

# MIKROTUOTANNON LIITTÄMINEN JAKELUVERKKOON

Jukka Lahtela

Opinnäytetyö  
Teollisuus ja luonnonvara  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Insinööri (AMK)

KEMI 2015

Teollisuus ja luonnonvara  
Sähkötekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Jukka Lahtela	Vuosi	2015
<b>Ohjaaja</b>	Ins. Aila Petäjäjärvi		
<b>Työpaikkaohjaaja</b>	Ins. Arto Öljymäki		
<b>Toimeksiantaja</b>	Optiplan Oy		
<b>Työn nimi</b>	Mikrotuotannon liittäminen jakeluverkkoon		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	56 + 0		

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä aurinkoenergiaan ja siihen, miten aurinkoenergialla toimiva mikrotuotanto liitetään Optiplan Oy:n toimipisteiden alueella toimivien verkonhaltioiden jakeluverkkoon.

Opinnäytetyön alussa tutustuttiin teoriassa aurinkoenergiaan, aurinkopaneelin toimintaperiaatteeseen, rakenteeseen ja aurinkosähköjärjestelmiin. Näiden jälkeen perehdyttiin yleisiin ohjeisiin, lakiin ja asetuksiin koskien sähköntuotantolaitoksen jakeluverkkoon liittämistä, sekä selvitettiin verkonhaltijoiden vaatimukset mikrotuotannon liittamisestä jakeluverkkoon.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitettyä verkonhaltijoiden vaatimukset mikrotuotannon liittamisestä jakeluverkkoon.

Industry and Natural resources  
Electrical Engineering

---

<b>Author</b>	Jukka Lahtela	Year	2015
<b>Supervisor(s)</b>	B.Sc. Aila Petäjäjärvi B.Sc. Arto Öllymäki		
<b>Commissioned by</b>	Optiplan Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Connecting Micro-generation to Distribution Network		
<b>Number of pages</b>	56 + 0		

---

The aim of this study was to get familiar with solar energy and how to connect solar energy micro-generation to system operator's distribution network which operate in the office area of Optiplan Oy.

At the beginning of this thesis solar energy, solar panels operating principle, structure and solar power system were studied in theory. In addition, the thesis work studied the general guidelines, laws and regulations regarding the electricity generating plant to the distribution network connection. Also this work studied the network operator's clarified requirements for micro-generation interconnection to the distribution network.

As a result of this study network operator's requirements for micro-generation interconnection to the distribution network were solved.

Key words

solar energy, solar panel, micro-generation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	AURINKOENERGIA .....	9
2.1	Aurinko .....	9
2.2	Auringon säteilyenergia .....	10
2.3	Auringon säteilyenergia Suomessa .....	11
3	AURINKOPANEELIN TOIMINTAPERIAATE JA RAKENNE.....	15
3.1	Aurinkokennot.....	15
3.1.1	Ensimmäisen sukupolven aurinkokennot .....	18
3.1.2	Toisen sukupolven aurinkokennot .....	19
3.1.3	Kolmannen sukupolven aurinkokennot.....	20
3.1.4	Neljännän sukupolven aurinkokennot.....	21
3.2	Aurinkopaneeli.....	22
3.2.1	Aurinkopaneelin ominaiskäyrä.....	22
3.2.2	Aurinkopaneelin tehontuotto.....	23
3.2.3	Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin tehontuottoon.....	25
3.2.4	Suuntauksen vaikutus aurinkopaneelin tehontuottoon .....	26
3.2.5	Siirtojohtimen aiheuttamat tehohäviöt.....	27
3.3	Aurinkopaneelien tulevaisuus .....	28
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT .....	31
4.1	Sähköverkkoon kytketty järjestelmä.....	31
4.2	Sähköverkkoon kytkemätön järjestelmä .....	32
5	LAIT JA ASETUKSET.....	34
5.1	Sähköntuotantolaitoksen liittäminen ja sähkön siirto verkkoon .....	34
5.2	Sähköntuotannon mittaus .....	36
5.3	Sähköverovelvollisuus .....	37
5.4	Viranomaisluvut .....	38
6	JAKELUVERKKOON LIITTÄMISEN YLEISET VAATIMUKSET .....	39
6.1	Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon.....	39
6.2	Mikrotuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon.....	40
7	MIKROTUOTANNON LIITTÄMINEN JAKELUVERKKOON .....	46
7.1	Helen Sähköverkot Oy.....	46
7.2	Turku Energia Sähköverkot Oy.....	47

7.3	Tampereen Sähköverkko Oy .....	49
7.4	Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy .....	51
8	YHTEENVETO .....	53
	LÄHTEET .....	54

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Optiplan Oy:tä opinnäytetyöni aiheesta. Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajia Arto Öljymäkeä ja Aila Petäjäjärveä. Suurimmat kiitokset kuitenkin menevät perheelle ja ystäville, jotka ovat kannustaneet ja auttaneet minua opinnäytetyön ja opintojen aikana.

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

a-Si	amorfinen pii
CIGS	kupari-indium-gallium-diselenidi
CdTe	polykiteinen kadmium-telluridi
EMC	sähkömagneettinen yhteensopivuus
I (A)	virta
Isc	oikosulkuvirta
LoM	saarekekäytönestosuojaus
MPP	maksimitehopiste
MPPT	lataussäädin
P (W)	teho
U (V)	jännite
Voc	tyhjäkäyntijännite
Wh	wattitunti
Wp	aurinkopaneelin nimellisteho

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Optiplan Oy:n toimeksiannosta. Optiplan Oy on monialasuunnittelutoimisto, jolla on suunnittelutoimistot Oulussa, Tampereella, Turussa ja Helsingissä. Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä aurinkoenergiaan ja siihen, miten aurinkoenergialla toimiva mikrotuotanto liitetään Optiplan Oy:n toimipisteiden alueilla toimivien verkonhaltioiden jakeluverkkoon.

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää tehokkaasti nykyaikaisilla tekniikoilla. Käyttämällä aurinkokeräimiä voidaan aurinkoenergia hyödyntää esimerkiksi lämpimän käyttöveden tuottamiseen, rinnan jonkin toisen lämmitysmuodon kanssa. Aurinkopaneeleja käyttämällä voidaan aurinkoenergia hyödyntää tuottamalla siitä sähköä ensisijaisesti omaan käyttöön tai syöttämällä ylijäämäsähkö verkonhaltijan jakeluverkkoon. Hyödyntämällä aurinkoenergiaa voidaan myös alentaa lämmityskustannuksia, käytösähkökustannuksia ja vähentää hiilidioksidipäästöjä.

Euroopan parlamentin ja neuvoston energiatehokkuusdirektiivi edellyttää parantamaan rakennusten energiatehokkuutta vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten ja vuoden 2018 jälkeen viranomaisten käytössä ja omistuksessa olevien uusien rakennusten osalta. Tällöin aurinkoenergialla toimiva mikrotuotanto on yksi vaihtoehto, jolla voidaan päästä direktiivin vaatimiin tavoitteisiin, mikä edellyttää, että uuden rakennuksen energiatehokkuus on erittäin korkea ja rakennuksen tarvitsema vähäinen energia katetaan hyvin laajalti uusiutuvalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia. (Eur-Lex 2010/31/EU.)



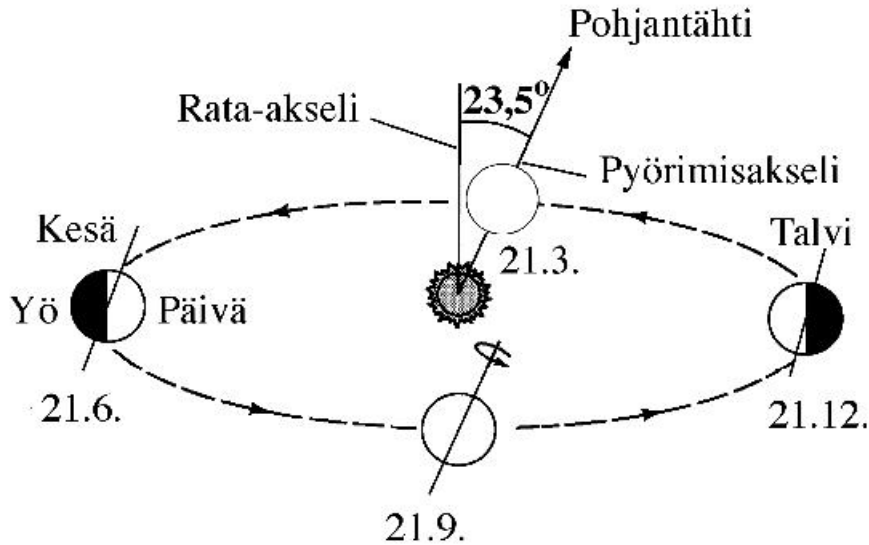
## 2 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergia on uusiutuva energianlähde, jota voidaan hyödyntää tehokkaasti nykyaikaisilla tekniikoilla. Seuraavaksi perehdytään yleisesti aurinkoon ja siihen, mitkä tekijät vaikuttavat auringon säteilyenergian määrään, ja kuinka paljon auringon säteilyenergiaa saadaan Suomessa eri vuodenaikoina.

### 2.1 Aurinko

Aurinko on pääasiassa vedystä ja heliumista koostuva kaasupallo, jonka halkaisija on noin 1.4 miljoonaa kilometriä. Käytännössä aurinko on viisi miljardia vuotta vanha tähti, joka on puolessa välissä elämänsä. Auringon ytimessä syntyy jatkuvasti valtava määrä energiaa, joka säteilee lämpösäteilynä ja valosäteilynä laajalle alueelle sitä ympäröivään avaruuteen. Auringon lähettämän säteilyenergian ansiosta myös elämä maapallolla on mahdollista. (Ilmatieteenlaitos 2014.)

Maapallo kiertää aurinkoa ellipsin muotoista rataa pitkin. Maapallo on kauimpana auringosta kesäkuussa ja lähinnä aurinkoa tammikuussa. Vuodenaikojen vaihtelun aiheuttaa maapallon pyörimisakseli, joka on kallistunut  $23,5^\circ$ . Pyörimisakselin kallistumisen vuoksi pohjoinen pallonpuolisko saa auringonsäteilyä vähemmän vuoden vaihteessa ja eteläinen pallonpuolisko enemmän. Maapallon kiertäessä aurinkoa se samalla myös pyörii kallistuneen akselinsa ympäri. Tämä aiheuttaa auringon korkeuden vaihtelun eri vuodenaikoina. Kuva 1 havainnollistaa maapallon kierron auringon ympäri. (Suntekno Oy 2010, 1.)

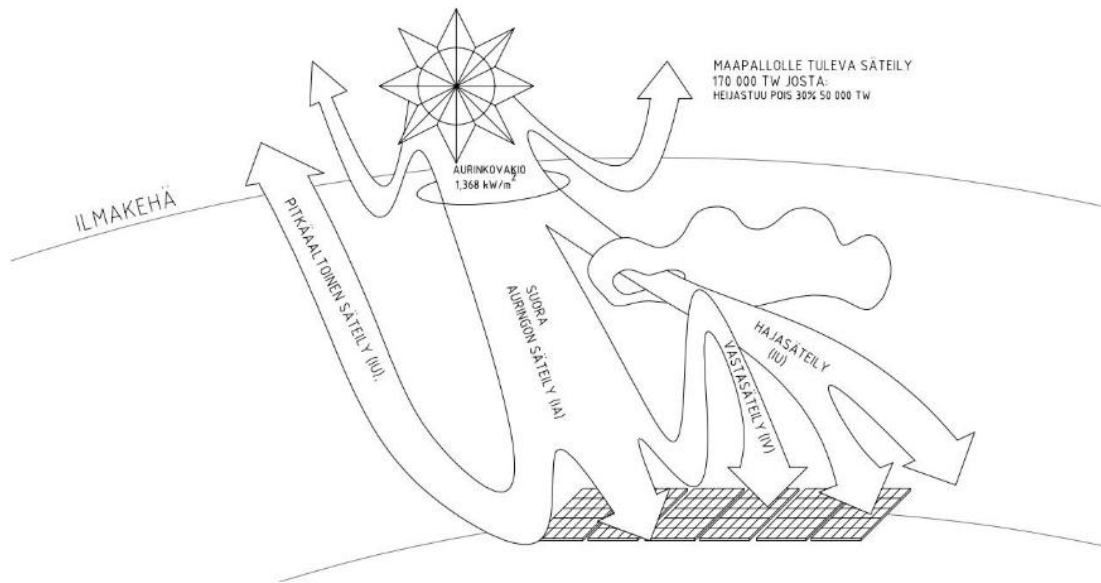


Kuva 1. Maapallon kierto auringon ympäri (Suntekno Oy 2010, 1)

## 2.2 Auringon säteilyenergia

Auringon säteilyenergian määrä ilmakehän yläosassa on keskimäärin  $1368 \text{ W/m}^2$ . Tätä säteily määrää kutsutaan aurinkovakioksi ja se kuvaa auringosta tulevan säteilyn tehoa pinta-alayksikköä kohti. Auringon säteilyenergian määrään vaikuttavat auringon aktiivisuus, ilmakehän heijastavuus, ilmakehän absorboivaisuus ja maan kiertäminen radalla. Näiden vaikutuksesta maan pinnalle tuleva kokonaissäteilyn määrä on korkeintaan  $800 - 1000 \text{ W/m}^2$ . (Suntekno Oy 2010, 1.)

Kuva 2 havainnollistaa, että maan pinnalle tuleva kokonaissäteily koostuu suorasta säteilystä, hajasäteilystä ja vastasäteilystä. Suora säteily on ilmakehän läpi suoraan tulevaa säteilyä. Hajasäteily on ilmakehän pilvistä ja molekyyleistä heijastunutta säteilyä. Vastasäteilyä aiheuttaa ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maan pinnalle. Suora säteilyn muoto on aurinkopaneelien kannalta merkittävin. (Motiva 2014.)



Kuva 2. Maapallolle tuleva auringon säteily (Motiva 2014)

### 2.3 Auringon säteilyenergia Suomessa

Suomeen saapuvaan auringonsäteilyn määrään vaikuttaa merkittävästi Suomen maantieteellinen sijainti ja vuodenaikojen vaihtelut. Päivän kirkkaus vaikuttaa säteilyn laatuun, sillä pilvisenä päivänä maan pinnalle tuleva auringonsäteily voi olla 90 % hajasäteilyä ja vastasäteilyä. Vuositasolla erilaisilta pinnoilta heijastuvan säteilyn osuus kokonaissäteilystä on kuitenkin tavallisesti muutaman prosentin luokkaa. (Motiva 2014.)

Aurinkopaneelien suuntauksella voidaan vaikuttaa aurinkopaneelille tulevan auringonsäteilyn määrään. Kun tiedetään, että aurinko nousee idän suunnasta ja laskee länteen ja aurinkojärjestelmän kulutushuippu on aamulla, suositellaan, että aurinkopaneelit suunnataan kohti itää tai kaakkoa. Mikäli kulutushuippu on illalla, suositellaan, että aurinkopaneelit suunnataan länttä kohti. Jos aurinkopaneeleista halutaan optimaalinen tuotto, suositellaan aurinkopaneelit suunnata kohti etelää. Saadakseen parhaan hyödyn aurinkoenergiajärjestelmästä, pitää auringonsäteilyn tulla kohtisuoraan aurinkopaneelin pintaan ja aurinkopaneelin olla säädettävissä. (Erat ym. 2008, 135–138.)

