

# **OMA ENERGIAANTUOTANTO JA SEN KYTKEMINEN KIINTEISTÖJEN SÄHKÖVERKKOIHIN**

Sanna Santala

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2011  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Santala, Sanna: Oma energiantuotanto ja sen kytkeminen kiinteistöjen sähköverkkoihin

Opinnäytetyö 55 sivua  
Toukokuu 2011

---

Työn tarkoituksena oli tutustua sähkön oma energiantuotantoon ja sen kytkemiseen kiinteistön verkkoihin. Työ rajattiin koskemaan alle 11 kW:n pienvoimaloita. Pientuotantotavoista valittiin tuulivoima ja aurinkovoima.

Työssä kerättiin tietoa pientuulivoimaloista ja aurinkovoimaloista. Painotusalueena olivat verkon ja laitteistojen suojaus ja ongelmatilanteet. Työssä myös laskettiin esimerkkijärjestelmien investointihinta, energian tuotto-odotus ja investoinnin takaisinmaksuaika. Työhön valittiin esimerkkilaskentakohteiksi pientuulivoimala ja aurinkosähköjärjestelmä omakotitaloon sekä aurinkokeräinjärjestelmä rivitalokortteliin.

Ongelmana työssä oli työn teoreettisuus. Parhaan kuvan pienvoimaloihin investoinnin kannattavuudesta saa seuraamalla jo asennettujen kohteiden kuukausi- ja vuosituottoa.

Työn tulokset ovat teoreettisia ja laskelmat perustuvat olettamuksiin. Työssä on otettu esimerkiksi yhden valmistajan järjestelmä hintoineen. Takaisinmaksuaika pitenee tai lyhenee riippuen investointikustannuksista. Työn tuloksena saadut takaisinmaksuajat eivät näin ollen ole absoluuttisia vaan suuntaa antavia.

Työn johtopäätöksenä voidaan todeta, että pientuulivoimaloiden ja aurinkokeräimien investointi aurinkosähköjärjestelmiä kannattavampaa. Aurinkosähköjärjestelmiin investoiminen on kannattavaa lähinnä kiinteistöihin, joilla yleiseen sähköjakeluverkkoon liittyminen on kallista. Pientuulivoimaloiden ja aurinkopaneeleiden asennuspaikat tulee myös kartoittaa tarkasti ennen investointipäätöstä. Yleisen sähköverkon suojauksesta on annettu hyvät ohjeet, mutta pienvoimaloiden yhä lisääntyessä sähköverkon mahdollisiin ongelmatilanteisiin täytyy kiinnittää jo suunnitteluvaiheessa huomiota. Sähköverkon suojauslaitteita tulisi kehittää vastaamaan tulevaisuuden tarpeita pientuotannon lisääntyessä.

---

Avainsanat: Oma energiantuotanto, pientuulivoima, aurinkovoima

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
School of Electrical Engineering  
Degree Programme in Electric Power Engineering

Santala, Sanna: Own Energy Production and Connecting to the Buildings Power Grid

Engineering Thesis 55 pages  
May 2011

---

The objective of this study was to gather information about own energy production and small power plants connect to the building's power grid. Small energy production plants of this study are less than 11 kW.

The theoretical section explores data of small wind power plants and small solar power plants. This study considered especially power grid protection and hardware protection. This study also explains the power grid's protection problems when the small power plants are connecting to the power grid. In this thesis there was an example of small wind power plant and small solar power plant to the house and solar collector to the row house. There was calculated investment price, energy production expectation and the payback time of the examples.

The problem in this study was that the study was theoretic. The best knowledge how much energy the small power plants are producing gets in practice. Then must ensue how much the small power plant produce for the year and for every month.

The thesis results are theoretical and calculations are based on the assumptions. In this study there is an example one manufacturer and its prices. Payback time is getting longer when the investment price is decreasing. That is why the payback time results are not absolute but estimates.

The study conclusions are that invest to the small wind power plant and solar collector is more profitable than solar power plant investing. Te solar power investing is advisable primarily in real estate, with the connection of the public electricity supply is costly. Small wind turbines and solar panels installation place must also be accurately clarify before making an investment decision. Protection of the public electricity grid has been given good advice. Because of small power stations amount is increasing has to pay attention to possible problems in the power grid at the design stage. While small energy production is increasing, has to develop electrical grid's protection devices.

