen kytkettyjen tuotantolaitteistojen aiheuttama jännitemuutos keskijänniteverkon johtolähdöillä tai -kytkemöillä, joihin on liittyneenä myös muita asiakkaita saa olla korkeintaan 2,5 % nimellisjännitteestä.

Mikäli liityntä tapahtuu ainoastaan tuotantoa sisältävään keskijänniteverkon johtolähtöön, saa kyseisen johtolähdön tuotantolaitteistosta aiheutuva jännitemuutos olla korkeintaan 5 % nimellisjännitteestä.

Pienjänniteverkkoon liitetyn tuotantolaitteiston tai samaan liittymispisteeseen kytkettyjen tuotantolaitteistojen aiheuttama jännitemuutos missä tahansa pienjänniteverkon osassa saa olla korkeintaan 4 % nimellisjännitteestä, jos samaan jakelumuuuntamoon on liittyneenä myös muita asiakkaita.

Mikäli liityntä tapahtuu ainoastaan tuotannon liittämiseen tarkoitettuun jakelumuuuntamoon, saa tuotantolaitteistosta aiheutuva jännitemuutos olla korkeintaan 6 % nimellisjännitteestä missä tahansa pienjänniteverkon osassa.

Rinnankäytön aikana tuotantolaitteistojen tulee toimia vähintään tehokertoimella  $\cos = 0,95$  (induktiivista tai kapasitiivista), ellei toisin ole sovittu.

Tuotantolaitteiston tai -laitteistojen, jotka on kytketty samaan liityntäpisteeseen aiheuttama välkyntä saa muiden asiakkaiden liityntäpisteissä olla enintään  $P_{It} \leq 0,2$  (pitkäaikainen välkyntän häiritsevyyssindeksi) ja  $P_{st} \leq 0,3$  (lyhytaikainen välkyntän häiritsevyyssindeksi).

Tuotantolaitteistojen aiheuttamien yliaaltovirtojen osalta noudatetaan samoja raja-arvoja, kuin luokan 3a laitteistoissa. Raja-arvot löytyvät aiemmin esitetystä taulukosta (taulukko 2). [14, s. 6 - 7.]

*Tuotantolaitteiston toiminta verkon häiriö- ja vikatilanteissa sekä saarekekäytön estosuojaus*

Luokan 4 tuotantolaitteistojen tapauksessa vaatimukset tuotantolaitteiston toiminnasta verkon häiriö- ja vikatilanteissa sekä saarekekäytön estosuojauksesta ovat samat kuin luokan 3a - tuotantolaitteistojen tapauksessa. Vaatimukset on esitetty luokan 3a teknisiä vaatimuksia käsittelevässä luvussa aiemmin.

*Tuotantolaitteiston erotuskytkin ja sen käyttäminen*

Luokan 4 - tuotantolaitteistojen erotuskytkintä ja sen käyttöä koskevat vaatimukset ovat samat kuin luokan 3a- ja 3b - tuotantolaitteistoilla.

#### 4.5.4 Sähköntuotannon mittaus

Mikäli tuottaja siirtää ja myy sähköä yleiseen sähkönjakeluverkkoon, on sähkön tuotantopaikkaan järjestettävä kaksisuuntainen mittaus kuten tuotannon sopimusehdot vaativat. Valtioneuvoston asetuksen mukaan tuotantokohteet tulee aina varustaa tuntimitauksella. Mikäli tuotantolaitoskohteessa on myös kulutusta, tulee kohde varustaa tuntimittauslaitteistolla, jolla voidaan mitata kohteen oman tuotannon kulutus eli todentaa kohteessa kulutettu itse tuotettu sähkö.

Verkosta oton ja verkkoon annon mittaamisen järjestämisestä on vastuu verkonhaltijalla. Mikäli tuotantolaitoksen nimellisteho on korkeintaan 1 MVA, vastaa oman tuotannon kulutuksen mittaamisesta asiakas. Tuotantolaitoksen nimellistehon ylittäessä 1 MVA, siirtyy vastuu oman kulutuksen mittaamisesta jakeluverkonhaltijalle.

Netottavaa mittausta ei sallita tuotantolaitoksille. Mittauksen yleiset vaatimukset, kuten mittamuuntajien toisiovirrat ja tarkkuusluokka löytyvät Fortumin yleisohjeista. [14, s. 8.]

## 5 Sähkön pientuotannon liittymismaksuperiaatteet

Kauppa- ja teollisuusministeriö perusti vuonna 2006 työryhmän valmistelemaan lainmuutosta, jonka tavoitteena oli pienimuotoisen tuotannon verkkoon pääsyn helpottaminen. Työryhmä päätyi esittämään, että lakiin lisätään sähköntuotannon verkkopalvelumaksuja koskeva erityissäännös, jonka perusteella jakeluverkonhaltija ei saa sisällyttää pienimuotoisen sähköntuotantokohteen liittymismaksuun kustannuksia, jotka ovat aiheutuneet sähköverkon vahvistamisesta. Tämän lisäksi sähköntuotannolta perittävillä siirtomaksuilla tulee kattaa suhteellisesti pienempi osuus sähköverkon kustannuksista kuin sähkönkulutukselta veloittavilla siirtomaksuilla. Ylärajaksi sähköntuotannon siirtomaksuille asetettiin 0,07 snt/kWh. Lakimuutos astui voimaan 1.2.2008.

Edellä mainittuun lakimuutokseen perustuen Energiateollisuus Ry julkaisi pientuotannon liittymismaksuperiaatteita koskevan suosituksen jakeluverkkoon liitettäviä sähkön pientuotantokohteita varten. Energiamarkkinavirasto on pyytänyt sähkön jakeluverkkoyhtiöitä toimittamaan kirjallisen selvityksen sähkön pientuotantokohteiden liittymismaksuperiaatteista 1.5.2011 mennessä.