Taulukko 1 ja 2 havainnollistavat vuodenaikojen vaikutuksia Helsingissä ja Rovaniemellä havaittavaan auringonsäteily määrään. Korkeimmat säteilymäärät saadaan auringon ollessa korkeimmillaan touko-heinäkuun välisenä aikana. Pienimmät säteilymäärät saadaan auringon ollessa matalimmillaan joulutammikuun aikana Helsingissä ja marras-helmikuun aikana Rovaniemellä.

Taulukko 1. Auringon keskimääräiset säteilymäärät Helsingissä (W/m<sup>2</sup>) (Suomen sääpalvelu 2014)

Auringon säteilyteho													
	Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou	Vuosi
2014	95	127	453	645	708	840	827	720	550	275	---	---	540
2013	95	166	480	605	787	845	823	733	559	311	146	62	469
2012	82	232	459	639	786	778	795	765	530	297	112	51	461
2011	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	57	57
Keskim.	91	175	464	630	760	821	815	739	546	294	129	57	480

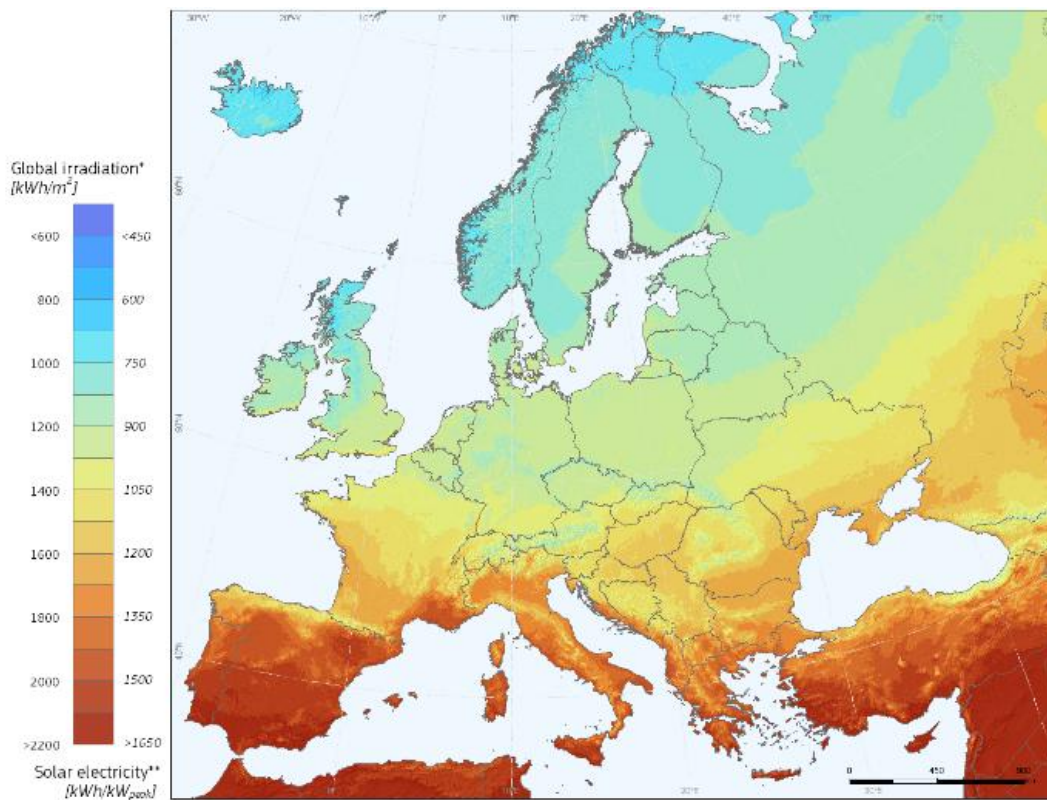
Taulukko 2. Auringon keskimääräiset säteilymäärät Rovaniemellä (W/m<sup>2</sup>) (Suomen sääpalvelu 2014)

Auringon säteilyteho													
	Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou	Vuosi
2014	6	35	285	632	790	856	779	573	366	143	---	---	466
2013	3	21	282	540	743	721	821	648	329	121	27	2	357
2012	8	27	307	525	798	784	810	636	389	92	12	1	366
2011	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	9	2	4
Keskim.	6	28	291	566	777	787	803	619	361	119	16	2	376

Taulukko 3 havainnollistaa auringon kokonaissäteilyn määrää kuukausittain Helsingissä, Jyväskylässä ja Sodankylässä. Kuviota tarkasteltaessa havaitaan kokonaissäteilyn olevan korkeimmillaan touko-heinäkuun aikana ja pienimmillään marras-tammikuun aikana. Koko vuoden kokonaissäteily on Helsingissä alle 1000 kWh/m<sup>2</sup>, Jyväskylässä alle 900 kWh/m<sup>2</sup> ja Sodankylässä alle 800 kWh/m<sup>2</sup>.

Taulukko 3. Auringon kokonaissäteilyn määrät paikkakunnittain (kWh/m<sup>2</sup>) (Ympäristöministeriö 2011, 15)

Kuukausi	Säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle (kallistuskulma 0°) paikkakunnittain, (kWh/m <sup>2</sup> ,kk)		
	Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä
Tammikuu	6	5	1
Helmikuu	22	20	14
Maaliskuu	64	52	48
Huhtikuu	120	103	121
Toukokuu	166	171	128
Kesäkuu	169	159	154
Heinäkuu	181	158	146
Elokuu	127	114	95
Syyskuu	82	71	64
Lokakuu	26	25	17
Marraskuu	8	7	3
Joulukuu	4	3	0
Vuosi	975	890	791



Kuva 3. Vuotuinen auringon kokonaissäteilyn määrä Euroopassa kWh/m<sup>2</sup> (PVGIS 2012)

Kuva 3 havainnollistaa Eurooppaan kohdistuvan vuotuisen auringon kokonaissäteilyn määrää. Kuvion perusteella nähdään, että kokonaissäteilyn määrässä ei ole merkittävää eroa esimerkiksi Suomen ja Saksan välillä. Saksassa kumminkin aurinkoenergiaa hyödynnetään merkittävästi enemmän kuin Suomessa.

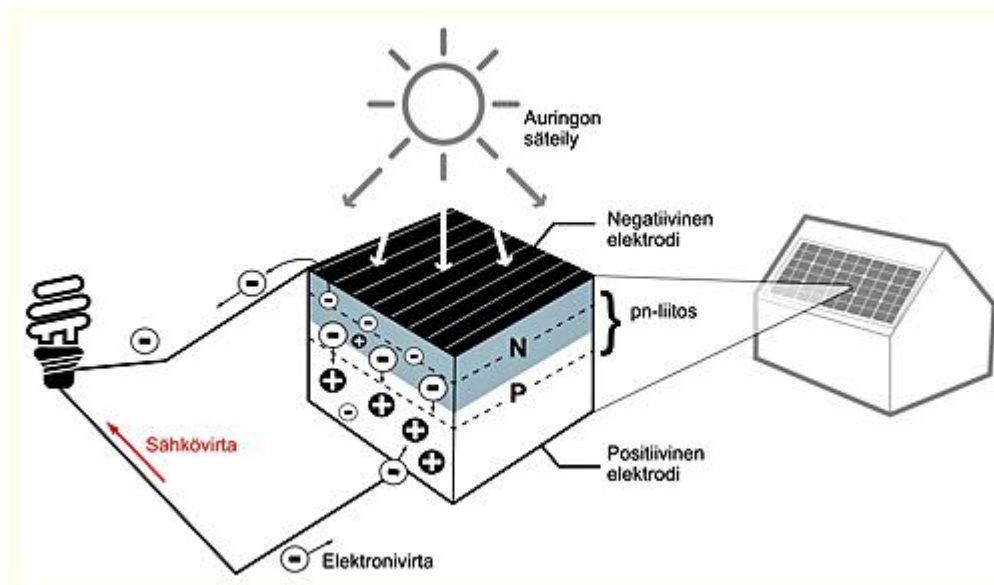
Erilaisten pilottiprojektien myötä on myös Suomen olosuhteissa saatu hyviä tuloksia aurinkopaneelien sähköntuotoista. Esimerkiksi Oulun Energian pilottiprojektiin osallistui 16 asiakasta, joiden taloihin asennettiin aurinkosähköjärjestelmät. Pilottiprojekti päättyi vuoden 2014 lopussa ja tuloksena saatiin, että Oulun korkeudella oikein suunnattu 20 paneelista koostuva 5 kW järjestelmä tuotti vuodessa 4500 kWh sähköä. Järjestelmä tuotti sähköä Oulun korkeudella samassa ajassa saman verran kuin vastaava samankokoinen järjestelmä Pohjois-Saksassa. Aurinkopaneelit kestivät hyvin olosuhdevaihtelut, eivätkä edes pakaset ja lumikuormat vaurioittaneet paneeleja, eikä niitä tarvinnut erikseen käydä puhdistamassa talven aikana. Aurinkopaneelien tuottama sähkön laatu pysyi myös hyvällä tasolla. (Oulun Energia Oy 2015.)

### 3 AURINKOPANEELIN TOIMINTAPERIAATE JA RAKENNE

Seuraavaksi perehdytään erilaisiin aurinkokennoteknologioihin ja siihen miten aurinkokennoista saadaan muodostettua aurinkopaneeli. Lisäksi selvitetään, mitkä tekijät vaikuttavat aurinkopaneelien tehontuottoon ja minkälaiset ovat tulevaisuuden näkymät aurinkopaneeleilla.

#### 3.1 Aurinkokennot

Aurinkopaneeli koostuu aurinkokennoista, joiden pääasiallinen tarkoitus on muuttaa auringonsäteily sähköenergiaksi. Tämän hetken kaupalliset piikennot ja ohutkalvokennot on muodostettu p-tyyppin ja n-tyyppin puolijohdemateriaalista. Kuvassa 4 on esitelty pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate. (Motiva 2014.)



Kuva 4. Pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate (Motiva 2014)

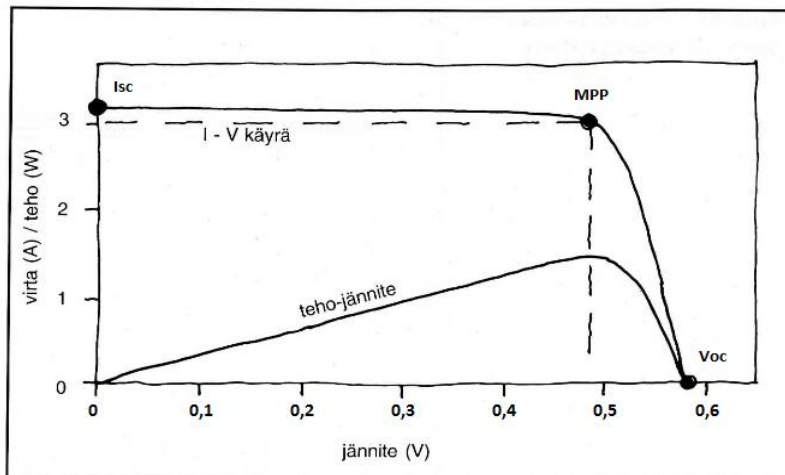
Kuva 4 havainnollistaa, että aurinkokennon rakenne on kaksiosainen, sisältäen boorilla seostetun p-tyyppin ja fosforilla seostetun n-tyyppin puolijohdekerrokset. Yhdistämällä p-tyyppin ja n-tyyppin puolijohteet saadaan muodostettua pn-liitos. Auringonsäteily koostuu fotoneista, jotka vapauttavat osuessaan puolijohdemateriaaliin sen elektroneja. Kun N-tyyppin ja p-tyyppin puolijohteet asetetaan vierekkäin, n-puolen ylimääräiset elektronit kulkeutuvat p-puolen aukkoihin. Elektroni-

en siirtyessä n-puolelta p-puolelle syntyy n-tyypin puolijohteeseen positiivinen varaus ja p-tyypin puolijohteeseen negatiivinen varaus. Elektronit toimivat negatiivisen varauksen kuljettajina jättäen jälkeensä aukon, joka toimii positiivisen varauksen kuljettajana. Puolijohteen sähköjohtavuus perustuu vapaiden elektronien ja aukkojen liikkeeseen. Aurinkokennon sisällä muodostuvassa sähkökentässä fotonilta energiaa saavat elektronit kulkeutuvat p-puolelta n-puolelle, josta ne voidaan johtaa ulkoisen virtapiirin kautta takaisin p-puolelle. (Motiva 2014.)

Aurinkokennosta saatu teho riippuu auringon säteilymäärästä, aurinkokennon pinta-alasta, aurinkokennoteknologista ja lämpötilasta. Yhden aurinkokennon koko on tavallisesti noin 10cm x 10cm ja paksuus 0,1–0,4 mm. Yksi aurinkokenno tuottaa auringon valossa 0,5–0,6 V:n tasajännitteen. Virtaa aurinkokennot tuottavat kirkkaalla auringon paisteella noin 32 mA/cm<sup>2</sup>. Esimerkiksi, jos aurinkokennon koko on 10cm x 10cm, tuottaa kyseinen aurinkokenno maksimissaan 3,2 A virran. Käyttötarpeen mukaan aurinkokennoja voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan halutun jännitteen tai virran aikaansaamiseksi. (Erat ym. 2008, 121.)

Aurinkokennon toimintaa voidaan tarkastella ominaiskäyrä eli I-U käyrän avulla. Aurinkokennon ominaiskäyrä ilmoittaa, millä virran ja jännitteen arvoilla aurinkokenno voi toimia. Aurinkokennon kaikki käyrän virta-jännitearvoja voidaan käyttää, mutta todellisuudessa aurinkokenno toimii vain yhdellä arvolla kerrallaan. Käytettyyn arvoon vaikuttaa se sähköpiiri, mihin aurinkokenno on kytketty. (Erat ym. 2008, 122.) Kuva 5 havainnollistaa piikiteisen aurinkokennon ominaiskäyrän standarditestiolosuhteissa.





Kuva 5. Piikiteisen aurinkokennon ominaiskäyrä (Erat ym. 2008, 123)

Kuvasta 5 havaitaan, että aurinkokennon ollessa kytkemätön, eli virran arvon ollessa 0 A saadaan aikaiseksi aurinkokennon suurin jännite. Tätä jännitettä kutsutaan tyhjäkäyntijännitteeksi ( $V_{oc}$ ), jonka aurinkokenno saavuttaa tietyssä valointensiteetissä ja lämpötilassa. Kytkemällä aurinkokennon n- ja p-puoli yhteen saadaan aurinkokenno oikosulkuun. Oikosulku aiheuttaa oikosulkuvirran ( $I_{sc}$ ), joka on aurinkokennon tuottama suurin virta, joka kulkee aurinkokennossa tietyssä valointensiteetissä ja lämpötilassa. Aurinkokennon kannalta tärkein piste ominaiskäyrällä on maksimitehopiste (MPP). Maksimitehopisteellä tarkoitetaan niitä virran ja jännitteen arvoja, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho kulloisissakin käyttöolosuhteissa. Käytännössä tätä pistettä on vaikea saavuttaa, koska valaistusolosuhteet vaihtelevat ja kirkkaalla auringonpaisteella paneelin lämpötila nousee, mikä pienentää paneelin tehoa. (Erat ym. 2008, 122–123.)