---

Key words: Small energy production plant, small wind power, solar power

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	4
2 OMA ENERGiantuotanto.....	5
2.1 Yleistä oma energiatuotannosta.....	5
2.2 Tuulivoima.....	6
2.2.1 Yleistä tuulivoimasta.....	6
2.2.2 Tuulivoimalan tekniikka.....	9
2.3 Aurinkovoima.....	16
2.3.1 Yleistä aurinkovoimasta.....	16
2.3.2 Aurinkovoimalan tekniikka.....	19
3 TEKNINEN LIITTÄMINEN VERKKOON.....	22
3.1 Yleistä sähköverkkoon liittamisestä.....	22
3.1.1 Turvallisuus.....	25
3.1.2 Suojaus.....	26
3.1.3 Energianmittaus.....	32
3.1.4 Tahdistus.....	33
3.2 Tuulivoimalan liittäminen sähköverkkoon.....	34
3.2.1 Mitoitus.....	34
3.2.2 KytKentä.....	35
3.3 Aurinkovoimalan liittäminen sähköverkkoon.....	36
3.3.1 Mitoitus.....	36
3.3.2 KytKentä.....	39
4 LIITYNTÄÄ KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET.....	40
5 ESIMERKKIJÄRJESTELMIEN LASKELMAT.....	42
5.1 Yleistä.....	42
5.2 Esimerkkilaskelmissa käytetyt kiinteistöt.....	42
5.3 Tuulivoima.....	43
5.4 Aurinkovoima.....	46
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	51
LÄHTEET.....	53

## 1 JOHDANTO

Sähkön oma energiantuotanto on kasvussa. Sähkön hinta nousee ja pienvoimaloiden tekniikka kehittyy. Hallituksen uudessa pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian selonteossa todetaan, että uusiutuvan energian osuus kasvaa huomattavasti nykyisestään. Näin ollen mielenkiinto sähkön pientuotantoa kohtaan on nousussa.

Sähkön pientuotannon liittäminen yleiseen jakeluverkkoon on suhteellisen uusi asia. Jakeluyhtiöillä on olemassa hyvät ohjeet pientuotannon liittymiseen. Yleisen sähköverkon kannalta verkkoonkytkemiseen liittyy ongelmatilanteita, jotka saattavat olla pientuotannon rajusti lisääntyessä ongelma sähköverkolle.

Työn tarkoituksena oli tutustua sähkön oma energiantuotantoon ja sen kytkemiseen kiinteistöjen sähköverkkoihin. Työ rajattiin koskemaan alle 11 kW:n pienvoimaloita. Pientuotantotavoista valittiin tuulivoima ja aurinkovoima.

Työssä kerättiin tietoa pientuulivoimaloista ja aurinkovoimaloista. Painotusalueena olivat verkon ja laitteistojen suojaus ja ongelmatilanteet. Työssä myös laskettiin esimerkkijärjestelmien investointihinta, energian tuotto-odotus ja investoinnin takaisinmaksuaika. Työhön valittiin esimerkkilaskentakohteiksi pientuulivoimala ja aurinkosähköjärjestelmä omakotitaloon sekä aurinkokeräinjärjestelmä rivitalokortteliin.

## 2 OMA ENERGIANTUOTANTO

### 2.1 Yleistä oma energiantuotannosta

Tässä työssä käsitellään omaenergiantuotantoa pienvoimaloissa.

Pienvoimalat voidaan jakaa käyttötapojen ja syöttöjärjestysten mukaan neljään eri luokkaan:

- Luokka 1. Voimalat, joita ei ole liitetty yleiseen jakeluverkkoon, ts. ne ovat aina erossa yleisestä jakeluverkosta.
- Luokka 2. Voimalat, jotka toimivat vaihtoehtona yleiselle jakeluverkolle, ts. automaattisella/manuaalisella syötönvaihdoilla toteutetut varavoimalaitokset.
- Luokka 3. Voimalat, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa, ilman, että tuotettua sähköä siirretään yleiseen jakeluverkkoon (mm. kuorman huipunleikkaus).
- Luokka 4. Voimalat, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa, niin että tuotettu sähkö voidaan siirtää osin tai kokonaan yleiseen jakeluverkkoon.

(Siltanen 2001, 4.)