Energiateollisuus Ry:n suosituksen pohjalta Fortum Sähkönsiirto Oy sekä Fortum Espoo Distribution Oy ovat laatineet kirjallisen selvityksen tuotantokohteiden liittymismaksuperiaatteista Energiamarkkinavirastolle. Liittymismaksuperiaatteet Fortumin verkkoalueella esitetään seuraavaksi.

### 5.1 Fortumin hinnoitteluperiaatteet sähkön tuotantoliittymille

Fortumin liittymismaksuperiaatteista tuotantoliittymien osalta laadittu kirjallinen selvitys on toimitettu energiamarkkinavirastolle. Dokumenttia ei ole vielä julkaistu Fortumin nettisivuilla, mutta selvitys on saatavilla pyynnöstä esimerkiksi Fortumin asiakaspalvelun kautta.

#### 5.1.1 Yleistä sähkön tuotantoliittymien hinnoittelusta

Tuotantolaitteistoja koskevat liittymismaksuperiaatteet on määritelty erikseen nimellisteholtaan korkeintaan 2 MVA tehoisille ja tätä suuremmille tuotantokohteille. Mikäli

tuotantolaitoksen nimellisteho on korkeintaan 2 MVA, veloitetaan liittymismaksuna jakeluverkkoon liittämiseksi vaadittavan verkon rakentamiskustannukset sekä mahdolliset verkon suojauksesta aiheutuvat kustannukset, joita edellytetään tuotantolaitteiston verkkoon liittämistä varten. Mikäli tuotantolaitoksen liittymisteho ylittää 2 MVA, veloitetaan liittyjältä myös niin sanottu kapasiteettivarausmaksu.

Mikäli sähköliittymässä on myös kulutusta sähköntuotannon ohella, peritään liittymismaksuna vähintään kulutuksen liittymistehoa vastaava liittymismaksu. Muussa tapauksessa määrittäminen valitaan suuremman liittymistehon mukaan.

Liittymismaksu ei sisällä tuotantolaitoksen ja liittämiskohdan eli liittymispisteen välisen liittymisjohdon rakentamiskustannuksia. Liittymissopimuksella määritellään liittymän liittymispiste.

Fortumin jakeluverkkoyhtiöt eli Fortum Sähkönsiirto Oy ja Fortum Espoo Distribution Oy noudattavat tuotantolaitoksien liittymismaksujen määrittämisessä Energiamarkkinaviraston päätöksen Dnro 603/432/2010 mukaisia hinnoitteluperiaatteita. Verkostokomponentit, joita käytetään liittymän verkon rakentamiseen hinnoitellaan Energiamarkkinaviraston vahvistamilla yksikköhinnoilla. [15, s. 1.]

#### 5.1.2 Enintään 2 MVA sähköntuotantolaitoksen liittymismaksun määräytyminen

Tuotantolaitoksen ollessa näennäisteholtaan korkeintaan 2 MVA veloitetaan liittyjältä liittymismaksuna tuotantolaitoksen liittämiseen vaadittavan verkon rakentamiskustannukset. Lisäksi voidaan veloittaa liittämisen kannalta tarpeellisten suojausten aiheuttamat kustannukset. [15, s. 1.]

#### 5.1.3 Yli 2 MVA sähköntuotantolaitoksen liittymismaksun määräytyminen keskijänniteverkossa

Mikäli tuotantolaitos ylittää näennäisteholtaan 2 MVA, veloitetaan liittyjältä liittymismaksuna tuotantolaitoksen liittämiseen vaadittavan verkon rakentamiskustannukset sekä kapasiteettivarausmaksu. Lisäksi voidaan veloittaa liittämisen kannalta tarpeellisten suojausten aiheuttamat kustannukset.

Yhtälömuotoisena liittymismaksun määräytyminen keskijänniteverkossa voidaan esittää seuraavalla tavalla:

$$\text{Liittymismaksu} = a + b * P \quad (1)$$

missä

- a on kustannus, joka kattaa sähköntuotantolaitteiston jakeluverkkoon liittämiseksi vaadittavan sähköverkon rakentamiskustannukset
- b on kapasiteettivarauskustannus, joka kattaa olemassa olevan keskijännitejakeluverkon vahvistamisen [€/kVA] tai [€/MVA]
- P on liittyjän liittymisteho [kVA] tai [MVA].  
[15, s. 2.]

#### 5.1.4 Yli 2 MVA tuotantolaitoksen liittymismaksun määräytyminen alueverkossa

Alueverkolla tarkoitetaan Suomessa yleensä 110 kV:n jännitetasoista runkoverkkoa. Osa 110 kV alueverkoista on Suomen kantaverkon tapaan Fingrid Oyj:n omistuksessa, mutta myös Fortumin sähköverkkoon kuuluu jonkin verran alueverkkoa eri puolilla Suomea.

Mikäli tuotantolaitos liitetään alueverkkoon ja se ylittää näennäisteholtaan 2 MVA, veloitetaan liittyjältä liittymismaksuna tuotantolaitoksen liittämiseen vaadittavan verkon rakentamiskustannukset sekä liittämisestä Fortumille mahdollisesti aiheutuvat kulut.  
[15, s. 2.]

Pientuotannon liittäminen alueverkkoon on kuitenkin ainakin nykyään vielä todella harvinaista, sillä tuotantolaitokset on usein kokonsa puolesta järkevämpää liittää keski- tai pienjänniteverkkoon.