Nykyiset aurinkokennot voidaan jakaa neljään sukupolveen. Ensimmäisen sukupolven aurinkokennoja ovat yksi- ja monikiteiset piikennot. Toisen sukupolven aurinkokennoja ovat ohutkalvokennot. Kolmannen sukupolven aurinkokennoja ovat nanokidekennot ja joustavat aurinkokennot. Neljännen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvat keskittävät aurinkokennojärjestelmät. Tämän hetken käytetyimmät aurinkokennot ovat ensimmäisen sukupolven ja toisen sukupolven aurinkokennot. Kolmannen sukupolven ja neljännen sukupolven aurinkokennot ovat tutkimus ja kehitysvaiheessa. (Motiva 2014.)

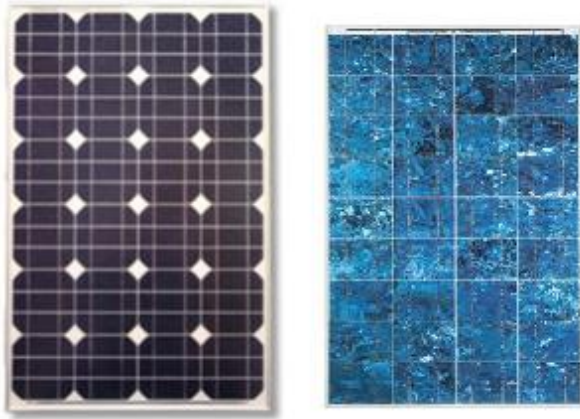
### 3.1.1 Ensimmäisen sukupolven aurinkokennot

Ensimmäisen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvat yksi- ja monikiteiset piikennot, jotka valmistetaan luonnossa esiintyvistä piistä. Yksikiteinen pii valmistetaan yleensä Czochralskin prosessilla. Czochralskin prosessi koostuu tyhjiökammioista, jossa on sulatettavat raaka-aineet. Prosessissa ensimmäiseksi kastetaan siemenkide sulaan piihin, jonka jälkeen siemenkidettä nostetaan hitaasti kohtisuoraan sulan piin pinnalta, jolloin nestemäinen pii kiteytyy siemenkiteen ympärille. Piitangon halkaisijaan voidaan vaikuttaa siemenkiteen nostonopeudella ja piitangon pyöreä muoto saadaan aikaan, kun siemenkidettä pyöritetään samalla, kun sitä nostetaan tyhjiökammioista. Yksikiteisten piitankojen huonona puolena voidaan pitää sitä, että valmiista piitangosta sahatut piikiekot ovat pyöreän muotoisia. Pyöreästä piitangosta voidaan tarvittaessa leikata nelikulmainen, jolloin piikiekot olisivat sopivamman muotoisia aurinkokennoihin. Kokonaisuudessaan yksikiteisen piikennon valmistaminen on hidasta, työlästä ja kallista, ja se vaatii paljon energiaa ja huolellisuutta. Yksikiteisten piikentöiden hyötysuhteet ovat yleensä noin 15–20 prosenttia. (Erat ym. 2008, 124–125; Ahola 2008, 11.)

Monikiteistä piitä valmistetaan sulattamalla ensiksi pii valupataan, jonka jälkeen valupataa ja piitä jäädytetään pinnalta alkaen. Tällä prosessilla aikaan saadaan nelikulmainen piiharkko, josta sahataan nelikulmaisia piikiekoja aurinkokennoihin. Kokonaisuudessaan monikiteisen piikennon valmistaminen on helpompaa ja huomattavasti edullisempää verrattuna yksikiteisen piikennon valmistamiseen. Monikiteisen piikennon valmistusprosessi aiheuttaa kumminkin enemmän hilavirheitä, mikä vaikuttaa suoraan sähkövirran kulkuun kennon sisällä. Kiteiden väliset rajapinnat vaikuttavat myös kennon toimintaan. Monikiteisten piikentöiden hyötysuhteet ovat yleensä noin 10–15 prosenttia. (Erat ym. 2008, 124–125; Ahola 2008, 12.)

Kuvassa 6 on esitelty yksi- ja monikiteisistä piikentöistä valmistettuja aurinkopaneeleja. Yksikiteisistä piikentöistä valmistetun aurinkopaneelin tunnistaa au-koista kentöiden kulmissa, koska yksikiteiset piikentöt valmistetaan pyöreästä

piitangosta. Monikiteisen aurinkopaneelin tunnistaa neliskulmaisesta muodosta, koska monikiteiset piikennot valmistetaan harkon muotoisista aihioista.



Kuva 6. Yksikiteinen- ja monikiteinen aurinkopaneeli (Aurinkoenergiaa.fi 2014)

### 3.1.2 Toisen sukupolven aurinkokennot

Toisen sukupolven aurinkokennot perustuvat ohutkalvotekniikkaan. Ensimmäiset ohutkalvokennot valmistettiin kupariselenidistä ja kadmiumselenidistä, jolla päästiin 10 prosentin hyötysuhteeseen. Ohutkalvokennojen valmistamisessa voidaan käyttää myös muita raaka-aineesta, joita on polykiteinen kadmiumtelluridi (CdTe), kupari-indium-gallium-diselenidi (CIGS) ja amorfinen pii ( $\alpha$ -Si). Nykyaikaisella ohutkalvotekniikalla valmistettujen kennojen hyötysuhteet ovat parhaimmillaan noin 20 prosenttia, mutta varsin useasti hyötysuhteet jäävät vielä 10 prosenttiin. (Montonen 2011, 9.)

Vaikka ohutkalvokennon hyötysuhde on huonompi verrattuna esimerkiksi yksikiteiseen piikennoon, sen hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että kenno pystyy tuottamaan pienen sähkömäärän, vaikka aurinko ei paista suoraan täydellä teholla kennoon. Ohutkalvokennot ovat myös taipuisia, joten sekin antaa mahdollisuuden käyttää ohutkalvokennoja erilaisissa paikoissa. Ohutkalvokennojen valmistaminen on myös nopeampaa ja valmistamiseen tarvitaan vähemmän raaka-ainetta verrattuna kiteisestä piistä valmistettuun aurinkokennoon. Näin ollen ohutkalvokennojen valmistaminen soveltuu hyvin massatuotantoon. (Mon-

tonen 2011, 9–10.) Kuvassa 7 on esitelty ohutkalvotekniikalla valmistettu aurinkopaneeli.



Kuva 7. Ohutkalvotekniikalla valmistettu aurinkopaneeli (Aurinkoenergia.fi 2014)

### 3.1.3 Kolmannen sukupolven aurinkokennot

Kolmannen sukupolven aurinkokennot perustuvat nanotekniikkaan. Nanotekniikalla valmistettuja kennoja voidaan kutsua väriaineherkistetyiksi aurinkokennoiksi tai Grätzel-kennoiksi. Nanokidekennoissa ei ole pn-liitoksen aikaansaamaa sähkökenttää, josta johtuen elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin. Nanokidekennot koostuvat nanokokoisista titaanidioksidihiuksista, jotka on pinnoitettu auringonsäteilyä absorboivilla väriainehiukkasilla ja käsitelty elektrolyyttiliuoksella. Auringonsäteilyn saavuttaessa väriainehiukkaset, kennolla vapautuu elektroneja, jotka kulkeutuvat puolijohtavalta titaanidioksidikerrokselta ulkoiseen virtapiiriin, tuottaen auringonsäteilystä sähköä. (Motiva 2014.)

Nanokidekennon vahvuutena ovat edullinen tuotanto ja yksinkertaiset valmistusmenetelmät. Valmistus voidaan toteuttaa painotekniikoilla tavallisissa teollisuuden tuotanto-olosuhteissa. Nanokidekennolla on erittäin hyvät ominaisuudet ja niiden käyttö onkin yleistymässä kannettavien elektroniikkalaitteiden tehölähteinä. Lisäksi nanokidekennoja voidaan käyttää ikkunoissa ja rakennusten ka-

toissa. Nanokidekennojen hyötysuhteet ovat noin 11 prosenttia. (Montonen 2011, 11–12.) Kuvassa 8 on esitelty nanotekniikalla valmistettu aurinkopaneeli.



Kuva 8. Nanokide tekniikalla valmistettu aurinkopaneeli (Solarserver 2010)

#### 3.1.4 Neljännen sukupolven aurinkokennot

Neljännen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvat keskittävät aurinkokennojärjestelmät, joiden toiminta perustuu auringon suoransäteilyn keskittämiseen optisilla välineillä suoraan aurinkokennon polttopisteeseen. Keskittävä aurinkokennojärjestelmä käyttää linssettä tai peilejä auringonsäteilyn fokusoimiseksi laajalta alueelta pieneen aurinkokennoon. Puolijohteiden ominaisuuksien vuoksi aurinkokennon hyötysuhde nousee auringonsäteilyä keskittämällä, jos aurinkokennojen lämpötilaa pystytään hallitsemaan. Keskittävien aurinkokennojen etuna voidaan pitää myös monikennoista rakennetta ja pientä koko. Aurinkokennon pieni koko alentaa merkittävästi kennon valmistuskustannuksia ja monikennoisen rakenteen avulla auringonvalon eri aallonpituudet saadaan hyödynnettyä tehokkaasti, mikä parantaa huomattavasti aurinkokennon hyötysuhdetta. Laboratorioolosuhteissa keskittävien aurinkokennojen osalta on päästy yli 40 prosentin hyötysuhteeseen. Keskittävät aurinkokennojärjestelmät eivät ole vielä kaupallisessa käytössä ja kehitystyötä tehdään edelleen optisten laitteiden ja kennon valmistamiseen liittyvissä asioissa. (IEA 2010, 26.) Kuvassa 9 on esitelty keskittävä aurinkokennojärjestelmä.



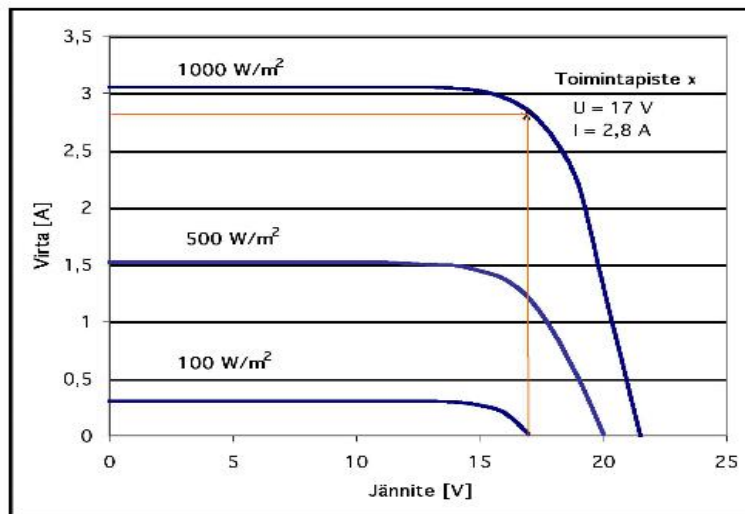
Kuva 9. Keskittävä aurinkokennojärjestelmä (Greencheck 2013)

### 3.2 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli on aurinkokennoista muodostuva kokonaisuus, jonka pääasiallinen tarkoitus on muuttaa auringon tuottama valo sähköksi. Aurinkopaneeli koostuu yksittäisistä aurinkokennoista ja liittämällä useampi aurinkopaneeli yhteen saadaan paneelisto, johon kuuluu kaikki kyseiseen järjestelmään kuuluvat aurinkopaneelit. Aurinkopaneeleja voidaan kytkeä rinnan tai sarjaan, riippuen siitä, minkälaiseen käyttöön aurinkopaneelit on hankittu. Sarjankytkentää käytetään halutun loppujännitteen saamiseksi ja rinnankytkentää halutun virran aikaan saamiseksi. (Erat ym. 2008, 125–126.) Tämän hetken aurinkopaneelien hyötysuhteet ovat noin 10–20 prosenttia, jääden aurinkokennojen hyötysuhteista 1–2 prosenttia kytkentöjen aiheuttamien häviöiden takia (IEA 2010, 22).

#### 3.2.1 Aurinkopaneelin ominaiskäyrä

Aurinkopaneelilla on aurinkokennon tapaan ominaiskäyrä, joka on yleensä ilmoitettu aurinkopaneelin teknisissä tiedoissa. Ominaiskäyrä ilmoittaa, millä jännitteen ja virran arvoilla aurinkopaneeli toimii standardiolosuhteissa. Kuvassa 10 on esitelty 50 Wp aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri auringonsäteily määrillä.



Kuva 10. Aurinkopaneelin ominaiskäyrä säteily määrällä lämpötilassa 25 °C (Suntekno Oy 2010, 3)

Kuvasta 10 havaitaan, että auringonsäteily määrän ollessa 1000 W/m<sup>2</sup> tyhjäkäyntijännite (Voc) on 23 V ja oikosulkuvirta (Isc) noin 3.1 A. Kuviosta havaitaan myös, että aurinkopaneelin tuottama jännite ja virta pienenevät auringonsäteilyn suhteen. Aurinkopaneelin maksimitehopisteessä (MPP) saavutetaan suurin teho kulloinkin vallitsevalla auringonsäteily määrällä. (Suntekno Oy 2010, 3.)

### 3.2.2 Aurinkopaneelin tehontuotto

Aurinkopaneelin tuottama teho saadaan laskettua kaavalla 1.

$$P = U \times I \tag{1}$$

missä

$P$	on	teho [W]
$U$	on	jännite [V]
$I$	on	virta [A]

Aurinkopaneelin tuottama sähköenergia saadaan laskettua kaavalla 2.

$$E = P \times t \quad (2)$$

missä

$E$	on	sähköenergia [Wh]
$P$	on	teho [W]
$t$	on	aika [h]

Aurinkopaneelin hyötysuhde saadaan laskettua kaavalla 3.

$$\eta = \left( \frac{P}{SA} \right) \times 100 \% \quad (3)$$

missä

$\eta$	on	hyötysuhde [%]
$P$	on	teho [W]
$S$	on	auringon säteilyvoimakkuus [W/m <sup>2</sup> ]
$A$	on	aurinkopaneelin pinta-ala [m <sup>2</sup> ]

Aurinkopaneeliin kytketty kuorma tai akusto määrää aurinkopaneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta hakeutuu kulloistakin auringonsäteilyä ja lämpötilaa vastaavalla ominaiskäyrällä. Kuorman suuruus saadaan laskettua kaavalla 4.

$$R = \frac{U}{I} \quad (4)$$

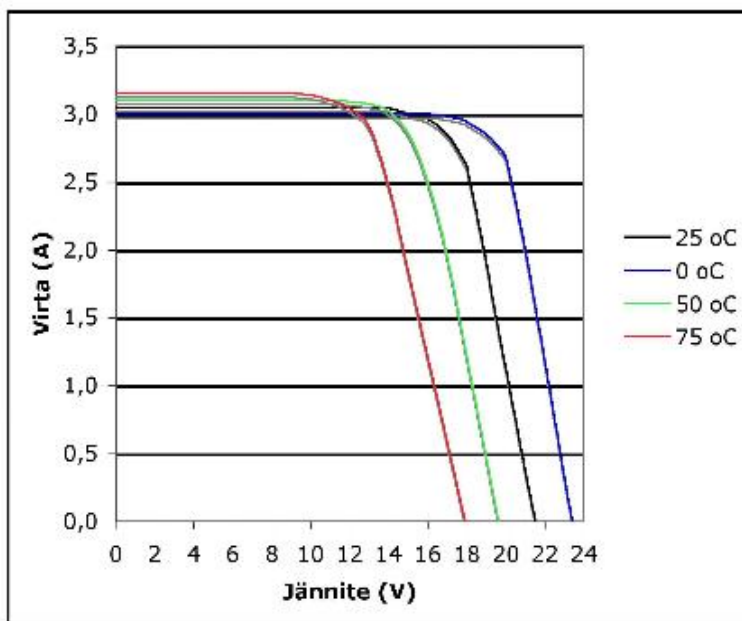
missä

$R$	on	kuorman resistanssi [ $\Omega$ ]
$U$	on	jännite [V]
$I$	on	virta [A]