Sähkön pientuotannossa voimalat sijaitsevat käyttökohteiden lähellä. VTT määrittelee pienvoimalan sähköntuotantolaitokseksi, joka on liitetty verkonhaltijan pien- tai keskijänniteverkkoon tai siihen liitettyyn asiakkaan verkkoon (Lemström 2005, 8).

Sähköntuotantoyksikköä, joka tulee ensisijaisesti omaan käyttöön ja sähkön syöttö verkonhaltijan jakeluverkkoon on vähäistä, sanotaan mikrotuotantoyksiköksi. Yleisimpiä mikrotuotantolaitoksia tällä hetkellä ovat tuulivoimalat, aurinkovoimalat ja pienet biopolttolaitokset. (Energiateollisuus ry 2009, 3.) Pöyry Energy Oy:n oppaan (2006, 8) mukaan merkittävimmät sähköntuotantotavat pienimuotoisessa tuotannossa ovat pienvesivoima, tuuli ja bioenergia.

Sähkön pienimuotoiseksi tuotannoksi katsotaan sähkömarkkinalain mukaisesti enintään 2 MVA:n laitokset. Mikrotuotantolaitokseksi katsotaan enintään 30 kVA:n laitokset. Tyypillisimmillään ne ovat kokoluokkaa 1-10 kW. (Energiateollisuus ry 2008, 1)

Energiateollisuus ry:n verkostosuositus ”Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon” määrittelee mikrotuotannon maksimitehoksi noin 11 kW. Yksivaiheisen tuotannon maksimisulakekoko on 16 A ja maksimiteho noin 3,7 kVA. Liian suuri yksivaiheinen tuotanto aiheuttaa epätasapainoa verkkoon ja vaarantaa verkon turvallisuuden ja luotettavuuden. (Energiateollisuus ry 2009, 2, 3)

Energiamarkkinaviraston voimalaitostilaston mukaan Suomessa on noin 350 voimalaitosta, joiden maksimiteho on alle 20 megawattia. Niiden osuus maan koko voimalaitoskapasiteetista on noin seitsemän prosenttia ja niissä tuotetaan noin kuusi prosenttia Suomessa tuotetusta sähköstä. Tästä yli puolet tuotetaan laitoksissa, joiden teho on 10—20 megawattia ja hieman alle puolet alle 10 megawatin laitoksissa. Alle kahden megawatin laitokset tuottavat 0,6 prosenttia ja alle yhden megawatin laitokset noin 0,3 prosenttia sähkön kokonaishankinnasta. (Hallituksen esitys 2006.)

Tässä työssä käsitellään Luokkien 1, 3 ja 4 pienvoimaloita ja sähkön mikrotuotantotavoista tuuli- ja aurinkovoimaloita ja niiden kytkemistä erilaisiin kiinteistöverkkoihin.

## 2.2 Tuulivoima

### 2.2.1 Yleistä tuulivoimasta

Tuulivoima on tuulen eli ilman virtauksen liike-energian muuntamista tuuliturbiineilla sähköksi. Tuulivoima on uusiutuvaa energiaa, joka on peräisin Auringon säteilyenergiasta. Suurimmassa osassa nykyaikaisia tuulivoimaloita pyörivien lapojen liike-energia muutetaan sähkövirraksi. Menetelmä on samankaltainen kuin vanhemmissa tuulimyllyissä, joissa tuulen liike-energiaa käytetään esimerkiksi jyvien jauhamiseksi tai veden pumppaamiseksi maasta. (tuulivoimayhdistys.fi)

Tuulivoimalla tuotetaan hieman yli prosentti maailman sähköntuotannosta ja sillä tuotettiin 3 % Euroopan sähköstä vuoden 2007 lopussa. EWEA, Euroopan tuulivoimatuottajien edunvalvontajärjestö ennustaa tuulivoiman tuottavan 13 % Euroopan sähköstä vuonna 2020. Suurimpia tuulivoimaa tuottavia maita ovat Tanska (yli

20 %), Espanja (9 %) ja Saksa (7 %). Tuulivoiman tuotanto on nelinkertaistunut aikavälillä 2000–2006 ja kasvu jatkuu edelleen hyvin merkittävänä. (tuulivoimayhdistys.fi)