### 5.1.5 Liittymispisteen määrittäminen

Tuotantolaitteisto voidaan liittää jakeluverkonhaltijan verkosta määrittelemään pisteeseen. Liittymispiste määritetään tapauskohtaisesti ja se käy ilmi liittymissopimuksesta.

Tuotantolaitteiston liittymispisteen määrittäminen tapahtuu teknisten tarkastelujen perusteella jakeluverkkokokonaisuuden kannalta sellaiseen kohtaan, missä tuotantolaitteiston liittymä täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset esimerkiksi välkynnän, jännitteenvaihtelun, sähköverkon suojauksen ja käyttötekniikkatekijöiden osalta. [15, s. 2.]

### 5.1.6 Liittymänmuutokset

#### *Liittymän jännitetaso vaihtaminen*

Liittymän jännitetasoa vaihdettaessa irtisanotaan vanha liittymissopimus ja tehdään tilalle uusi, joka vastaa uutta liittymistehoa. Liittymän muutostöistä aiheutuvista kustannuksista vastaa liittynyt. Mahdolliset omistussuhteen muutokset koskien olemassa olevaa jakeluverkkoa käsitellään aina tapauskohtaisesti. [15, s. 2.]

#### *Enintään 2 MVA:n liittymän koon suurentaminen*

Tehonlisäyksen yhteydessä enintään 2 MVA:n näennäissähkötehoisen liittymän ollessa kyseessä veloitetaan yksin tuotantolaitteistoa palvelevan verkonosan ja laitteistojen rakentamiskustannukset.

Mikäli olemassa olevan enintään 2 MVA:n liittymän koko kasvaa yli 2 MVA:n, hinnoitellaan liittymänmuutos yli 2 MVA:n tuotantolaitoksia koskevien hinnoitteluperiaatteiden mukaisesti. Uutta liittymistehoa vastaava liittymismaksu saadaan vähentämällä aiemmin maksettu liittymismaksu uuden liittymän mukaisesta liittymismaksusta. [15, s. 3.]



### *Yli 2 MVA:n liittymän koon suurentaminen*

Näennäissähköteholtaan 2 MVA ylittävän tuotantolaitoksen liittymäkoon suurentaminen hinnoitellaan muutoksesta aiheutuvien välittömien sähköverkon rakentamiskustannusten, kapasiteettivarausmaksun sekä uuden ja vanhan liittymistehon välisen erotuksen perusteella.

Yhtälömuodossa yli 2 MVA:n liittymän koon suurentamisen hinnoittelu esitetään seuraavalla tavalla:

$$\text{Liittymismaksu} = a + b * (P_{uusi} - P_{vanha}) \quad (2)$$

missä

a on kustannus, joka kattaa sähköntuotantolaitteiston jakeluverkkoon liittämiseksi vaadittavan sähköverkon rakentamiskustannukset

b on kapasiteettivarauskustannus, joka kattaa olemassa olevan keskijännitejakeluverkon vahvistamisen [€/kVA] tai [€/MVA]

$P_{uusi}$  on liittäjän uusi liittymisteho [kVA] tai [MVA]

$P_{vanha}$  on liittäjän vanha liittymisteho [kVA] tai [MVA].

[15, s. 3.]

## **6 Sähkön pientuotanto Euroopassa**

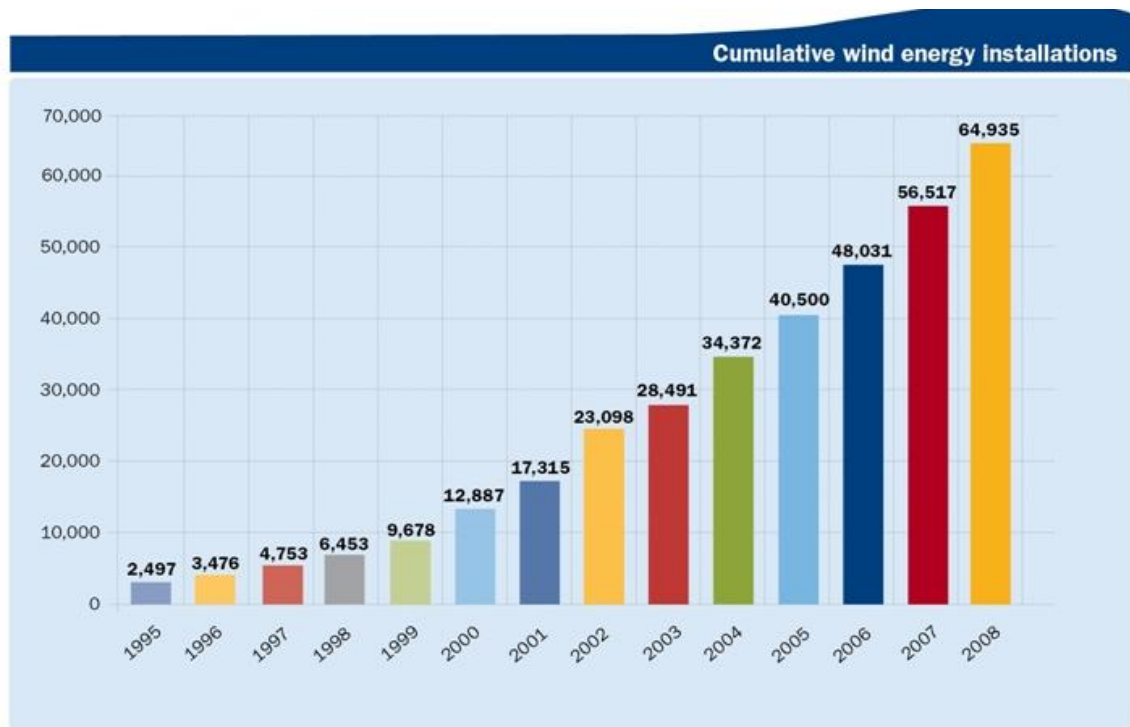
Sähköenergian tarve maailmalla on jo vuosien ajan jatkuvasti vain kasvanut. Yhtäaikaista ilmaston lämpeneminen ja saasteet koetaan suurena, kansainvälisenä ongelmana. Ilmaston lämpenemisen pääasiallisena aiheuttajana pidetään yleisesti fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä energiantuotannossa että liikenteessä. [16.]