### 3.2.3 Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin tehontuottoon

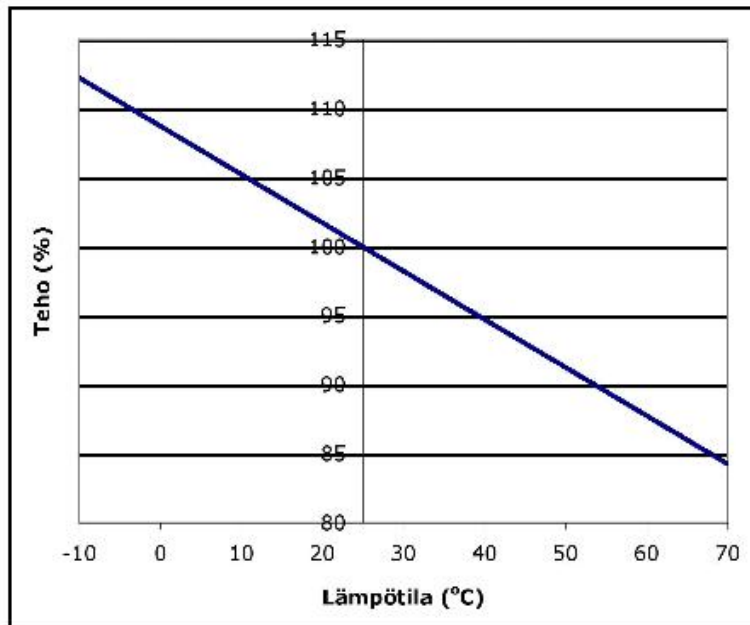
Aurinkopaneelin teknisissä tiedoissa ilmoitetaan yleensä, miten lämpötila vaikuttaa aurinkopaneelin ominaiskäyrään ja tehontuottoon. Kuvassa 11 on esitelty lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin ominaiskäyrään. Kuviosta havaitaan, että aurinkopaneelin virta kasvaa, kun aurinkopaneelin lämpötila nousee. Virran kasvaminen johtuu siitä, että lämpötila lisää termisten varaustenkuljettajien määrää aurinkopaneelissa. Kuviosta havaitaan myös, että aurinkopaneelin tyhjäkäyntijännite ( $V_{oc}$ ) laskee lämpötilan noustessa. Jännitteen muutosta verrattaessa virran muutokseen havaitaan, että jännitteen muutos on paljon suurempi virran muutokseen ja näin ollen tehon alenema on lämpötilan noustessa samaa luokkaa kuin jännitteen lasku. (Suntekno Oy 2010, 6.)



Kuva 11. Lämpötilan vaikutus 50Wp aurinkopaneelin tehoon (Suntekno Oy 2010, 6)

Kuvassa 12 on esitelty aurinkopaneelin lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin tuottamaan tehoon, kun tehon lämpötilakerroin on  $-0,35\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Kuviosta havaitaan, että lämpötilan muuttuessa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een laskee aurinkopaneelin tehontuotto melkein 10 prosenttia. Ulkolämpötilan ollessa esimerkiksi  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  saattaa aurinkopaneelin lämpötila olla yli  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tällöin aurinkopaneelin teho olisi melkein 10 prosenttia vähemmän normaalitehosta. Tästä syystä aurinko-

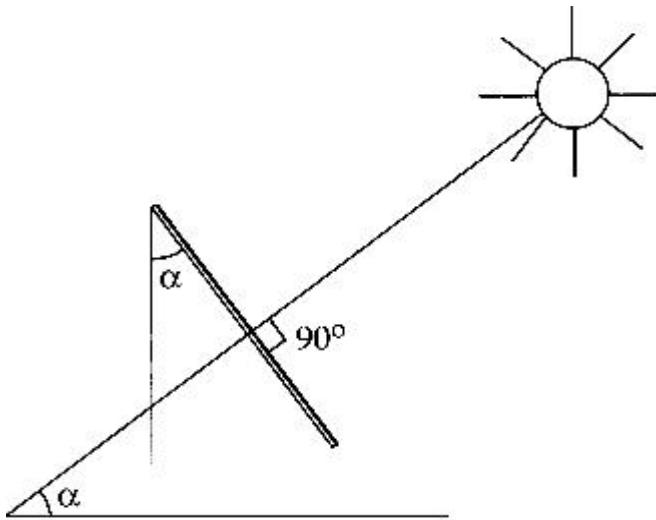
paneelit pitäisi sijoittaa siten, että tuuli ja ilmavirtaukset pääsisivät jäähdyttämään aurinkopaneeleita tehokkaasti, eikä turhia tehon menetyksiä tulisi aurinkopaneelin lämpenemisen takia. (Suntekno Oy 2010, 6.)



Kuva 12. Aurinkopaneelin tehon riippuvuus lämpötilasta (Suntekno Oy 2010, 6)

### 3.2.4 Suuntauksen vaikutus aurinkopaneelin tehontuottoon

Auringonsäteily tulee kohtisuorasti aurinkopaneelin pintaan, kun sen kallistuskulma on yhtä suuri kuin auringon korkeus horisontista. Auringon korkeus kuitenkin vaihtelee päivittäin ja vuodenaikojen mukaan. Suomessa kiinteästi sijoitetun aurinkopaneelin optimikulma suoralle auringonsäteilylle on 30–40°. Aurinkoa seuraamaan sijoitetulla aurinkopaneelilla voidaan kerätä noin 30 prosenttia enemmän auringonsäteilyä verrattuna kiinteästi sijoitettuun aurinkopaneeliin. (Suntekno Oy 2010, 7.) Kuvassa 13 on esitelty aurinkopaneelin optimaalinen suuntaus aurinkoon nähden.



Kuva 13. Aurinkopaneelin optimaalinen suuntaus aurinkoon nähden (Suntekno Oy 2010, 6)

### 3.2.5 Siirtojohtimen aiheuttamat tehohäviöt

Johtimessa kulkeva virta lämmittää johdinta ja aiheuttaa tehohäviöitä. Tehohäviöiden pienentämiseksi johtimessa kulkevan virran ja johtimen resistanssin pitäisi olla mahdollisimman pienet. Johtimen resistanssiin vaikuttaa johtimen paksuus ja johtimen sähkönjohtavuus kyky. Aurinkopaneelien asennuksissa käytetään yleensä kuparikaapelia ja pintaliitoksissa hopeaa niiden hyvän sähkönjohtavuuden takia. Kaavassa 5 on esitelty tehohäviöiden laskenta kaava. (Suntekno Oy 2010, 8.)

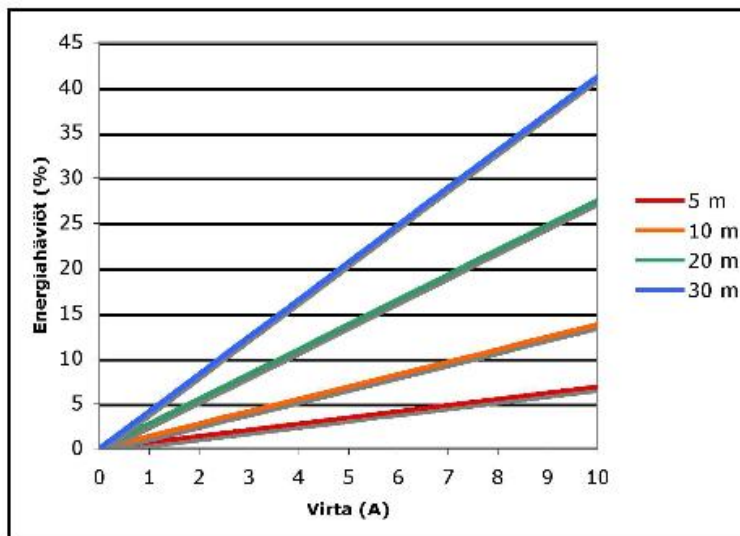
$$P = I^2 \times R \quad (5)$$

missä

$P$	on	tehohäviö [W]
$I^2$	on	johtimessa kulkeva virta [A]
$R$	on	johtimen resistanssi [ $\Omega$ ]

Kuvassa 14 on esitelty kuparikaapelin aiheuttamat tehohäviöt eri siirtomatkoilla 12 V järjestelmässä johtimen poikkipinta-alan ollessa 2 mm<sup>2</sup>. Kuvasta havaitaan, että johtimen pituuden ollessa 5 m jäävät tehohäviöt alle 5 prosentin, jos

virta ei kasva yli 7 A:n. Verratessa johtimen pituuksia tehohäviöön havaitaan, että tehohäviöt kasvavat suorassa suhteessa johtimen pituuteen nähden. Tehohäviötä voidaan pienentää muuttamalla johtimen poikkipinta-alaa tai kasvattamalla jännitettä. Esimerkiksi johtimen poikkipinta-alan kaksinkertaistaminen pienentää tehohäviötä puolella. Yleensä johtimet mitoitetaan siten, että tehohäviöt eivät ylitä 5 prosenttia. (Suntekno Oy 2010, 9.)



Kuva 14. Kuparikaapelin aiheuttamat tehohäviöt 12 V järjestelmässä (Suntekno Oy 2010, 9)

### 3.3 Aurinkopaneelien tulevaisuus

Piikenoista valmistettujen aurinkopaneelien on ennustettu hallitsevan aurinkopaneeliteknologiaa vuoteen 2020 asti. Vuonna 2020 piikenoista valmistettujen aurinkopaneelien markkinaosuus on ennustettu olevan noin 50 prosenttia, kun tällä hetkellä se on lähellä 80 prosenttia. Piikenoista valmistettujen aurinkopaneelien markkinaosuuden heikentymiseen vaikuttaa uusien parempien valmistusmateriaalien löytäminen ja niiden kehittäminen. (IEA 2010, 23.)

Taulukossa 4 on esitelty piikenoista valmistettujen aurinkopaneelien tulevaisuuden näkymiä. Taulukosta 4 havaitaan, että yksikiteisestä piistä valmistettujen aurinkopaneelien tavoitteellinen hyötysuhde vuoteen 2020 mennessä nousee 21 prosentista 23 prosenttiin ja vuonna 2030 tavoitteena on 25 prosentin

hyötysuhde. Monikiteisestä piistä valmistettujen aurinkopaneelien tavoitteellinen hyötysuhde vuoteen 2020 mennessä nousee 17 prosentista 19 prosenttiin ja vuonna 2030 hyötysuhde on 21 prosenttia. Tuotannon kannalta, kun tulevaisuutta katsoo voidaan havaita, että piin käyttö vähenee wattia kohti tulevaisuudessa yli puolella ollen vuonna 2030 2g/W. Aikavälillä 2015–2030 painopisteet tuotekehityksessä on laiterakenteiden parantamisessa, tuotannon tuottavuuden ja kustannusten optimoinnissa, uusien korvaavien teknologioiden ja laiterakenteiden kehittämisessä. (IEA 2010, 24.)

Taulukko 4. Piiaurinkokennon tulevaisuuden näkymät (IEA 2010, 24)

Crystalline silicon technologies	2010 – 2015	2015 – 2020	2020 – 2030 / 2050
Efficiency targets in % (commercial modules)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Single-crystalline: 21%</li> <li>• Multi-crystalline: 17%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Single-crystalline: 23%</li> <li>• Multi-crystalline: 19%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Single-crystalline: 25%</li> <li>• Multi-crystalline: 21%</li> </ul>
Industry manufacturing aspects	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si consumption &lt; 5 grams / Watt (g/W)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si consumption &lt; 3 g/W</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si consumption &lt; 2 g/W</li> </ul>
Selected R&D areas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• New silicon materials and processing</li> <li>• Cell contacts, emitters and passivation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Improved device structures</li> <li>• Productivity and cost optimisation in production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wafer equivalent technologies</li> <li>• New device structures with novel concepts</li> </ul>

Taulukossa 5 on esitelty ohutkalvotekniikalla valmistettujen aurinkopaneelien tulevaisuuden näkymiä. Taulukosta 5 havaitaan, että eri materiaaleista valmistettujen ohutkalvoaurinkopaneelien tavoitteelliset hyötysuhteet nousevat vuoteen 2020 mennessä amorfisen piin osalta 10 prosentista 12 prosenttiin, CIGS osalta 14 prosentista 15 prosenttiin ja CdTE osalta 12 prosentista 14 prosenttiin. Vuonna 2030 tavoitteena on amorfisesta piistä valmistettujen ohutkalvoaurinkopaneelien hyötysuhteen olevan 15 prosenttia, CIGS 18 prosenttia ja CdTE 15 prosenttia. Tuotannon kannalta vuoteen 2030 mennessä tavoitteena on yksinkertaistaa tuotantoprosesseja, alentaa pakkauskustannuksia, kehittää myrkyllisten materiaalien käsittelyä, panostaa korkeatasoiseen tuotantoon, valmistusmateriaalien saatavuuteen ja moduulien kierrätettävyyteen. Tuotekehityksessä painopisteet vuoteen 2030 mennessä on uusien materiaalien ja valmistustekniikkojen kehittämisessä. (IEA 2010, 25.)

Taulukko 5. Ohutkalvokennon tulevaisuuden näkymät (IEA 2010, 25)

Thin film technologies	2010 – 2015	2015 – 2020	2020 – 2030
<b>Efficiency targets in % (commercial modules)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thin film Si: 10%</li> <li>Copper indium gallium (di)selenide (CIGS): 14%</li> <li>Cadmium-telluride (CdTe): 12%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thin film Si: 12%</li> <li>CIGS: 15%</li> <li>CdTe: 14%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thin film Si: 15%</li> <li>CIGS: 18%</li> <li>CdTe: 15%</li> </ul>
<b>Industry manufacturing aspects</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High rate deposition</li> <li>Roll-to-roll manufacturing</li> <li>Packaging</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simplified production processes</li> <li>Low cost packaging</li> <li>Management of toxic materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large high-efficiency production units</li> <li>Availability of manufacturing materials</li> <li>Recycling of modules</li> </ul>
<b>Selected R&amp;D areas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large area deposition processes</li> <li>Improved substrates and transparent conductive oxides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Improved cell structures</li> <li>Improved deposition techniques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advanced materials and concepts</li> </ul>

## 4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmän rakenne riippuu siitä, mihin tarkoitukseen järjestelmä rakennetaan. Aurinkosähköjärjestelmä voi olla sähköverkkoon kytketty järjestelmä tai sähköverkkoon kytkemätön järjestelmä. Sähköverkkoon kytketyllä järjestelmällä hyödynnetään aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähkö ensisijaisesti omaan käyttöön ja mahdollinen ylijäämä sähkö voidaan syöttää verkonhaltijan jakeluverkkoon. Sähköverkkoon kytkemättömällä järjestelmällä aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähkö voidaan varastoida akkuihin, jos sähkön tuotanto ja sähkönkulutus eivät osu samaan hetkeen.