Suomen tuulivoimakapasiteetin kehitys on viimeisinä vuosina ollut vaatimatonta kun sitä verrataan maailmalla tapahtuneeseen kehitykseen. Tuulivoimakapasiteetti vuoden 2009 lopussa oli 147 MW. Vuoden 2010 lopussa tuulivoimakapasiteetti oli 197 MW (Seppänen E. 2010, 3). Vuonna 2009 tuulisähköä tuotettiin noin 275 GWh, jolla katettiin noin 0,3 % kokonaissähkönkulutuksesta. (tuulivoimatieto.fi) Vuoden 2009 lopussa Suomessa oli 118 voimalaa. (Motiva Oy 2010)

Suomessa on tuulivoimaloille soveltuvia alueita erityisesti rannikolla, merialueilla ja Lapin tuntureilla. Tuulivoimakapasiteettia on teknisesti mahdollista lisätä merkittävästi nykyisestä. Hallituksen ilmasto- ja energiastrategian mukainen tavoite tuulivoimatuotannolle on 6 TWh vuonna 2020. (energia.fi)

Alle 200 kW tuulivoimalaitoksista ei ole luotettavaa tilastotietoa. Tuulivoimayhdistys ry:n mukaan pieniä, verkkoon syöttäviä voimaloita, joiden koko vaihtelee välillä 0,2 kW - 250 kW, on asennettuna Suomessa 50 - 100 kappaletta. (Lehto 2009, 8)

Verkkoon syöttävien pientuuliturbiinien rakennustahti on Suomessa ollut kiihtyvä johtuen muun muassa uusien verkkosyöttölaitteiden tulosta markkinoille. Tuulivoimayhdistyksen tietojen mukaan vuonna 2009 uusia asennuksia tehdään noin 50 kappaletta ja vuonna 2010 yhdistys arvioi uusien asennusten määrän kaksinkertaistuvan. Tuulivoimayhdistys ennustaa tuuliturbiinasennusten määrän kasvavan parina lähivuotena 100 %:n vuosivauhtia. (Lehto 2009, 8)

Tuulivoima soveltuu hajautettuun energiantuotantoon. Hajautettu energiantuotanto tarkoittaa tuotantomallia, jossa suhteellisen pienikokoiset sähkön-, lämmön- ja kylmäntuotannon laitokset on hajautettu lähelle kulutuspisteitä. Sähköä voidaan tuottaa myös pientuulivoimaloilla itse kulutuspaikoilla: maataloilla, taloyhtiöissä, omakotitaloissa ja kesämökeillä. Tuulivoimaa käytetään pienimuotoisesti esimerkiksi merkkivaloihin, havaintoasemiin ja viestiasemien radioiden akkujen lataamiseen ja aurinkovoiman täydennyksenä. (tuulivoimayhdistys.fi)



Pientuulivoimaa voidaan käyttää myös lämmitysenergian tuottamiseen rakennuksen lämmitysjärjestelmän vesi- tai massavaraajaan sekä lämpimän käyttöveden varaajaan, suoraan sähköntuotantoon omakotitalon sähköverkkoon, jolloin voimalan sähkö muutetaan tavalliseksi verkkosähköksi ja voimala kytketään sähkökeskukseen. Yli- ja alijäämä otetaan normaalisti sähköverkosta. (tuulivoimayhdistys.fi)

ST1 -bensajakeluasemien katoille on asennettu tuuli-aurinko-hybridejä aseman käyttöenergian tarpeisiin (kuva 1). (tuuliwatti.fi)