Ilmaston lämpenemisen ja kasvavan energiantarpeen vuoksi uusiutuvien energialähteiden käyttöä pyritään jatkuvasti lisäämään. Tähän ohjaavat esimerkiksi Euroopan Unionin asettamat ilmastotavoitteet, joilla mm. pyritään lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuus 20 %:iin EU:n energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. [17.]

Edellä mainituista syistä johtuen kiinnostus sähkön pientuotantoon on jatkuvasti lisääntynyt sekä globaalisti että Euroopassa. Pienimuotoisen tuotannon lisäämistä tuetaan useissa Euroopan maissa mm. käyttämällä niin kutsuttuja syöttötariffeja.

### 6.1 Tuulivoima Euroopassa

Tuulivoima on 1990 - luvulta saakka ollut maailman nopeimmin kasvava sähköntuotantomuoto. Vuonna 2009 EU:n alueella tuulivoimaa asennettiin enemmän kuin mitään muuta uutta energiantuotantomuotoa. Tuulivoimatuotannon kapasiteetti EU - maissa vuoden 2009 lopussa oli yhteensä 74 767 Megawattia ja kasvun ennustetaan jatkuvan lähivuosina. Vuosittainen rakennetun tuulivoiman kapasiteetti vuosina 1995 - 2008 esitetään seuraavassa kuvassa (kuva 4). [16.]



Kuva 4. Vuosittainen rakennetun tuulivoiman kapasiteetti EU:n alueella vuoteen 2008 asti [16]

Kuvasta 4 nähdään, että rakennetun tuulivoiman määrä on vuodesta 1995 lähtien kasvanut jatkuvasti Euroopan Unionissa.

Suurin tuulivoimakapasiteetti EU:ssa löytyy Saksasta (23 903 MW vuoden 2008 lopussa). Muita suuria tuulivoiman tuottajamaita ovat Espanja (16 740 MW vuoden 2008 lopussa) ja Ranska (3 404 MW vuoden 2008 lopussa). Tuulivoimalla tuotetun sähkön osuus kokonaissähköntuotannosta on kuitenkin suurin Tanskassa, missä yli 19 % sähkönkulutuksesta katettiin tuulivoimalla vuonna 2008, asennetun tuulivoimakapasiteetin ollessa 3 180 MW. Suurimmassa tuulivoimantuottajamaassa Saksassa tuulivoiman osuus sähkönkulutuksesta vuonna 2008 oli noin 7 %. [18.]

Tuulivoima on yleisin tapa tuottaa sähköä pienimuotoisesti ja sen rakentamista tuetaan syöttötariffin avulla mm. Saksassa. Lisäksi monissa muissakin Euroopan maissa on käytössä erilaisia tuulivoimaa koskevia tukimuotoja.

## 6.2 Syöttötariffit

Euroopan Unionin asettamien ilmastotavoitteiden sekä sähkön hinnan nousun myötä useissa Euroopan maissa on päätetty tukea uusiutuvien energiamuotojen lisäämistä erilaisilla valtiollisilla tukimuodoilla. Syöttötariffijärjestelmä on yleinen tukimuoto, jota käytetään useissa Euroopan maissa.

Syöttötariffijärjestelmän tarkoituksena on yleensä taata sähköntuottajalle takuuhinta tuotetusta sähköstä. Syöttötariffijärjestelmää käyttämällä pyritään vaikuttamaan sähkön tuotantorakenteeseen. Tarkoituksena on yleensä uusiutuvien tai kotimaisten energialähteiden käytön lisääminen.

Uusituvan energian syöttötariffeja on voimassa useissa EU:n jäsenvaltioissa. Syöttötariffien rakenteessa ja suuruudessa on kuitenkin maakohtaisia eroja. [19.]

Syöttötariffijärjestelmä otettiin Euroopassa käyttöön ensimmäisenä Saksassa 1990 -luvun alkupuolella. Järjestelmään on tullut useita muutoksia tämän jälkeen. Saksalaisessa syöttötariffijärjestelmässä paikallisten verkkoyhtiöiden on annettava voimalaitosten ajojärjestyksessä etusija uusille uusiutuvaa energiaa käyttäville laitoksille.

Paikallisen verkkoyhtiön on myös ostettava tällaisten laitosten tuottama sähkö ennalta määritettyyn hintaan. Kantaverkkoyhtiöiden velvollisuutena taas on ostaa kyseinen sähkö edelleen paikalliselta verkkoyhtiöltä. Tariffijärjestelmästä aiheutuneet kustannukset tasataan alueittain joka vuosi. Pääosin tariffi on taattu 20 vuodeksi ja sen suuruus riippuu tuotantolaitoksen käynnistysvuodesta.