### 4.1 Sähköverkkoon kytketty järjestelmä

Sähköverkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista ja vaihtosuuntaajasta eli invertteristä, joka on 1- tai 3-vaiheinen. Invertteri muuttaa aurinkopaneelien tuottaman tasajännitteen vaihtojännitteeksi ja kytkee aurinkopaneelit kiinteistön sähköjärjestelmään. Invertteri seuraa tarkasti yleisen sähköverkon jännitettä ja taajuutta. Samalla invertteri tuottaa juuri sen verran verkkojännitettä korkeamman jännitteen, että sen tuottama sähkö kuluu ensisijaisesti kiinteistössä. (Motiva 2014.)

Jos kaikki aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähkö ei kulu kiinteistössä, voidaan ylijäämä sähkö siirtää muiden käytettäväksi sähköverkkoon. Tällöin kiinteistö varustetaan sähköyhtiön puolesta aina kaksisuuntaisesti mittaavalla sähkömittarilla. Kaksisuuntaisella mittaavalla sähkömittarilla voidaan mitata kiinteistön verkosta kuluttaman sähkön määrä ja mahdollisesti kiinteistöstä sähköverkkoon päin syöttävän sähkön määrä. Sähköverkkoon syötettävän sähkön määrä voidaan minimoida siten, että kaikissa kolmessa vaiheessa on laitteita päällä silloin, kun aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä. Mikäli vain yhdessä vaiheessa on laitteita päällä, ilman kuormia oleviin vaiheisiin syötetty sähkö siirtyy sähköverkkoon. (Motiva 2014.)

Sähköverkkoon kytketyssä järjestelmässä tarvitaan aurinkopaneelien ja invertterin lisäksi kaapelit laitteiden kytkentöjä varten. Pakollisia ovat myös suojalaitteet ja tasavirtapiirin turvakytkin. Yleensä suojalaitteet ja turvakytkin on integroitu valmiiksi invertteriin, mutta jos invertteri ei sisällä tarpeellisia suojauksia, pitää ne asentaa erikseen. Lisäksi kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän on oltava erotettavissa sähköverkosta lukittavalla vaihtovirtapiirin turvakytkimellä, mihin verkko-yhtiöllä on vapaa pääsy. Turvakytkin sijaitsee invertterin ja pääkeskuksen tai ryhmäkeskuksen välissä. (Motiva 2014.) Kuvassa 15 on esitelty kokoonpano sähköverkkoon kytketyn pientalon aurinkosähköjärjestelmästä.



Kuva 15. Sähköverkkoon kytketyn pientalon aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Motiva 2014)

#### 4.2 Sähköverkkoon kytkemätön järjestelmä

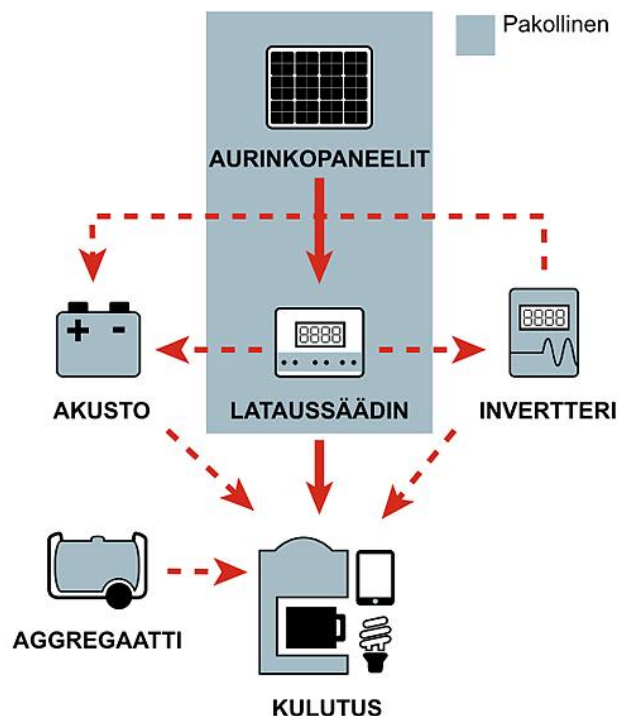
Sähköverkkoon kytkemättömät järjestelmät ovat yleisesti käytettyjä järjestelmiä taajamien ulkopuolella loma-ajan asunnoissa, joita ei voida helposti liittää sähköverkkoon. Sähköverkkoon kytkemättömissä järjestelmissä aurinkopaneelien tuottama tasavirta voidaan varastoidaan akkuihin, jos sähköntuotanto ja sähkönkulutus eivät osu samaan hetkeen. Sähköverkkoon kytkemättömissä järjestelmissä akuista voidaan ottaa tasavirtaa suoraan tasavirtaa hyödyntäviin laitteisiin. (Motiva 2014.)

Sähköverkkoon kytkemättömään järjestelmään voidaan lisätä tarvittaessa invertteri, jonka avulla tasavirta muutetaan vaihtovirraksi, joka mahdollistaa vaihtovirtalaitteiden käyttämisen järjestelmässä. Lisäksi järjestelmään voidaan liittää



aggregaatti varavoimanlähteeksi, jota voidaan käyttää sähkön tuottamiseen. (Motiva 2014.)

Sähköverkkoon kytkemättömän järjestelmän pakollinen laite aurinkopaneelien lisäksi on lataussäädin, joka asennetaan aurinkopaneelin ja akkujen väliin. Uusinta teknologiaa edustaa MPPT-lataussäädin. MPPT-lataussäädin on täysin elektroninen säädin, joka säätelee aurinkopaneelien sähkötehoa niin, että ne tuottavat joka hetkellä sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella ja valvoo, että akusto latautuu optimaalisella tavalla. MPPT-lataussäädin suojaa akkuja myös ylilataukselta ja kytkee kuormat pois, jos akun jännite laskee liian alhaiseksi. MPPT-lataussäätimen hyvinä puolia ovat nopeus, tarkkuus ja maksimitehontuotto. Toisin sanoen, mitä nopeammin ja tarkemmin lataussäädin löytää maksimitehon pisteen, sitä enemmän voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa. (Motiva 2014.) Kuva 16 on esitelty verkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano.



Kuva 16. Verkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Motiva 2014)

## 5 LAIT JA ASETUKSET

Suomessa sähkömarkkinat uudistettiin ja avattiin kilpailulle ensimmäisen kerran vuonna 1995, jolloin voimaan tuli ensimmäinen sähkömarkkinalaki. Tämä laki mahdollisti, että kaikki sähkökäyttäjät pystyivät vapaasti ostamaan sähköenergiansa eri sähkömyyjiltä. Sähkömarkkinoiden avautuminen on tämän jälkeen edennyt vaiheittain Euroopan parlamentin ja neuvoston vuonna 2003 ja vuonna 2009 antamalla toisella ja kolmannella energiamarkkinapakettilla. Uudistuksilla on pyritty poistamaan kilpailun esteitä ja luomaan kilpailulliset yhteiseurooppalaiset sähkömarkkinat toimialalle, joka on luonteeltaan monopolitoimintaa. Kolmannen energiamarkkinapaketin mukainen sähkömarkkinalaki tuli voimaan syyskuussa 2013. (Energiateollisuus ry 2013.)

Suomessa energiavirasto valvoo sekä kansallisen että Euroopan unionin sähkömarkkinalainsäädännön noudattamista ja edistää kilpailulle perustuvien sähkömarkkinoiden toimintaa. Energiaviraston tavoitteena on turvata sähkön hyvä toimitusvarmuus, kilpailukykyinen hinta ja kohtuullisten palveluperiaatteiden turvaaminen energian eri käyttäjille edistämällä varmasti, tehokkaasti ja ympäristön kannalta kestävästi toimivia kansallisia ja alueellisia sähkömarkkinoita ja maakaasumarkkinoita sekä Euroopan unionin sähkön sisämarkkinoita. (Energiavirasto 2014).

### 5.1 Sähköntuotantolaitoksen liittäminen ja sähkön siirto verkkoon

Voimassa olevan sähkömarkkinalain 20 §:ssä mukaan sähköverkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähköntuotantolaitokset toiminta-alueellaan. Liittämistä koskevien ehtojen ja teknisten vaatimusten tulee olla tasapuolisia sekä syrjimättömiä. Ehdossa ja teknisissä vaatimuksissa on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja tehokkuus. Sähköverkonhaltijan tulee julkaista liittämistä koskevat tekniset vaatimukset, sekä aika, jonka kuluessa sähköverkonhaltija käsittelee liittymistä koskevat tarjouspyynnöt. Sähköverkonhaltijan tulee antaa liittyjälle tämän pyynnöstä kattava ja riittävän yksityiskohtainen arvio liit-

tymiskustannuksista, sekä arvio liittymän toimitusajasta. Liittymä on kytkettävä 24 kuukauden kuluessa sähköverkkoon liittymissopimuksen tekemisestä, jos liittymän kytkemisen edellyttämät verkonhaltijan investoinnit sähköverkkoon on mahdollista toteuttaa tässä ajassa verkonhaltijan kannalta kohtuullisesti ja verkon käyttäjien suhteen syrjimättömästi. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 3:20 §.)

Sähköverkkopalvelujen hinnoittelussa ei saa olla perusteettomia tai sähkökaupan kilpailua ilmeisesti rajoittavia ehtoja. Siinä on kuitenkin otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuus, tehokkuus, kustannukset ja hyödyt, jotka aiheutuvat sähkötuotantolaitoksen liittämisestä verkkoon. Pienimuotoisen sähköntuotannon sähköverkkoon liittämisestä veloitettavaan maksuun ei saa sisällyttää sähköverkon vahvistamisesta aiheutuvia kustannuksia. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 4:24 §.)

Sähköverkkopalvelujen hinnoittelussa ja myyntiehdoissa ei saa olla ehtoja, jotka ovat haitallisia sähköntuotannon, sähkönsiirron, sähkönjakelun ja sähkön toimituksen kokonais- ja energiatehokkuudelle. Sähköverkkopalvelujen hinnoittelussa ei saa olla ehtoja, jotka voivat estää sähkönkulutuksen jouston tarjoamisen säätösähkömarkkinoille ja lisäpalvelujen ostajille tai jotka estävät vähittäismyyjiä asettamasta järjestäytyneillä sähkömarkkinoilla saataville järjestelmäpalveluja kysynnänohjaustoimenpiteitä tai kysynnänhallintaa varten. Sähköverkkopalvelujen hinnoittelussa on otettava huomioon kustannukset ja hyödyt, jotka aiheutuvat sähkönkulutuksen joustosta ja kysynnänohjaustoimenpiteistä. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 4:24a-24b §.)

Sähköverkonhaltijan verkkopalvelujen myyntiehtojen on luotava edellytykset sähkönkulutuksen jouston osallistumiseen säätösähkömarkkinoille ja varavoi-  
mamarkkinoille, sekä lisäpalvelujen tarjoamiseen, jos osallistumisen järjestäminen on sähköverkonhaltijan tehtävänä. Sähköverkonhaltijan myyntiehdoissa on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja tehokkuus. Sähköverkonhaltijan myyntiehdoissa ei saa olla ehtoja, jotka perusteetta estävät yhteisostoryhmien tarjoaman sähkönkulutuksen jouston osallistumisen säätösähkö-

markkinoille ja varavoimamarkkinoille, sekä lisäpalvelujen tarjoamiseen. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 4:24b §.)

Valtionneuvoston asetuksen mukaan sähköjakeluverkossa sähköntuotantoon sovelletaan energiamäärään perustuvaa siirtomaksua. Asetuksen mukaan sähköjakeluverkonhaltijan yksittäiseen liittymään sijoittuvalta sähköntuotannolta veloittama siirtomaksu ei saa ylittää vuodessa keskimäärin 0,07 c/kWh. (Valtionneuvoston asetus sähköntuotannon siirtomaksuista sähköjakeluverkoissa 691/2007 3 §.)

Nykyisten sopimusehtojen perusteella sähköverkkoon syöttö tulisi estää, jos sähkölle ei löydy ostajaa. Lainsäädäntö ei määrää sähkön ostovelvoitetta kenellekään markkinaosapuolelle ja verkonhaltijan rooli sähkön ostajana on ristiriidassa sähkömarkkinoiden periaatteiden ja eri toimijoille määrättyjen roolien ja vastualueiden kanssa. Verkonhaltija voi kuitenkin joustaa niin kauan, että tuottaja löytää markkinakumppanin tai asia ratkeaa esimerkiksi lainsäädännön muutoksella. Tuottajan löytäessä markkinakumppanin astuvat voimaan tuottajaa koskevat normaalit velvoitteet. Mikäli tuotantolaitoksen haluaa liittää sähköverkkoon, vaikka sähkölle ei ole ostajaa, on tehtävä erillinen sopimus verkkoyhtiön kanssa. (Energiateollisuus ry 2011, 12.)

## 5.2 Sähköntuotannon mittaus

Sähköntuotannon mittauskäytännöt ja mittausta koskevat lainsäädäntö ovat erilaiset eri kohteissa riippuen kohteen koosta ja siitä myydäänkö sähköverkkoon siirtyvää sähköä markkinoille. Kohde, josta sähköverkkoon syötettävää sähköä ei myydä markkinoille, voidaan rinnastaa normaaliin sähkön kulutuspaikkaan. Tällaisessa kohteessa voidaan käyttää perinteistä pyörivää mittaria, joka mittaa ainoastaan kulutuksen. Kumminkin suositeltavaa on asentaa kohteeseen varalta mittauslaitteisto, joka mittaa erikseen sähköverkosta otetun ja sähköverkkoon syötetyn sähkön määrän, jos jossain vaiheessa halutaan myydä sähköverkkoon syötettävää sähköä markkinoille. (Energiateollisuus ry 2011, 12.)

Enintään 3x63 A pääsulakkeilla varustettuun käyttöpaikkaan liitetty sähköntuotantolaitos ei vaadi omaa mittalaitetta. Tällaisessa kohteessa riittää, että kohde on varustettu mittauslaitteella, joka mittaa erikseen sähköverkosta otetun, sekä sähköverkkoon syötetyn sähkön määrän. (Energiateollisuus ry 2011, 13.)

Yli 3x63 A pääsulakkeilla varustettua käyttöpaikkaa ei voida mitata yhdellä mittarilla. Kohteesta, jossa on sähköverkosta ottoa ja sähköverkkoon syöttöä, tulee mitata sähköverkosta otetun ja sähköverkkoon syötetyn lisäksi oman tuotannon kulutus. Oman tuotannon kulutus saadaan vähentämällä tuotetusta sähköstä tuotantolaitoksen omakäyttösähkö ja verkkoon syötetty sähkö. Omakäyttösähköksi kutsutaan tuotantolaitosjärjestelmän itsensä kuluttamaa sähköä. Sähköverkosta otetun ja syötetyn sähkön mittaaminen on verkonhaltijan vastuulla ja mittari on verkonhaltijan omistuksessa ja verkonhaltija huolehtii sen luennasta. Sähköntuottajalla on mittausvastuu oman tuotannon kulutuksesta. (Energiateollisuus ry 2011, 13.)

### 5.3 Sähköverovelvollisuus

Sähköverovelvollisuudella viitataan sähkön valmisteveron ja huoltovarmuusmaksun suorittamiseen. Tällä hetkellä sähkön valmisteveroa ja huoltovarmuusmaksua ei tarvitse maksaa sähköstä, joka tuotetaan enintään 50 kVA tehoisessa generaattorissa tai useiden sähköntuotantolaitteistojen muodostamalla enintään 50 kVA nimellistehoisella kokonaisuudella. (Motiva 2012, 14.)