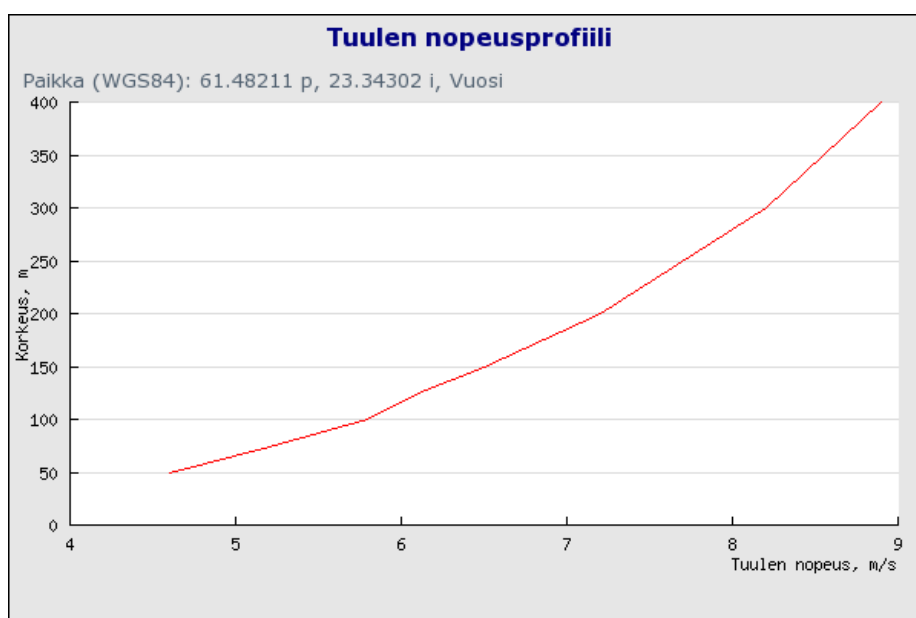


Kuva 1. Pientuulivoimalat bensajakeluaseman katolla. (st1.fi)

Motiva ry:n julkaisu omaa tuulienergiaa väittää, että tuulivoimatuotanto on Suomessa myös sisämaassa kannattavaa. Mahdollisimman voimakkaisiin tuuliin päästään kiinni korkealla mastolla. Kaikki esteet, kuten puut ja rakennukset heikentävät tuulen voimaa. Voimalan napakorkeuden tulisikin olla selkeästi esteitä korkeammalla. (Motiva Oy 2010, 2) Finnwind oy:n (finnwind.fi) mukaan potkurin tulee olla myös vähintään 9 metriä korkeammalla kuin lähimmät esteet kuten rakennukset tai puut n. 150 metrin säteellä. Näin vältetään esteiden aiheuttamaa ilmavirran pyörteisyyttä, joka laskee merkittävästi tuulivoimalan tuottoa.

Suomen tuuliolot on mallinnettu Tuuliatlakseen. Tuuliatlas on tietokonemallinnukseen perustuva paikkakohtainen kartoitus Suomen tuuliolosuhteista. Se kertoo tuulen voimakkuudesta, suunnasta ja turbulentsisuudesta 50 metrin korkeudesta alkaen aina 400 metriin saakka vuosi- ja kuukausikeskiarvoina. Tulokset ilmoitetaan 2,5x2,5

neliökilometrin ruuduissa. Rannikoilla ja muilla tuulisilla alueilla mallinnus on tehty 250 metrin tarkkuudella. (Lavento 2010) Elina Seppänen (2010, 6) kuitenkin toteaa, että Tuuliatlaksen tuulisuustiedot soveltuvat huonosti pientuulivoimaan. Koska tuulimallinnukset alkavat 50 metristä ja pientuulivoiman mastokorkeudet ovat alle tämän, näin voidaankin olettaa. Kuvassa 2 on tuulen nopeusprofiili Nokian Kuljusta vuoden keskitasona. Nopeusprofiili on Tuuliatlaksesta. Kuvasta nähdään, että tuulen nopeus on 50 metrin korkeudessa n. 4,6 m/s ja 100 metrin korkeudessa n. 5,8 m/s vuoden keskitasona.



Kuva 2. Tuulen nopeusprofiili Nokian Kuljussa. (tuuluatlas.fi)

Pientuulivoimaloiden asennuspaikan tuulennopeuden mittaamiseen on markkinoilla tuulimittareita. Tällaiset mittarit maksavat joitakin satoja euroja.

## 2.2.2 Tuulivoimalan tekniikka

### Pientuuliturbiini

Pientuuliturbiinin (tuulipotkuri, tuuliroottori) pääosat ovat lavat, napa, generaattori, pääakseli, vaihteisto ja peräsin. Pientuulivoimalassa ei aina ole vaihteistoa. Kuvassa 3 on esimerkkinä 270 W:n vaaka-akseloidun

pientuuliturbiinin osat purettuna ja taulukossa 1 on kyseisen tuuliturbiinin tekniset tiedot. Kuvan tuuliturbiini soveltuu mökkikäyttöön.

Pientuuliturbiinin osat ovat:

1. Generaattori
2. Lavat
3. Napa ja pääakseli
4. Peräsin
5. Sähköjohtimet
6. Kiinnitys mastoon



Kuva 3. 270 W:n pientuuliturbiinin osat.