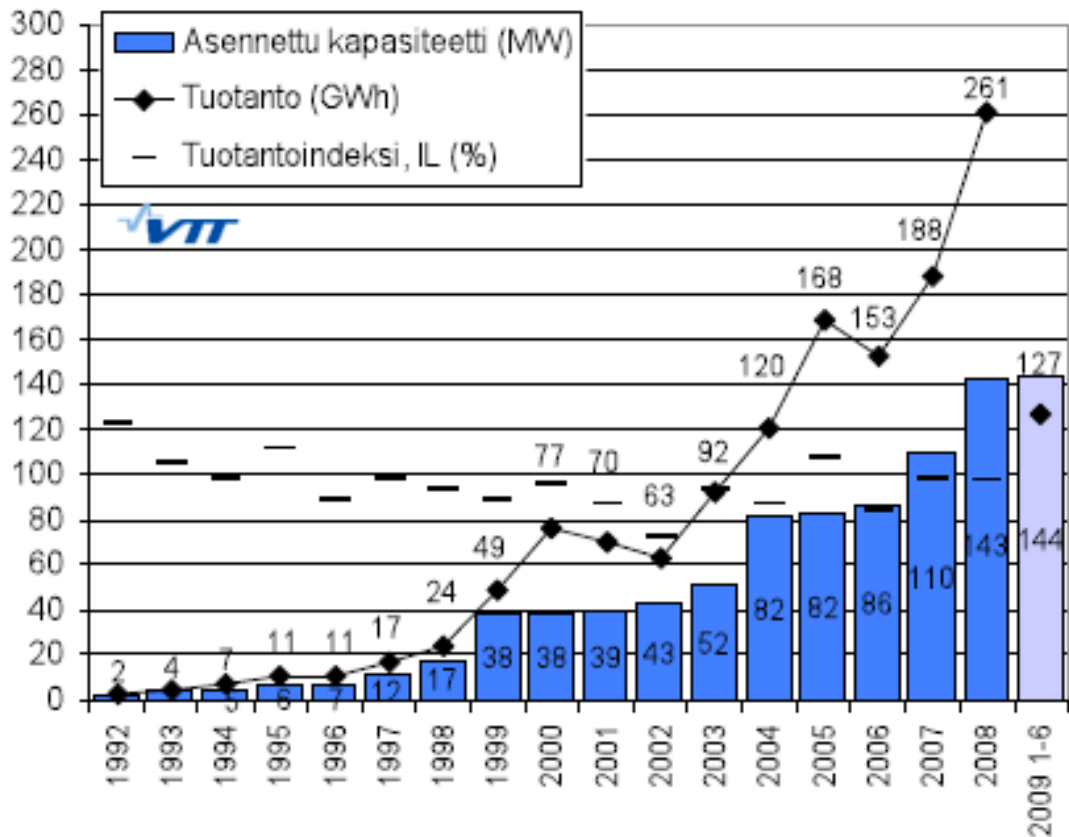
Saksassa syöttötariffin käyttöönotto on lisännyt uusiutuvan energian tuotantoa tuntuvasti. Esimerkiksi biokaasun tuotanto perustuu suurelta osin pelto- ja metsäbiomassan tuotantoon mädättämistä varten. Syöttötariffi on ohjannut saksalaista maataloustuotantoa energiakasvien tuottamiseen. Vuoden 2008 lopussa Saksassa oli biokaasulaitoksia noin 4000 ja laitosten yhteenlaskettu teho oli noin 1400 MW. Sähköä biokaasulla tuotettiin vuonna 2008 noin 7,1 TWh. [20, s. 31 - 32.]

## **7 Sähkön pientuotannon tulevaisuus Suomessa**

Pientuotantoon soveltuvien tuotantolaitosten hintojen alenemisen, sähkönkäyttäjien lisääntyneen ympäristötietoisuuden sekä sähkön hinnan nousun myötä pientuotannon määrä myös suomalaisessa sähkönjakeluverkossa on ollut selvässä kasvussa jo jonkin aikaa. Kasvava tuotantoliittymien määrä on havaittu myös Fortumin jakeluverkkoyhtiöissä. Kiinnostusta hajautettuun sähkön pientuotantoon on lisännyt myös hallituksen kaavailema syöttötariffin käyttöönotto Suomessa. Verkkoon liitettävien tuotantolaitosten koko on myös ollut nousussa viime aikoina.

### **7.1 Tuulivoima Suomessa**

Tuulivoimakapasiteetin kehitys Suomessa on viimeisten vuosien aikana ollut vaatimattomaa verrattuna maailmalla tapahtuneeseen kehitykseen. Asennetun tuulivoiman kapasiteetti vuoden 2009 lopussa oli Suomessa 147 MW. Tuulivoimalla tuotetun sähkön osuus kokonaissähkönkulutuksesta vuonna 2009 oli noin 0,3 %. Samana vuonna tuulivoimalla tuotettiin noin 275 GWh. Vuoden 2008 lopussa asennetun tuulivoiman kapasiteetti Suomessa oli 143 MW, näin ollen kasvua edellisvuoteen tapahtui vain 4 MW:n verran. Suomen tuulivoimakapasiteetin ja -tuotannon kehitys vuodesta 1992 kesäkuun loppuun vuonna 2009 esitetään seuraavassa kaaviossa (kuva 5).



Kuva 5. Suomen tuulivoimakapasiteetin ja -tuotannon kehitys vuodesta 1992 kesäkuun 2009 loppuun [21]

Suhteellisesti suurin kasvu, yli 100 % ajoittui vuodelle 1999 (kuva 5). Muita suuria kasvuvuosia ovat olleet 2004, 2007 ja 2008. Oletettavaa on, että tuulivoiman kasvu Suomessa kiihtyy tuulivoimaa koskevan syöttötariffin käyttöönoton myötä.