Valtionvarainministeriössä on parhaillaan valmisteilla esitys, jossa pientuotannon sähköverovelvollisuuden rajaan nostettaisiin 50 kVA:sta 100 kVA:iin. Samalla muutettaisiin myös nykyinen sääntely, mikä koskee yli 50 kVA:n, mutta enintään 2000 kVA:n nimellistehoisen tuotantolaitoksen verotusta. Tällä hetkellä yli 50 kVA:n, mutta enintään 2000 kVA:n nimellistehoisen tuotantolaitoksen verotus riippuu siitä, siirretäänkö sähköä sähköverkkoon kalenterikuukauden aikana vai ei. Tilalle tulisi sääntely, jossa yli 100 kVA:n nimellistehoinen tuotantolaitos säilyisi verotuksen ulkopuolella, jos tuotantolaitoksen tuottaman sähkön määrä ei ylitä kalenterivuodessa 800 000 kWh:ta. (Energiateollisuus ry 2014, 2.)

#### 5.4 Viranomaisluvut

Sähköntuotantolaitoksen hankintaan vaikuttavat lupakäytännöt vaihtelevat kunnittain. Esimerkiksi Tampereen kaupungin rakennustapaohjeen mukaan pientaloon voidaan sijoittaa sähköntuotantolaitos ja aurinkopaneelit ilman toimenpidelupaa, jos aurinkopaneelien pinta-ala on enintään 10 m<sup>2</sup> ja aurinkopaneelit asennetaan katolle tai pihajulkisivuun kiinnityspinnan suuntaisina. Toimenpidelupa vaaditaan Tampereen kaupungilla, jos aurinkopaneeleita on enemmän tai jos aurinkopaneelien asennus poikkeaa kattolapteen ja seinäpinnan suunnasta. (Tampereen Kaupunki 2012.)

Ennen sähköntuotantolaitoksen hankintapäätöstä suositellaan kumminkin perehtymään kunnan rakennustapaohjeeseen ja olemaan tarvittaessa yhteydessä kunnan rakennusvalvontaan. Rakennustapaohjeet vaihtelevat kunnittain ja näin ollen rakennusvalvonta voi vaatia hakemaan rakennuslupaa, toimenpidelupaa tai tekemään toimenpideilmoituksen hankittavasta sähköntuotantolaitoksesta. Jos rakennusvalvonta vaatii hakemaan lupaa tai tekemään ilmoituksen, pitää hakemukseen liittää tarvittavat lisäselvitykset, esimerkiksi asemakuva ja julkisivupiirros. (Energiateollisuus ry 2011, 1.)

## 6 JAKELUVERKKOON LIITTÄMISEN YLEISET VAATIMUKSET

Tässä luvussa käydään läpi Energiateollisuus ry:n tekemiä ohjeita liittyen tuotantolaitoksen liittämiseen jakeluverkkoon. Ohjeiden tarkoituksena on antaa perustiedot tuotantolaitoksen verkkoon liittämisestä, teknisistä vaatimuksista, sopimuksista ja käytöstä. Kyseiset ohjeet ovat sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon - nimellistehoaltaan enintään 50 kVA laitoksen liittämiseen ja mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon.

### 6.1 Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon

Sähköntuotantolaitosta ei saa kytkeä sähköverkkoon ilman verkonhaltijan lupaa. Verkonhaltijaan pitää olla yhteydessä hyvissä ajoin ennen sähköntuotantolaitoksen hankkimispäätöstä. Tällöin voidaan varmistua sähköntuotantolaitoksen soveltuvuudesta jakeluverkkoon ja siitä, onko tarvetta tehdä jakeluverkon vahvistamista ja muutoksia mittauslaitteistoihin. Tärkeää on myös huolehtia, että sähköntuotantolaitteet ovat verkonhaltijan hyväksymiä ja ne täyttävät niille asetetut tekniset vaatimukset. Teknisillä vaatimuksilla varmistetaan sähkönlaadun pysyminen sellaisella tasolla, etteivät jakeluverkkoon kytketyt muut laitteet häiriinny, eivätkä aiheuta vaaraa sähkön käyttäjille ja jakeluverkon parissa työskenteleville. Sähköntuottaja on vastuussa, jos hänen sähköntuotantolaitteistonsa aiheuttaa vaaraa tai sähkönlaadun heikentymisen. Tällöin verkonhaltijalla on oikeus poistaa sähköntuotantolaitteisto jakeluverkosta. Sähköntuotantolaitoksen saa kytkeä jakeluverkkoon ainoastaan ammattitaitoinen, sähköluvut omaava henkilö. (Energiateollisuus ry 2011, 1.)

Sähköntuotantolaitoksen liittämisestä jakeluverkkoon pitää yleensä tehdä sähköntuotannon liittymissopimus. Liittymissopimuksen tarve arvioidaan kuitenkin tapauskohtaisesti ja sähköntuotannon liittymissopimuksessa sovelletaan Energiateollisuus ry:n suosittelemia sähköntuotannon liittymisehtoja (TLE14). (Energiateollisuus ry 2011, 2.)

Jos sähköntuotantolaitos liitetään jakeluverkkoon siten, että sen tuottama sähkö voidaan siirtää osin tai kokonaan jakeluverkkoon, pitää verkonhaltijan kanssa tehdä sähköntuotantoa koskeva verkkopalvelusopimus. Tällä tarkoitetaan, että normaalisti käyttöpaikassa voimassa olevaa verkkopalvelusopimusta laajennetaan koskemaan myös tuotantoa. Tuotantokohteissa ehtoja laajennetaan Energiateollisuus ry:n suosittelemalla liitteellä verkkopalveluehtoihin koskien sähköntuotannon verkkopalvelua (TVPE11). (Energiateollisuus ry 2011, 2-3.)

Sähköntuottajalla on oikeus liittää sähköntuotantolaitos jakeluverkkoon, kun tuotantolaitos täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset. Sähköntuottajalla on myös oikeus siirtää sähköä jakeluverkkoon, kun sähköntuotantolaitoksen liityntä ja mittaus täyttävät niille asetetut vaatimukset ja sähköntuottajalla on ostaja jakeluverkkoon syöttämälleen sähkölle. (Energiateollisuus ry 2011, 2-3.)

## 6.2 Mikrotuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon

Mikrotuotannolla tarkoitetaan sähköntuotantoa, joka on nimellisteholtaan enintään 50 kVA. Mikrotuotannon tarkoitus on tuottaa ensisijaisesti sähköä kohteen omaan käyttöön ja sähkön syöttö jakeluverkkoon on satunnaista. Mikrotuotanto on lähinnä yksityisten kuluttajien ja pienyritysten hankkimia pieniä sähköntuotantolaitoksia, jotka liitetään heidän kulutuskohteensa sähköjärjestelmään. Standardin EN 50438: Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks mukaan mikrotuotanto on tuotantoa, joka liittyy sähköverkkoon enintään 3x16 A sulakkeilla. Näin ollen 3-vaiheisen mikrotuotantolaitoksen maksimitehoksi voidaan määritellä 11 kW ja 1-vaiheisen mikrotuotantolaitoksen maksimitehoksi 3,7 kW. (Energiateollisuus ry 2011, 3.)

Sähköliittymään voidaan liittää mikrotuotantoa liittymissopimuksessa määritellyn tehon mukaisesti, jos tuotantolaitoksen käynnistyminen tai verkosta poistuminen ei aiheuta yli 4 prosentin jännitteen muutosta ja sähkön laatu liittymiskohdassa pysyy aina yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet standardin SFS-EN 50160 rajoissa. Lisäksi mikrotuotantolaitoksen käynnistysvirta ei



saa ylittää liittymissopimuksen maksimitehon mukaista virran huippuarvoa, eikä verkon kanssa rinnan toimiva mikrotuotantolaitos saa aiheuttaa häiriötä verkkoon, eikä muihin sähköasennuksiin. Harmoninen kokonaissärö saa liittymiskohdassa olla maksimissaan 8 prosenttia, eikä kokonaissärön määrä saa ylittää maksimirajaa, vaikka liittymään liitetään mikrotuotantolaitos. (Energiateollisuus ry 2011, 3,6.)

Sähköturvallisuusstandardin SFS 6002 mukaan mikrotuotantolaitos tulee olla erotettavissa jakeluverkosta ja erotuslaitteessa tulee olla näkyvä ilmaväli ja erottimen käyttömekanismin tulee olla lukittavissa. Erottimena voidaan käyttää erillistä mikrotuotantolaitoksen yhteyteen asennettua erotinta, jolloin erottimessa pitää olla näkyvä ilmaväli, luotettava mekaaninen asennonosoitus tai sähkökeskuksen pääsulakkeet voidaan irrottaa. Lisäksi jakeluverkonhaltijalla on oltava esteetön pääsy erottimelle tai kaukokytkentämahdollisuus. (Energiateollisuus ry 2011, 4.)

Mikrotuotannon yleistyessä on myös vaarana, että kaikkia mikrotuotantolaitteistoja ei ole ilmoitettu jakeluverkonhaltijalle. Tällöin jakeluverkonhaltija ei ole tietoinen laitteiden sijainneista, eikä suojauksista. Tästä syystä takasyöttöriski on suuri, jolloin on tärkeää todentaa jännitteettömyys ja maadoittaa asennustilan teissa asennuspaikka myös mahdollisen mikrotuotannon puolelta. (Energiateollisuus ry 2011, 4.)

Kaikki mikrotuotantolaitoksen jännitteisiksi tekemät paikat tulee merkitä verkon puolella ja mikrotuotantolaitoksen puolella asianmukaisilla varoituskilvillä. Varoituskilvet tulee asentaa siten, että maallikko ja asentaja huomaavat ne varmasti. Varoituskilpien lisäksi verkonhaltijan on hyvä merkitä jokainen mikrotuotantolaitos omiin järjestelmiinsä. (Energiateollisuus ry 2011, 5.)

Mikrotuotantolaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät mikrotuotantolaitteiston irti jakeluverkosta, jos verkkosyöttö katkeaa tai, jos jännite tai taajuus generaattorilaitteiston navoissa poikkeaa mikrotuotantolaitoksen sallitulle toiminnalle asetetuista jännitearvoista ja taajuusarvoista. Mikrotuotantolaitos ei

koskaan saa kytkeytyä verkkoon, jos jännite tai taajuus arvot ole annetuissa rajoissa. (Energiateollisuus ry 2011, 6.)

Mikrotuotantolaitoksen suojausten tulee varmistaa, että mikrotuotantolaitos lakkaa syöttämästä verkkoon, kun mikä tahansa kuvassa 17 esitellyistä arvoista ylittää tai alittaa asetteluarvon. Mikrotuotantolaitoksen tulee myös irtautua kaikissa laitevioissa, eikä mikrotuotantolaitos saa koskaan alkaa syöttämään sähköä verkkoon, joka ei täytä kuvassa 17 esiteltyjä asetteluarvojen vaatimuksia. Mikrotuotantolaitoksen suojauslaitteet voivat olla erillisiä suojalaitteita tai liitettynä mikrotuotantolaitoksen laitteistoon. Suojauslaitteiden toimittajan tulee kumminkin aina taata, että suojaus täyttää voimassa olevan lain ja standardien asettelemat irtoamisvaatimukset. (Energiateollisuus ry 2011, 6.)

Jos mikrotuotantolaitos irtoaa verkosta suojauslaitteiston toiminnan johdosta, saa se kytkeytyä verkkoon takaisin vasta, kun verkon taajuus ja jännite on palautunut suojausasetteluarvojen sallimiin rajoihin ja ovat pysyneet asetteluarvojen sallimissa rajoissa asetetun minimiajan. Vaihtosuuntaajan kautta verkkoon liitetyille mikrotuotantolaitoksille minimiaika on 20 sekuntia ja muille sähköntuotantolaitoksille 3 minuuttia. Kuvassa 17 on esitelty suojauslaitteiden asetteluarvot. (Energiateollisuus ry 2011, 3.)

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,2 s	$U_n + 10 \%$
Alijännite	0,2 s	$U_n - 15 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,2 s	48 Hz
Saarekekäyttö	enintään 5 s	

Kuva 17. Tuotantolaitteiston suojauslaitteiden asetteluarvot (Energiateollisuus ry 2011, 3)

Kuvassa 17 esitellyt suojauslaitteiden asetteluarvot poikkeavat Suomelle asetuista maakohtaisista arvoista standardissa EN 50438. Kuvassa 17 esitellyt arvot on määritelty ottaen huomioon laitteiston koko ja ominaisuudet sekä olemassa olevista asennuksista saadut kokemukset. Suojausasetukset täyttävät

laitosten lisäksi myös teknisiltä ominaisuuksilta Saksan mikrotuotantonormin VDE-AR-N-4105 ja normin mukaiset laitteet soveltuvat jakeluverkkoon Suomessa. (Energiateollisuus ry 2011, 3.)

Mikrotuotantolaitoksen pitää aina irrota verkosta loss of mains (LoM)-tilanteessa eli tilanteessa, jossa verkon jännite katoaa. LoM-tilanteessa mikrotuotantolaitoksen tulee aina irrota verkosta, eikä se saa koskaan jäädä yksin syöttämään saarekettä. Osa verkkoliitälaitteista syöttää verkkoon virtaa pulssimuotoisena, eikä vaihtovirtana. Tällaiset verkkoliitälaitteistot eivät pysty jäämään saarekekäyttöön, koska ne tarvitsevat aina verkon jännitettä tahdistukseen. Kumminkin tällaisetkin laiteratkaisut tulee testata LoM-tilanteessa, vaikka laite ei tarvitse erillistä LoM-suojausta. Osalla verkkoliitälaitteista on mahdollista, että jännitteen pudotessa saarekkeen kuorma on hyvin lähellä mikrotuotantolaitoksen tuotantoa. Tällöin verkosta irtoamista ei välttämättä havaita normaaleilla jännitereleillä ja taajuusreleillä, vaan mikrotuotantolaitos jää syöttämään saarekettä. Tällaiset laiteratkaisut tulee varustaa aina LoM-suojauksella. LoM-suojauksen toiminta-aika on 0,15s. (Energiateollisuus ry 2011, 8-9.)

Mikrotuotantolaitoksen omistajan halutessa voidaan käyttää verkon kanssa rinnan toimivaa mikrotuotantolaitosta varavoimana. Kyseinen tilanne vaatii asentamaan erillisen kytkimen ja lisälaitteiston, jolla saadaan aikaan kaksoiskytkentämahdollisuus. Kaksoiskytkentämahdollisuudella tarkoitetaan tilannetta, jossa toisella kytkennällä mikrotuotantolaitos toimii verkon kanssa rinnan ja toisella kytkennällä täysin verkosta erotetussa saarekkeessa. Tällaisessa kytkennässä on erittäin tärkeää, ettei mikrotuotantolaitos voi missään olosuhteissa syöttää samanaikaisesti verkkoa, eikä verkosta erotettua saarekettä. (Energiateollisuus ry 2011, 9.)

Mikrotuotantolaitos voi syöttää verkkoon oikosulkuvirtoja. Oikosulkuvirrat voivat nostaa kokonaisuikosulkuvirtoja vikapaikassa. Korkeat oikosulkuvirrat hajautevasti sijoitetun mikrotuotantolaitoksen läheisyydessä voivat johtaa termisten rajojen ylittymiseen verkon komponenteissa. Erityisesti muuntajat, kytkinlaitteet ja kaapeliliitokset aiheuttavat ongelmaa lisääntyneiden vikavirtojen takia. Mikäli

edellä mainittuja ongelmia ilmenee mikrotuotannon takia, voidaan ongelmia hallita vaihtamalla komponentteja parempiin tai pienentämällä oikosulkuvirtoja jakamalla verkko pienempiin osiin. Muuntajan arvojen asettelulla voidaan vähentää oikosulkuvirtoja. Jossain tapauksissa suotavaa on käyttää vikavirtarajoittimia. (Energiateollisuus ry 2011, 9.)