Taulukko 1. Kuvan 3 pientuuliturbiinin tekniset tiedot

Nimellistehon tuulennopeus	Maksimiteho	Jännite	Lapojen halkaisija	Nimelliskierros- nopeus	Lapojen materiaali	Suositeltava maston korkeus
6 m/s	270 W	12 V	2,1 m	450 rpm	Lasikuitu	4,5 m

Pientuulivoimaloissa käytetty generaattori on yleensä kestmagnetoitu generaattori. Generaattorin nimellispyörimisnopeus on pieni. Tällöin vaihteiston ei tarvitse olla suuri ja häviöt ovat siten pienempiä. Käytettäessä hitaasti pyörivää generaattoria, ei vaihteistoa

tarvita lainkaan. Sopiva generaattoriteho on 170 - 250 W jokaista turbiinin neliometriä kohden. (finnwind.fi)

Pientuulivoimalan roottorin lavat kiinnittyvät napaan. Jos voimalassa ei käytetä lapakulman säätöä, on napa yksinkertainen ja siten toimintavarma. (finnwind.fi) Lavat voidaan valmistaa komposiittimateriaaleista, esim. lasikuidusta, tai alumiinista.

Tuulivoimalan potkurin pyörimisnopeus muuttuu melko suoraviivaisesti tuulennopeuden kasvaessa. Jotta potkuri käynnistyisi pienellä tuulennopeudella, on peruskuorman oltava pieni. Kovassa myrskyssä pyörimisnopeutta täytyy rajoittaa. Teho kasvaa nopeasti tuulennopeuden kasvaessa. Esim. 1.7 m potkuri tuottaa noin 140 W kun tuulennopeus on 6 m/s. Sama potkuri tuottaa 12 m/s tuulennopeudella jo yli 1 kW. (tuulivoimayhdistys.fi)

Tuulivoimalalle joudutaan asettamaan turvallisuussyistä suurin sallittu tuulennopeus, jonka jälkeen voimala on pysäytettävä. Tavallisimpia pientuulivoimalan myrskysuojaus-tapoja ovat:

- Potkurin sivuun kääntö. Potkuri käännetään pois tuulesta sivuun tai ylös, jolloin pinta-ala pienenee ja siten teho rajoittuu. Sivuun kääntö perustuu usein potkuriin kohdistuvaan tuulenpaineeseen.
- Potkurin pysäytys. Voimalassa on jarru, jolla potkuri pysäytetään myrskyn ajaksi.
- Potkurin sakkaus. Potkuria kuormitetaan niin paljon, että se ei enää pysty tuottamaan tarvittavaa energiaa, jolloin ilmavirtaus irtoaa lavoista ja lavat sakkaavat. Sakkaus on vaikea hallita ja sitä käytetään yleensä vain suurissa voimaloissa. Termi "sakkaus" on peräisin ilmailusta ja tarkoittaa ilmiötä, jossa ilmavirtaus irtoaa siiven päältä ja siiven nostovoima katoaa liian suurella kohtauskulmalla.
- Lapakulman säätö. Potkurin lapojen kulmaa muutetaan niin, että teho pienenee. Lapakulman säätöä käytetään optimoimaan tehoa toimittaessa alle nimellistuulennopeuden sekä rajoittamaan tehoa, kun tuulen nopeus on suurempi kuin nimellistuulen nopeus ja pysäyttämään, kun tuulen nopeus ylittää myrskyrajan.

(finnwind.fi)

Tuulivoimalat voidaan jakaa rakenteeltaan seuraavasti (kuva 4):

- vaaka-akseliset tuulivoimalat
  - o etutuulipotkuri
  - o takatuulipotkuri
- pystyakseliset tuulivoimalat
  - o Savonius, Windside
  - o Darreius
  - o kuppiroottori

Tuuliturbiineita on 1-, 2-, 3- ja monilapaisia. Yleisimmin pienissä, esimerkiksi mökkikäyttöön suunnitelluissa, voimaloissa on yleisimmin 2 tai 3 lapaa. Kiinteistöjen katoille esimerkiksi kaupunkiympäristöön ja telemastoihin on pystytetty pystyakseloituja voimaloita. (tuulivoimatieto.fi)



Kuva 4. Vasemmalla on pystyakselinen tuulivoimala, Savonius-roottori, (tuulivoimatieto.fi) ja oikealla vaaka-akselinen tuulivoimala (vattenfall.fi).