Tuulivoiman vuosittaiseen tuotantoon vaikuttaa asennetun tuulivoimakapasiteetin kasvu sekä vaihtelevat tuuliolosuhteet. Kuvasta 5 nähdään, että Suomessa tuulivoiman tuotanto kasvoi yhtämittaisesti vuoteen 2000 asti, koska tuulivoimakapasiteettia rakennettiin jatkuvasti lisää vuoden 1999 loppuun asti. Tuulisähkön tuotanto kääntyi kuitenkin laskuun vuonna 2000, koska tuulivoimakapasiteetti ei lisääntynyt kovin paljon vuosina 2000 - 2002, lisäksi vuodet olivat aiempaa heikotuisempia. Vuodesta 2002 vuoteen 2005 tuotanto kasvoi jälleen kapasiteetin lisääntymisen ja hyvien tuuliolosuhteiden myötä, mutta kääntyi uudelleen laskuun vuonna 2006 samasta syystä kuin aiemminkin. Vuoden 2006 jälkeen tuotanto on jälleen kasvanut jatkuvasti.

Asennettujen tuulivoimaloiden keskimääräinen nimellisteho on myös kasvanut nopeasti viimeisten vuosien aikana. Vuonna 1991 asennettujen tuulivoimaloiden keskimääräinen nimellisteho Suomessa oli 173 kW. Vuoden 2008 lopussa voimaloiden keskimääräinen nimellisteho oli kasvanut jo 3 Megawattiin. [21.]

## 7.2 Syöttötariffijärjestelmän käyttöönotto Suomessa

Työ- ja elinkeinoministeriö asetti työryhmän tutkimaan uusiutuvan energian syöttötariffia Suomessa marraskuussa 2008. Työryhmän loppuraportti luovutettiin elinkeinoministeri Mauri Pekkariselle 29.9.2009. Tuulivoimaa koskeva väliraportti valmistui jo 2.4.2009.

### 7.2.1 Työryhmän ehdotus

Työryhmä päätyi ehdottamaan, että Suomessa otettaisiin käyttöön markkinaehtoinen takuuhintajärjestelmä eli syöttötariffijärjestelmä. Ehdotuksen piiriin kuuluu tuulivoimalla ja biokaasulla tuotettu sähkö. Ehdotuksen mukaan syöttötariffiin mukaan otettavan tuulivoimalan tai tuulivoimapuiston yhteenlaskettu nimellisteho tulisi olla vähintään 1 MVA ja biokaasulaitoksen nimellisteho vähintään 300 kVA. Ehdotuksen mukaan syöttötariffijärjestelmä ei sovellu tätä pienemmille laitoksille. Syöttötariffijärjestelmän edellytyksenä on, että tuotannon tuntikohtaiset tiedot toimitetaan päivittäin kantaverkkoyhtiölle.

Syöttötariffin mukainen tavoitehinta tuotetulle sähkölle olisi 83,5 €/MWh. Biokaasulla tuotetulle sähkölle maksettaisiin lisätukea 50 €/MWh, kun kyseessä on yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotantolaitos, jonka kokonaishyötysuhde on vähintään 50 %. Tariffin kestoaika olisi 12 vuotta.

Työryhmä ehdotti myös, että syöttötariffin ensimmäisinä voimassaolovuosina käyttöön otetuille tuulivoimalaitoksille määriteltäisiin korotettu tavoitehintaa, jonka suuruus olisi 90,2 €/MWh. Näin saataisiin uusien tuulivoimaloiden rakentaminen tehokkaasti liikkeelle.

Syöttötariffin rahoitus hoidettaisiin sähkön kuluttajilta perittävällä maksulla. Käyttöpai-  
kassa, jossa sähkön kulutus on 2 000 kWh vuodessa, maksua kertyisi vuoden 2020  
tilanteessa noin 5 € vuodessa, tavoitehinnan ollessa ehdotettu 83,5 €/MWh. Vastaavas-  
ti sähkölämmitteisessä pientalossa, jossa kulutus olisi 18 000 kWh vuodessa, maksua  
kertyisi vuonna 2020 noin 44 € vuodessa. Sähkön kuluttajille tulevaa rasi-  
tetta pienentäisi lisäksi syöttötariffin avulla tuotetun tuulivoiman ja biokaasun sähköntuotannon  
lisääntyminen.

Syöttötariffijärjestelmällä edistetään investointeja tuulivoimalla ja biokaasulla tuotet-  
tuun sähköön ja parannetaan omavaraisuutta sähköntuotannossa. Syöttötariffijärjes-  
telmä myös auttaa saavuttamaan EU:n asettamat ilmastotavoitteet, eli vähentämään  
kasvihuonepäästöjä 20 %:lla vuoden 1990 tasosta sekä lisäämään uusiutuvien energia-  
lähteiden osuus 20 %:iin ja parantamaan energiatehokkuutta 20 %:lla vuoteen 2020  
mennessä. [22, s. 1 - 2.]

#### 7.2.2 Käyttöön otettava syöttötariffi

Työ- ja Elinkeinoministeriö julkaisi 24.3.2011 tiedotteen, jonka mukaan laki uusiutuvalla  
energialla tuotetun sähkön tuotantotuesta tulee Valtioneuvoston asetuksella voimaan  
25.3.2011 alkaen. Voimaan astuvan syöttötariffin piiriin kuuluvat ehdotettujen tuuli-  
voimaloiden ja biokaasuvoimaloiden lisäksi voimalat, jotka käyttävät polttoaineena puu-  
ta tai metsähaketta. Syöttötariffin ulkopuolelle jääville tuulivoimaloille, metsähakevoi-  
maloille, biokaasuvoimaloille ja vesivoimaloille otetaan käyttöön kiinteä sähkön tuotan-  
totuki.