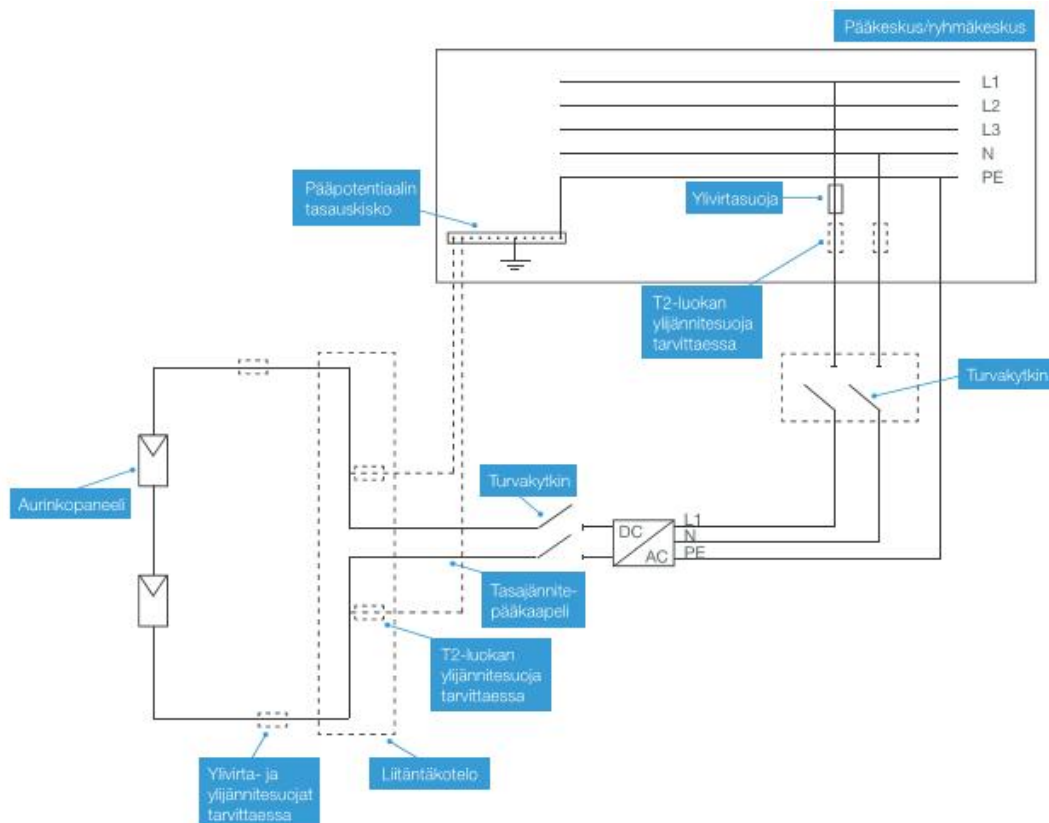
Mikrotuotantolaitoksen syöttämä vikavirta riippuu laitoksen ominaisuuksista. Mikrotuotantolaitos, joka on taajuusmuuttajan välityksellä verkkoon liitetty laitteiston vikavirtaa rajoittaa taajuusmuuttajan ominaisuudet. Mikrotuotantolaitosten syöttämä vikavirta on yleensä hieman sen nimellisvirtaa suurempi. Mikrotuotantolaitteiston tyyppitestauspapereissa tulisi olla merkittynä laitteiston maksimivikavirran suuruus. Tätä arvoa voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa mikrotuotantolaitoksen verkkovaikutuksia. (Energiateollisuus ry 2011, 10.)

Ennen mikrotuotantolaitoksen liittämistä sähköverkkoon tulee verkonhaltijalle toimittaa keskeiset tiedot ja dokumentit mikrotuotantolaitoksesta. Verkonhaltija antaa liittymisluvan sähköverkkoon mikrotuotantolaitoksesta annettujen tietojen perusteella. Toimitettavat tiedot ovat:

- Tyyppikilpiin kirjatut tiedot tuotantolaitteesta, verkon liityntälaitteesta ja mahdollisista lisälaitteista, sekä laitteen syöttämä suurin vikavirta.
- Testauspöytäkirja, josta selviää tuotantolaitoksen suojausvaatimukset ja laitteiston täyttämät EMC-vaatimukset.
- Tuotantolaitoksen verkkoon kytkeytymistapa ja kytkeytymisaika.
- Tieto tuotantolaitoksen erottamisratkaisusta ja erottimesta. (Energiateollisuus ry 2011, 14.)

Kun mikrotuotantolaitos on kytketty jakeluverkkoon, tuottajan tulee toimittaa verkonhaltijalle käyttöönottopöytäkirja. Jos mikrotuotantolaitos on kytketty 1-vaiheiseksi, pitää käyttöönottopöytäkirjassa olla maininta, mille vaiheelle se on liitetty. Mikrotuotantolaitosta voidaan käyttää vasta, kun käyttöönottopöytäkirja on toimitettu verkonhaltijalle ja verkonhaltija on antanut luvan laitoksen käyttöön. (Energiateollisuus ry 2011, 14.)

Kuvassa 18 on esitelty aurinkosähköjärjestelmän kytkentäkaavio rakennuksen sähköverkkoon. Aurinkopaneelit eivät tuota suurta vikavirtaa, mutta ulkoiset tekijät, kuten salamet, voivat tuottaa suurtakin vikavirtaa. Tästä syystä tarvitaan ylivirtasuojat suojaamaan järjestelmää sähköverkosta tulevilta ylivirroilta ja muilta vikatilanteilta. Asianmukaisella ylivirtasuojauksella ja ylijännitesuojauksella saadaan turvattua aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaaja ja aurinkopaneelit sähköverkossa sattuvilta vikatilanteilta. Pääkeskukseen tai ryhmäkeskukseen suositellaan asennettavan T2-luokan ylijännitesuojat. Huomioitavana on vaihtosuuntaajan ja keskuksen välisen kaapeloinnin välimatka. Välimatkan ylittäessä 15 m suositellaan T2-luokan ylijännitesuojia asennettavaksi myös vaihtosuuntaajan läheisyyteen. Lisäksi, jos vaihtosuuntaajan ja aurinkopaneelien kaapeloinnin välimatka on yli 30 m, suositellaan asennettavaksi T2-luokan ylijännitesuojat aurinkopaneelien läheisyyteen. (Rexel 2013, 9.)



Kuva 18. Aurinkosähköjärjestelmän kytkeminen rakennuksen sähköverkkoon (Rexel 2013, 9)

## 7 MIKROTUOTANNON LIITTÄMINEN JAKELUVERKKOON

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä, miten aurinkoenergialla toimiva mikrotuotanto liitetään Optiplan Oy:n toimipisteiden alueilla toimivien verkonhaltioiden jakeluverkkoon. Optiplan Oy:n toimipisteiden alueella toimii Helen Sähköverkot Oy, Turku Energia sähköverkot Oy, Tampereen Sähköverkko Oy ja Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy. Seuraavaksi tarkastellaan kyseisten verkonhaltijoiden vaatimuksia mikrotuotannon liittämiseen jakeluverkkoon.

### 7.1 Helen Sähköverkot Oy

Helsingin kaupungin sähkölaitos perustettiin vuonna 1909. Vuonna 1995 nimeksi muutettiin Helsingin Energia, joka yhtiöitettiin kesällä 2014. Samalla päätettiin, että uuden yhtiön nimeksi tulee Helen Oy, jonka omistaa Helsingin kaupunki. (Helen Oy 2015.)

Helen Oy internetsivuilta löytyy ohjeita ja lomakkeita liittyen mikrotuotannon liittämiseen jakeluverkkoon. Mikrotuotantolaitoksen liittämässä Helen Sähköverkot Oy:n jakeluverkkoon tulee noudattaa luvussa 6 tarkasteltuja Energiateollisuus ry:n ohjeita, joita ovat sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon - nimellisteholtaan enintään 50 kVA laitoksen liittämiseen ja mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon. (Helen Oy 2015.)

Kyseisten ohjeiden lisäksi mikrotuotantolaitoksen liittämässä Helen Sähköverkot Oy:n jakeluverkkoon tulee noudattaa Energiateollisuus ry:n suosittelemia sähköntuotannon liittymisehtoja (TLE14) ja sähköntuotannon verkkopalveluehtoja (TVPE11). (Helen Oy 2015.)

Helen Sähköverkot Oy suosittelee ottamaan yhteyttä asiakaspalveluun ennen mikrotuotantolaitteiden hankintaa. Tällä tavalla voidaan varmistaa hankittavan mikrotuotantolaitoksen liittymiskelpoisuus jakeluverkkoon. Asiakaspalveluun tulee toimittaa jakeluverkkoon liitetyn tuotantolaitteiston perustietolomake, jonka

perusteella tarkastellaan, voidaanko mikrotuotantolaitteisto liittää olemassa olevaan sähköliittymään. Tarvittaessa liittymisluokka nostetaan, mikäli tuotantoteho ylittää liittymän tämänhetkisen koon. Ennen mikrotuotannon käyttöönottoa pitää vielä tarkastaa, onko tarvetta vaihtaa nykyinen energiankulutusmittari. (Helen Oy 2015.)

Helen Sähköverkko Oy ei maksa mikrotuotantolaitoksen hankkimisesta ja jakeluverkkoon liittymisestä hyvitysmaksuja. Mahdollista ylijäämäsähköä tuottaessaan asiakas saa syöttää ylijäämäsähkön jakeluverkkoon, eikä Helen Sähköverkko Oy toistaiseksi peri ylijäämänä siirretystä sähköstä siirtomaksua. Tällä hetkellä Helen Sähköverkko Oy:n alueelta ei ole saatavilla tilastoa, mistä nähtäisiin alueella toimivien mikrotuotantolaitoksien lukumäärät, jotka toimivat jakeluverkon kanssa rinnan. Helen Sähköverkko Oy:llä ei ole käytössä erillistä mikrotuotannon kaukokäyttömahdollisuutta, eivätkä he näe tarpeelliseksi rakentaa kyseistä järjestelmää tulevaisuudessa. (Hyvärinen 2015.)

## 7.2 Turku Energia Sähköverkot Oy

Turku Energia eli Oy Turku Energia - Åbo Energi Ab on vuonna 1898 perustettu energiayhtiö, jonka omistaa Turun kaupunki. Turun energialaitos yhtiöitettiin 1995 ja samalla perustettiin tytäryhtiöksi Turun Energia Sähköverkot Oy, joka vastaa sähkön siirrosta Turun alueella. (Turku Energia Oy 2015.)

Turku Energian internetsivuilta ei löydy kunnolla ohjeita, eikä tietoja mikrotuotannon liittämiseen jakeluverkkoon. Tiedustelemalla sähköpostitse sain tietoja, minkälaisia vaatimuksia Turku Energian Sähköverkko Oy:llä on mikrotuotannon liittämisestä jakeluverkkoon.

Mikrotuotantolaitoksen liittämisessä Turku Energia Sähköverkot Oy:n jakeluverkkoon tulee noudattaa muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta luvussa 6 tarkasteltuja Energiateollisuus ry:n ohjeita, joita ovat sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen

liittäminen jakeluverkkoon - nimellisteholtaan enintään 50 kVA laitoksen liittämiseen ja mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon. (Välimäki 2014.)

Kyseisten ohjeiden lisäksi mikrotuotantolaitoksen liittämässä Turku Energian Sähköverkko Oy:n jakeluverkkoon tulee noudattaa Energiateollisuus ry:n suosittelomia sähköntuotannon liittämisehtoja (TLE14) ja sähköntuotannon verkkopalveluehtoja (TVPE11). (Välimäki 2014).

Turku Energian Sähköverkko Oy hyväksyy esimerkiksi omakotitalon sähköliittymän pääkytkimen mikrotuotantolaitoksen erottamispaikaksi sähköverkosta. Tämä edellyttää, että omakotitalossa on ulkomittauskeskus ja pääkytkin sijaitsee keskuksessa, johon verkonhaltijalla olla vapaa pääsy. Muutoin mikrotuotantolaitos on varustettava aina erillisellä erottimella, mikä erottaa mikrotuotantolaitoksen sähköverkosta ja erottimeen on verkonhaltijalla vapaa pääsy. Lisäksi Turku Energian Sähköverkko Oy on maininnut mikrotuotantolaitosta suunnittelevalle, että sähkökeskukset, ryhmä- ja mittakeskukset tulee varustaa kyltillä esim. Takasyöttö, erillinen kytkin katkaisee takasyötön! (Välimäki 2014.)

Turku Energian Sähköverkko Oy suosittaa ottamaan yhteyttä asiakaspalveluun ennen mikrotuotantolaitteiden hankintaa. Tällä tavalla voidaan varmistaa hankittavan mikrotuotantolaitoksen liittämiskelpoisuus jakeluverkkoon. Asiakaspalveluun tulee toimittaa mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake, jonka perusteella tarkastellaan, voidaanko mikrotuotantolaitteisto liittää olemassa olevaan sähköliittymään. Tarvittaessa liittymisluokka nostetaan, mikäli tuotantoteho ylittää liittymän tämän hetkisen koon. Ennen mikrotuotannon käyttöönottoa pitää vielä tarkastaa, onko tarvetta vaihtaa nykyinen energiankulutusmittari. Lisäksi mikrotuotantolaitteiston omistajan pitää tehdä ilmoitus laitteistosta paikalliselle pelastuslaitokselle. (Turku Energia Oy 2015.)

Turku Energian Sähköverkko Oy ei maksa mikrotuotantolaitoksen hankkimisesta ja jakeluverkkoon liittymisestä hyvitysmaksuja. Mahdollista ylijäämäsähköä tuottaessaan asiakas saa syöttää ylijäämäsähkön jakeluverkkoon, eikä Turun Energian Sähköverkko Oy toistaiseksi peri ylijäämänä siirretystä sähköstä siir-



tomaksua. Tällä hetkellä Turku Energian Sähköverkko Oy:n alueella ei ole yhtään yksityistä mikrotuotantolaitteistoa, joka toimisi jakeluverkon kanssa rinnan. Muutamia myymälöitä on rakennettu, joissa mikrotuotantolaitos toimii rinnan jakeluverkon kanssa. Turku Energian Sähköverkko Oy:llä ei ole käytössä erillistä mikrotuotannon kaukokäyttömahdollisuutta, eivätkä he näe tarpeelliseksi rakentaa kyseistä järjestelmää tulevaisuudessa. (Välimäki 2014.)

### 7.3 Tampereen Sähköverkko Oy

Tampereen Sähkölaitos toimi vuodesta 1888 vuoden 2008 loppuun asti Tampereen kaupungin omistamana energialiikelaitoksena. Vuoden 2009 alussa Tampereen Sähkölaitos yhtiöitettiin Tampereen kaupungin omistamaan emoyhtiöön ja viiteen tytäryhtiöön. Tampereen Sähköverkko Oy vastaa sähkön siirrosta Tampereen alueella. (Tampereen Sähkölaitos Oy 2015.)

Tampereen Sähkölaitoksen internetsivuilta löytyy ohjeita ja lomakkeita liittyen mikrotuotannon liittämiseen jakeluverkkoon. Mikrotuotantolaitoksen liittämässä Tampereen Sähköverkko Oy:n jakeluverkkoon tulee noudattaa luvussa 6 tarkasteltuja Energiateollisuus ry:n ohjeita, joita ovat sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon - nimellistehoaltaan enintään 50 kVA laitoksen liittämiseen ja mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon.