Vaaka-akselisen tuulivoimalan pyyhkäisyypinta-ala on potkurin kärjen piirtämän ympyrän pinta-ala ja napakorkeus on potkurin akselin korkeus maan pinnasta. Vaaka-akseliset turbiinit on suunniteltu määrätyle tuulen nopeusalueelle, jolla ne toimivat parhaiten. Vaaka-akselisten etuna on roottorin suurempi pyyhkäisyypinta-ala, jolloin tuulesta saadaan enemmän energiaa talteen. Potkurimallinen turbiini toimii paremmalla

tehokertoimella keskinopeilla tuulilla, jos verrataan pystyakseliseen turbiiniin. (tuulivoimatieto.fi)

Vaaka-akselisen voimalan potkuri on käännettävä kohti tuulta, jotta voimala toimisi. Tuuleen suuntaus tapahtuu joko moottorikäyttöisesti tai käyttämällä pyrstöä tai poikittaista kääntöpotkuria, joka toimii tuulen tullessa sivusta. Etutuulipotkurissa potkurin akseli on lähes vaakatasossa ja potkuri on mastosta katsottuna tuulen puolella. Tämä on yleisin käytetty tyyppi. (tuulivoimatieto.fi)

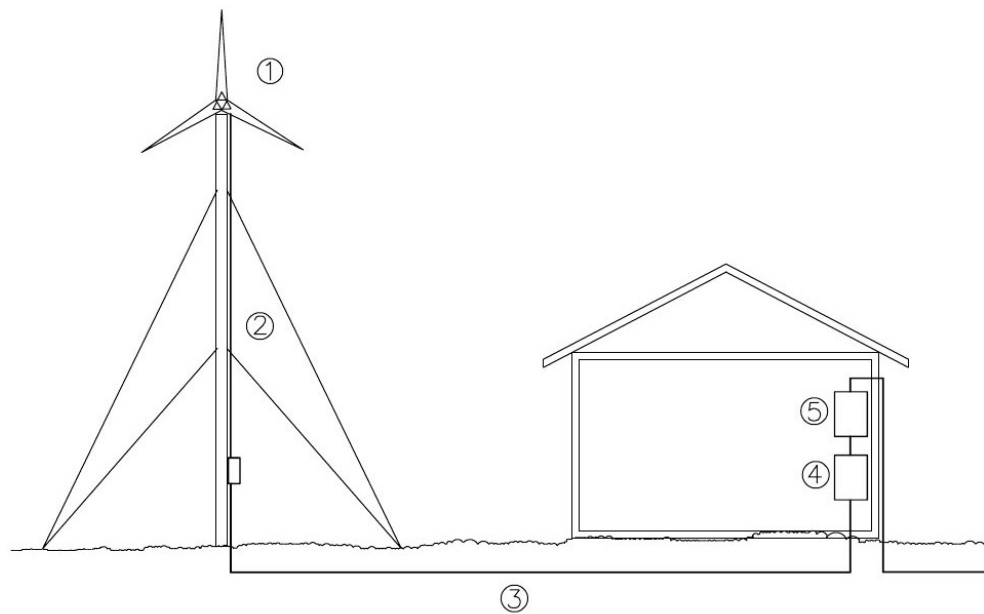
Pystyroottorin (Windside, Savonius, Darrieus jne) pyyhkäisypinta-ala on pyörivän roottorin suurin tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala ja napakorkeus on roottorin pyyhkäisypinta-alan keskipisteen korkeus maan pinnasta. Pystyakselinen voimala toimii samalla lailla kaikilla tuulen suunnilla eikä se tarvitse erillistä tuuleen suuntausta. (tuulivoimatieto.fi)

### **Pientuulivoimalajärjestelmä**

Kuvassa 5 on sähköverkkoon kytketyn pientuulivoimalajärjestelmän yleiskuvaus. Järjestelmän osia ovat tuuliturbiini, harustettu masto, maston sähkökeskus, maakaapeli ja ohjausjärjestelmä.