Tiedotteen mukaan käyntiin saatava tukijärjestelmä parantaa puupohjaisen energia-  
raaka-aineen kilpailukykyä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Mitä alhaisempi on fos-  
siilisia polttoaineita rasittava päästöoikeuksien hinta sitä suurempaa tukea maksetaan  
energiantuotannossa käytettävän puupohjaisen raaka-aineen käytöstä. Tuen määrä on  
korkeintaan 18 €/MWh.

Syöttötariffi asettaa tuulivoiman tavoitehinnaksi 83,5 €/MWh työryhmän ehdotuksen  
mukaisesti. Syöttötariffi on voimassa 12 vuotta. Nopeat uudet tuulivoimainvestoijat  
saavat lisäbonuksen, jolloin tavoitehintana on 105,3 €/MWh, kuitenkin enintään kolmen

vuoden ajan. Tuulivoiman osalta tavoitteena on, että Suomen tuulivoimakapasiteetti kohoaisi 2 500 Megawattiin vuoteen 2020 mennessä. Tämä tarkoittaisi noin 6 TWh:n vuosittaista sähköntuotantoa.

Biokaasulla tuotetun sähkön tavoitehinta on sama kuin tuulivoimalla. Mikäli tuotetun sähkön lisäksi voidaan hyödyntää myös merkittävä osa tuotettavasta lämmöstä, tavoitehinta on 133,5 €/MWh.

Sama 83,5 €/MWh tavoitehinta kuuluu myös pienimuotoiselle, puupohjaista raaka-ainetta käyttävälle sähkön ja lämmön yhteistuotannolle, eli CHP - tuotannolle. Tuen enimmäismäärä on kuitenkin korkeintaan 750 000 euroa vuodessa.

Mikäli tavoitteen mukainen uusiutuva energiantuotanto toteutuu, tarvitaan sen tukeen yli 300 miljoonaa euroa vuodessa, mikäli sähkön keskihinta pysyy 50 - 60 eurossa/MWh. Sähkön hinnan noustessa tuen tarve vähenee ja hinnan laskiessa tuen tarve kasvaa.

Syöttötariffijärjestelmään hyväksytään uusia tuulivoimaloita siihen asti, että asetettu tavoitekapasiteetti saavutetaan, eli kunnes niiden yhteenlaskettu teho ylittää 2 500 MW:n rajan. Biokaasulla vastaava raja on 19 MW ja puupolttoainevoimaloilla 150 MW. Lisäksi puupolttoainevoimaloita otetaan mukaan kunnes niiden määrä ylittää viidenkymmenen voimalan rajan. Metsähakevoimaloiden osalta ei ole vastaavia rajoituksia. [23.]

Syöttötariffin käyttöönoton myötä uusiutuvan energian ja sen mukana pientuotannon määrän oletetaan kasvavan voimakkaasti suomalaisessa sähköverkossa.

## **8 Lopuksi**

Insinööriyössä käsiteltiin pienimuotoista sähköntuotantoa useammaltakin eri näkökannalta katsottuna. Työn aluksi käsiteltiin erilaisia pientuotannon määritelmiä ja tuotantomuotoja. Sen jälkeen työssä käytiin läpi tuotantolaitoksen sähkönjakeluverkkoon liittämistä koskevia teknisiä vaatimuksia ja ehtoja, jotka jakeluverkonhaltija on asettanut



annettujen viranomaismääräysten ja suositusten pohjalta. Työssä esiteltiin myös tuotantoliittymien hinnoittelua koskevat periaatteet Fortumin jakeluverkkoyhtiöiden osalta. Insinööriyön lopuksi käsiteltiin vielä pientuotannon tilaa Euroopassa ja tulevaisuuden näkymiä Suomessa. Tuulivoimalla on insinööriyössä merkittävä rooli, koska se on yksi yleisimmistä pientuotantomuodoista myös suomalaisessa sähkönjakeluverkossa.

Sähkön pientuotannon tulevaisuus suomalaisessa sähkönjakeluverkossa näyttää valoisalta muun muassa juuri käyttöönotetun valtiollisen uusiutuvan energian tukijärjestelmän myötä. Tukijärjestelmään kuuluvat uusiutuvan energian syöttötariffi sekä kiinteä tuotannon tukijärjestelmä. Järjestelmän myötä myös pientuotantoa koskevien investointien oletetaan kasvavan jo lähivuosina.

Pientuotantoa verkkoon liitettäessä kannattaa tuottajan olla jo hyvin varhaisessa vaiheessa yhteydessä paikalliseen verkkoyhtiöön liittymisen teknisten vaatimusten, kustannusten ja muiden yksityiskohtien selvittämiseksi. Näin verkkoyhtiölle jää myös aikaa suunnitella ja rakentaa liittymiseen vaadittava verkko. Tuotetulle sähkölle kannattaa myös hakea ostaja valmiiksi, ettei tästä aiheudu myöhemmin ongelmaa.

Insinööriyössä esitelty tuotantoliittymien hinnoittelumalli on sikäli ongelmallinen, että liittämistä voi verkkoyhtiölle joskus aiheutua merkittäviä kehittämisvelvollisuuden piiriin kuuluvia kustannuksia. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi silloin, kun liitettävän tuotantolaitoksen nimellisteho ei ylitä 2 megavoltiampeeria, mutta paikalla valmiina olevaa sähköverkkoa pitää kuitenkin vahvistaa merkittävästi, jotta liittyminen verkkoon voitaisiin toteuttaa. Tällöin vahvistamiskuluja ei voi kuitenkaan periä liittyjältä vaan ne jäävät kokonaisuudessaan verkkoyhtiön maksettaviksi.