Kyseisten ohjeiden lisäksi mikrotuotantolaitoksen liittämässä Tampereen Sähköverkko Oy:n jakeluverkkoon tulee noudattaa Energiateollisuus ry:n suosittelemia sähköntuotannon liittymisehtoja (TLE14) ja sähköntuotannon verkkopalveluehtoja (TVPE11). Näiden ohjeiden lisäksi Tampereen Sähköverkko Oy:llä on erillinen ohje tuotantolaitteiston varoitusmerkinnöistä. (Tampereen Sähkölaitos Oy 2015.)

Tampereen Sähköverkko Oy suosittelee ottamaan yhteyttä asiakaspalveluun ennen mikrotuotantolaitteiden hankintaa. Tällä tavalla voidaan varmistua mikrotuotantolaitoksen liittämiskelpoisuudesta jakeluverkkoon. Asiakaspalveluun tulee

toimittaa mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake, jonka perusteella tarkastellaan, voidaanko mikrotuotantolaitteisto liittää olemassa olevaan sähköliittymään. Tarvittaessa liittymislukko nostetaan, mikäli tuotantoteho ylittää sähköliittymän tämän hetkisen koon. Ennen mikrotuotannon käyttöönottoa pitää vielä tarkastaa, onko tarvetta vaihtaa nykyinen energiankulutusmittari. (Tampereen Sähkölaitos Oy 2015.)

Tampereen Sähköverkko Oy maksaa tuotantolaitteiston perustietolomakkeen tai tuotantolaitteiston käyttöönoton testauspöytäkirjan perusteella asiakkaalle kertahyvityksen mikrotuotantolaitteiston hyväksytystä käyttöönotosta. Kertahyvitysmaksu maksetaan yhden kerran käyttöpaikkaa kohden, ja se on ollut voimassa 1.6.2012 alkaen ja on voimassa toistaiseksi siihen asti, kunnes pientuotajan asema on lainsäädännöllisesti ja verotuksellisesti selkiytynyt. Mahdollista ylijäämäsähköä tuottaessaan asiakas saa syöttää ylijäämäsähkön sähköverkkoon, eikä Tampereen Sähköverkko Oy toistaiseksi peri ylijäämänä siirretystä sähköstä siirtomaksua. (Tampereen Sähkölaitos Oy 2015.) Taulukossa 6 on esitelty kertahyvitysmaksujen suuruudet.

<b>Pientuotantolaitteiston nimellisteho</b>	<b>Kertahyvitysmaksu pientuotannon liittämistä jakeluverkkoon (sisältäen alv 23 %)</b>
alle 2 kW	30 €
2 – 5 kW	80 €
yli 5 kW	130 €

Taulukko 6. Pientuotantolaitoksen kertahyvitys (Tampereen sähkölaitos Oy)

Tällä hetkellä Tampereen Sähköverkko Oy alueella on 20 yksityistä mikrotuotantolaitteistoa, jotka toimivat jakeluverkon kanssa rinnan. Tampereen Sähköverkko Oy:llä ei ole käytössä erillistä mikrotuotannon kaukokäyttömahdollisuutta, eivätkä he näy tarpeelliseksi rakentaa kyseistä järjestelmää tulevaisuudessa. (Kastemaa 2015.)

#### 7.4 Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy

Oulun Energia perustettiin vuonna 1889. Oulun Energian omistaa Oulun kaupunki ja vuonna 2007 perustettiin tytäryhtiö, jonka nimeksi tuli Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy vastaa sähkön siirrosta Oulun alueella. (Oulun Energia Oy 2015.)

Oulun Energia Oy:n internetsivuilta löytyy ohjeita ja lomakkeita liittyen mikrotuotannon liittämiseen jakeluverkkoon. Mikrotuotantolaitoksen liittämässä Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy jakeluverkkoon tulee noudattaa luvussa 6 tarkasteltuja Energiateollisuus ry:n ohjeita, joita ovat sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon - nimellisteholtaan enintään 50 kVA laitoksen liittämiseen ja mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon. (Oulun Energia Oy 2015.)

Kyseisten ohjeiden lisäksi mikrotuotantolaitoksen liittämässä Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n jakeluverkkoon tulee noudattaa Energiateollisuus ry:n suosittelemia sähköntuotannon liittämisehtoja (TLE14) ja sähköntuotannon verkko- palveluehtoja (TVPE11). (Oulun Energia Oy 2015.)

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy suosittelee ottamaan yhteyttä asiakaspalveluun ennen mikrotuotantolaitteiden hankintaa. Tällä tavalla voidaan varmistaa hankittavan mikrotuotantolaitoksen liittämiskelpoisuus jakeluverkkoon. Asiakaspalveluun tulee toimittaa mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake, jonka perusteella tarkastellaan, voidaanko mikrotuotantolaitteisto liittää olemassa olevaan sähköliittymään. Tarvittaessa liittymisluokka nostetaan, mikäli tuotantoteho ylittää sähköliittymän tämän hetkisen koon. Ennen mikrotuotannon käyttöönottoa pitää vielä tarkastaa, onko tarvetta vaihtaa nykyinen energiankulutusmittari. (Oulun Energia Oy 2015.)

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy ei maksa mikrotuotantolaitoksen hankkimisesta ja jakeluverkkoon liittymisestä hyvitysmaksuja. Mahdollista ylijäämäsähköä tuottaessaan asiakas saa syöttää ylijäämäsähkön jakeluverkkoon ja myydä sen

valitsemaalleen sähkönmyyjälle. Oulun Energia veloittaa jakeluverkkoon syötetystä sähköstä hinnaston mukaisen siirtomaksun. (Oulun Energia Oy 2015.) Tällä hetkellä Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy alueella on 23 yksityistä mikrotuotantolaitteistoa, jotka toimivat jakeluverkon kanssa rinnan. (Kylli 2015.)

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n alueella verkonhaltijan tekemät mikrotuotantolaitoksien jakeluverkosta erottamiset ovat olleet erittäin harvassa. Tästä syystä Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:llä ei ole tarvetta alkaa investoimaan kaukokäyttölaitteisiin. Periaatteessa Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:llä on kaukokäyttövalmius olemassa, koska käytöntukijärjestelmässä (DMS) on kaukokäyttömahdollisuus rajapintojen kaukokäyttöön. Mikrotuotantolaitoksen omistajalle kaukokäyttömahdollisuuden rakentaminen toisi lisäinvestointeja ja nostaisi kokonaiskustannuksia. (Kylli 2015.)

Oulun Energian kehittämä ja vuoden ilmastoteoksi 2014 valittu Farmivirta sähkösopimus malli mahdollistaa, että kuluttaja voi ostaa toisen kuluttajan tuottamaa sähköä, joka on tuotettu mikrotuotantolaitoksessa ja pienvoimaloissa 100 prosenttisesti uusiutuvilla energianlähteillä. Farmivirta poikkeaa perinteisistä sähkösopimuksista siten, että jokainen tuottaja hinnoittelee ylijäämänsä itse ja Oulun Energia toimii välittäjänä kuluttajan ja tuottajan välillä. (Oulun Energia Oy 2015.)

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä saatiin selvitettyä, minkälaisia vaatimuksia Optiplan Oy:n toimipisteiden alueilla toimivien verkonhaltijoilla on, kun aurinkoenergialla toimiva mikrotuotantolaitos liitetään jakeluverkkoon. Optiplan Oy:n toimipisteiden alueilla verkonhaltijat noudattavat Energiateollisuus ry:n tekemiä ohjeita ja suosituksia mikrotuotantolaitoksen jakeluverkkoon liittämisestä. Verkonhaltijat pitävät tärkeänä, että mikrotuotantolaitos on erotettavissa tarvittaessa jakeluverkosta ja uudelleen kytkeytyminen on estetty luotettavasti. Tarvittavan erottimen sijainti voi vaihdella, mutta verkonhaltijalla pitää olla aina pääsy erottimelle.

Tällä hetkellä verkonhaltijoiden alueilla on vähän mikrotuotantolaitoksia ja verkonhaltijan toimesta tekemät mikrotuotantolaitoksien jakeluverkosta erottamiset ovat olleet harvassa. Mikrotuotannon kaukokäyttömahdollisuutta ei ole verkonhaltijoilla käytössä, eivätkä he näe tarpeelliseksi, eivätkä kannattavaksi alkaa kyseistä järjestelmää rakentamaan tulevaisuudessakaan. Kaukokäyttömahdollisuuden rakentaminen vaatisi lisäinvestointeja ja se taas nostaisi kustannuksia.

Aurinkoenergialla toimivat mikrotuotantolaitokset tulevat luultavasti yleistymään tulevaisuudessa. Erilaiset pilottiprojektit ovat myös antaneet hyviä tuloksia ja kokemuksia Pohjois-Suomenkin olosuhteissa olevista aurinkoenergialla toimivista mikrotuotantolaitoksista. Lisäksi mikrotuotantolaitoksien yleistymiseen vaikuttaa sähkön kokonaishinnan nousu, aurinkopaneelien kehitys, aurinkopaneelien hintojen laskeminen ja kuluttajien kiinnostus käyttää uusiutuvia energioita. Hiilidioksidipäästöjä voidaan myös pienentää, kun hyödynnetään uusiutuvaa aurinkoenergiaa.

Opinnäytetyö oli erittäin ajankohtainen ja mielenkiintoinen tehdä. Työn haastavin osa oli löytää ja saada tarvittavat tiedot verkonhaltijoilta ja verrata niitä energioteollisuus ry:n tekemiin ohjeisiin ja suosituksiin. Työn aikana selvisi paljon uusia asioita, jotka liittyvät uusiutuvan aurinkoenergian hyödyntämiseen.

## LÄHTEET

- Ahola J. 2008. Yksi- ja monikiteisten piiaurinkokennojen valmistus. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö.
- Aurinkoenergia.fi 2014. Aurinkopaneeli. Viitattu 30.11.2014.  
<http://www.aurinkoenergia.fi/Info/25/aurinkopaneeli>
- Energiateollisuus ry 2011. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon, verkostosuositus YA9:09. Viitattu 3.11.2014.  
[http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon\\_liittaminen\\_verkostosuositus\\_lopullinen\\_2009.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_verkostosuositus_lopullinen_2009.pdf)
- Energiateollisuus ry 2011. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Viitattu 24.1.2015.  
[http://energia.fi/sites/default/files/ohje\\_tuotannon\\_liittamisesta\\_asiakasviestintaan.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/ohje_tuotannon_liittamisesta_asiakasviestintaan.pdf)
- Energiateollisuus ry 2013. Sähkömarkkinoiden kehitysaskelia. Viitattu 2.1.2015.  
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/tukkumarkkinat/sahkomarkkinoiden-kehitysaskelia>
- Energiateollisuus ry 2014. Ajankohtaista veroasiaa – 2015 energiaveromuutokset. Viitattu 28.2.2015.  
[http://www.vsv.fi/yritys/ajankohtaista/fi\\_FI/tiedote\\_181214/\\_files/92995427793573937/default/Tiedote%20ajankohtaisista%20veroasioista\\_20141218.pdf](http://www.vsv.fi/yritys/ajankohtaista/fi_FI/tiedote_181214/_files/92995427793573937/default/Tiedote%20ajankohtaisista%20veroasioista_20141218.pdf)
- Energiavirasto 2014. Sähkömarkkinat. Viitattu 2.11.2014.  
<http://www.energiavirasto.fi/sahkomarkkinat>
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H-P. 2008. Aurinko-opas. 1.painos. Porvoo: Painoyhtymä Oy.
- Eur-Lex 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. Viitattu 3.2.2015.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF>
- Greencheck 2013. Concentrated photovoltaics in action. Viitattu 18.1.2015.  
<http://greencheck.nl/?p=1122>
- Helen Oy 2015. Sähköasennusten suunnittelu ja urakointi. Viitattu 25.1.2015.  
<https://www.helen.fi/yrityksille/neuvoa-ja-tietoa/ammattilaisille/hsv-dokumentit/>
- Hyvärinen, M. 2015. Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon. Email jukka.lahtela@optiplan.fi 6.2.2015. Tulostettu 6.2.2015.

Ilmatieteenlaitos 2014. Aurinko. Viitattu 1.10.2014.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/aurinko>

International Energy Agency 2010. Technology roadmap. Solar photovoltaic energy. Viitattu 11.1.2015.

[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap.pdf)

Kastemaa, P. 2015. Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon. Email jukka.lahtela@optiplan.fi 6.2.2015. Tulostettu 6.2.2015.

Kylli, M. 2015. Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon. Email jukka.lahtela@optiplan.fi 26.1.2015. Tulostettu 26.1.2015.

Montonen, J. 2011. Aurinkosähkötekniikan tilannekatsaus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kandidaatintyö.

Motiva 2014. Aurinkosähkö. Viitattu 19.10.2014

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko)

Motiva 2012. Opas sähkön pientuottajalle. Viitattu 24.1.2015

[http://www.motiva.fi/files/5724/Opas\\_sahkon\\_pientuottajalle\\_2012.pdf](http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf)

Oulun Energia Oy 2015. Aurinkosähköjärjestelmät. Viitattu 25.1.2015.

<https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/energiaayrityksille/aurinkosahkojarjestelmat>

Oulun Energia Oy 2015. Farmivirta. Viitattu 25.3.2015.

<https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoa-kotiin/tee-sahkosopimus/farmivirta>

Rexel 2013. Aurinkosähköjärjestelmät. Viitattu 25.1.2015.

<http://www.rexel.fi/Documents/Palvelut/Rexel-Aurinkoenergia-A4-kevyt.pdf>

Solarserver 2010. Solar magazine. Viitattu 30.11.2014.

[http://www.solarserver.com/solarmagazin/solar-report\\_0807\\_e.html](http://www.solarserver.com/solarmagazin/solar-report_0807_e.html)

Suntekno Oy 2010. Aurinkoenergian ABC-opas. Viitattu 10.10.2014.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>

Suntekno Oy 2010. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. Viitattu 12.11.2014.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>

Suomen sääpalvelu, 2014. Auringon säteilyteho. Viitattu 20.10.2014.

<https://www.saapalvelu.fi/>

Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588.

- Tampereen Kaupunki 2012. Julkisivumuutokset. Viitattu 28.2.2015.  
<http://www.tampere.fi/asuminenjarakentaminen/laitjaohjeet/rakentamistapao-hjeet/julkisivumuutokset.html#Aurinkopaneelit>
- Tampereen Sähkölaitos Oy 2015. Sähköverkko. Viitattu 25.1.2015.  
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/TSV-pientuotanto/Sivut/default.aspx>
- Turku Energia Oy 2015. Sähköverkko. Viitattu 25.1.2015.  
<http://www.turkuenergia.fi/kotalouksille/sahkoverkko/muut-sahkoverkon-ohjeet/>
- Valtioneuvoston asetus sähköntuotannon siirtomaksuista sähköjakeluverkoissa 14.6.2007/691.
- Välimäki, N. 2014. Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon. Email [jukka.lahtela@optiplan.fi](mailto:jukka.lahtela@optiplan.fi) 6.11.2014. Tulostettu 8.11.2014
- Ympäristöministeriö 2011. Aurinko-opas 2012. Viitattu 25.10.2014.  
<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750>
- PVGIS 2012, Photovoltaic Geographical Information System. Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe. Viitattu 25.01.2015.  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>