Kokonaisuutena insinööriyöstä saa hyvän yleiskuvan sähkön pientuotannosta sekä sen verkkoon liittämistä koskevista asioista. Lisäksi työstä saa käsityksen uuden syöttötariffijärjestelmän pääperiaatteista. Syöttötariffijärjestelmää ei kuitenkaan ehditty tarkastelamaan kovin yksityiskohtaisella tasolla tässä insinööriyössä. Työstä voi olla apua esimerkiksi pientuotantolaitokseen investoimista suunnitteleville.

## Lähteet

- 1 Motiva Oy. Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon, syyskuu 2006, Helsinki.
- 2 Sähkömarkkinalaki, 17.3.1995/386.
- 3 Bettina Lemström. Pienimuotoisen tuotannon verkkoon pääsyn edistäminen, VTT:n tutkimusraportti nro: VTT-R-02857-06, 20.3.2006, Espoo.
- 4 Energiateollisuus Ry. Verkostosuositus YA9:09 Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon, 2009, Helsinki.
- 5 Energiateollisuus Ry. Pienimuotoisen tuotannon verkkoon liittäminen, muistio, 12.11.2008, Helsinki.
- 6 Suomen tuulivoimayhdistys Ry. [www.tuulivoimayhdistys.fi/node/2](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/node/2), Tietoa tuulivoimasta, luettu 29.3.2011.
- 7 Suomen tuulivoimayhdistys Ry. [www.tuulivoimatieto.fi/pystyakseliset](http://www.tuulivoimatieto.fi/pystyakseliset), Vaaka- ja pystyakseliset turbiinit, luettu 29.3.2011.
- 8 Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus. [www.tekes.fi/imageserver/images/fi\\_content/picture\\_bank/energiak/tuulivoimala\\_0.jpg](http://www.tekes.fi/imageserver/images/fi_content/picture_bank/energiak/tuulivoimala_0.jpg), Kuva: Tuulivoimala © Tekes, Matias Uusikylä.
- 9 Suomen tuulivoimayhdistys Ry. [www.tuulivoimatieto.fi/rakenne](http://www.tuulivoimatieto.fi/rakenne), Tuulivoimaloiden rakenne, luettu 3.4.2011.
- 10 Suomen tuulivoimayhdistys Ry. [www.tuulivoimatieto.fi/toimintaperiaate](http://www.tuulivoimatieto.fi/toimintaperiaate), Toimintaperiaatteen mukainen luokittelu, luettu 3.4.2011.
- 11 Energiateollisuus Ry. [www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/uudetenergiantuotantotekniikat/aurinkoenergia](http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/uudetenergiantuotantotekniikat/aurinkoenergia), Aurinkoenergia, luettu 7.4.2011.
- 12 Motiva Oy. [www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko), Aurinkosähkö, luettu 7.4.2011.
- 13 Tekniikka ja Talous. [www.tekniikkatalous.fi](http://www.tekniikkatalous.fi), artikkeli: Aurinkosähkön tuottajilla valoisat näkymät, Kuva: Mika Horelli, 15.5.2008.
- 14 Fortum Distribution. Sähkön tuotantolaitteistojen liityntäperiaatteet, 1.7.2010, Espoo.
- 15 Fortum Distribution. Fortum Distributionin liittymien hinnoittelumenetelmät ja -periaatteet - tuotantokohteet, 26.4.2011, Espoo, saatavilla pyynnöstä Fortumin asiakaspalvelusta.
- 16 Suomen Tuulivoimayhdistys Ry. [www.tuulivoimatieto.fi/suomi\\_maailma](http://www.tuulivoimatieto.fi/suomi_maailma), Tuulivoima suomessa ja maailmalla, luettu 7.5.2011.

- 17 Ulkoasiainministeriön Eurooppatiedotus.  
[www.eurooppatiedotus.fi/public/default.aspx?contentid=132603&contentlan=1&culture=fi-FI](http://www.eurooppatiedotus.fi/public/default.aspx?contentid=132603&contentlan=1&culture=fi-FI), uutinen: EU:n ilmasto- ja energiapaketti, luettu 7.5.2011.
- 18 Suomen tuulivoimayhdistys Ry. [www.tuulivoimatieto.fi/eurooppa](http://www.tuulivoimatieto.fi/eurooppa), Tuulivoima Euroopassa, luettu 7.5.2011.
- 19 Motiva Oy.  
[www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/syottotariffi\\_eli\\_takuuhintajarjestelma/](http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/syottotariffi_eli_takuuhintajarjestelma/), Syöttötariffi eli takuuhintajärjestelmä, luettu 8.5.2011.
- 20 Työ- ja Elinkeinoministeriö. Syöttötariffityöryhmän loppuraportti, 29.9.2009, Helsinki.
- 21 Suomen Tuulivoimayhdistys Ry. [www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoima\\_suomi](http://www.tuulivoimatieto.fi/tuulivoima_suomi), Tuulivoima Suomessa, luettu 8.5.2011.
- 22 Työ- ja Elinkeinoministeriö. Tiedote 206/2009, Työryhmä esittää: Uusiutuvalla energialla tuotetulle sähkölle takuuhinta, 29.9.2009, Helsinki.
- 23 Työ- ja Elinkeinoministeriö. [www.tem.fi/?89519\\_m=102404&s=2471](http://www.tem.fi/?89519_m=102404&s=2471), tiedote 24.3.2011: Uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön tukijärjestelmä käyttöön, luettu 11.5.2011.