Kuvan 5 sähköverkkoon kytketyn pientuulivoimalajärjestelmän osat ovat:

1. Tuulivoimalan potkuri ja koneisto
2. Masto, harukset, maadoitus, perustukset ja maston sähkökeskus
3. Maakaapeli
4. Ohjausjärjestelmä
5. Sähkökeskus



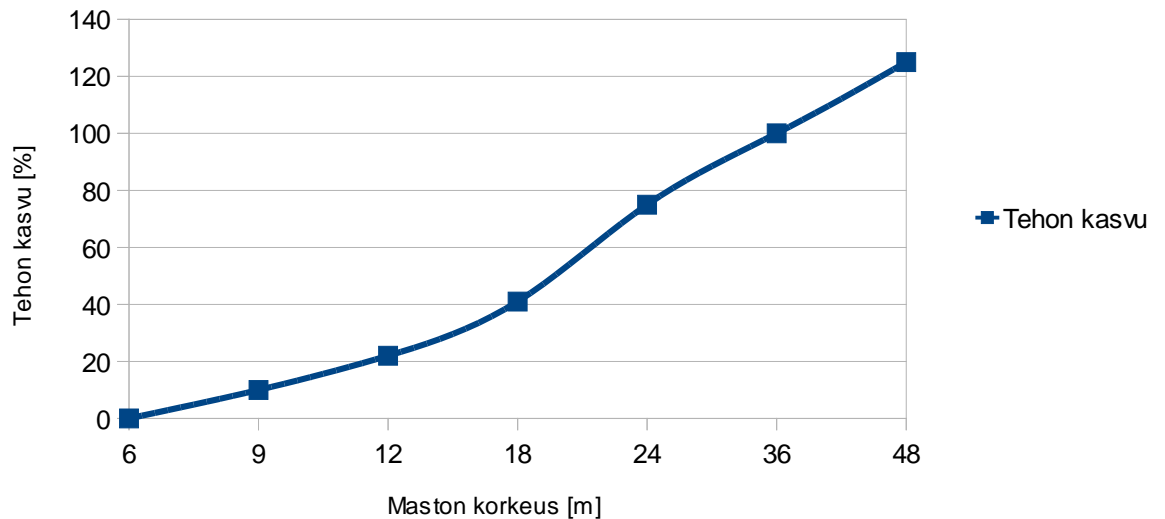
Kuva 5. Sähköverkkoon liitettävän pientuulivoimalan yleiskuvaus (finnwind.fi)

### Pientuulivoimalan masto

Pienvoimalaitosten maston suositeltava korkeus on 12-20 m riippuen voimalaitoksen koosta ja sijainnista. Roottorin halkaisijat vaihtelevat 0,3-8 m. (Finnwind.fi) Omakotikäytössä laitteiden nimellisteho on tyypillisesti 2-5 kW ja roottorin halkaisija 3-6 m (Eklund 2011, 3).

Tuulivoimalan tuottama teho kasvaa maston korkeuden kasvaessa. Kuvassa 6 on esitetty tehon kasvu maston korkeuden funktiona. Suurilla tuulennopeuksilla energiaa saadaan usein aivan liikaakin. Tästä aiheutuu tarve tuulivoimalan suojaamiseen myrskyllä (tehon rajoitus). (finnwind.fi)

Tuulivoimalan tehon kasvu maston korkeuden funktiona



Kuva 6. Tuulivoimalan tehon kasvu ja maston korkeus (Salokorpi 2010, 7).

Sähköverkkoon liitettävän pientuulivoimalan maston sähkökeskuksessa on pääsulake sekä erillinen lukittava pääkytkin. Pääsulake estää voimalan ylikuormittumisen sähköjärjestelmän mahdollisissa vikatilanteissa. Lukittavalla pääkatkaisijalla tuulivoimala voidaan kytkeä turvallisesti irti verkosta. (finnwind.fi)

### Ohjausjärjestelmä

Sähköverkkoon kytketyn tuulivoimalan ohjausjärjestelmä tarvitsee verkkoinvertterin, joka toimii rajapintana energialähteen ja verkon välillä. Invertteri muuttaa yhden muotoista sähköä toiseen muotoon ja sitä ohjataan ja se suojataan invertterin sisäisillä elektronisilla laitteilla. Sisäinen ohjausyksikkö havaitsee epänormaalit jännitteet, virrat ja taajuudet ja pysäyttää verkkoon syötön nopeasti, jos rajat ylittyvät. Se kontrolloi myös tahdistusta ja käynnistystä. Invertterissä ei ole liikkuvia osia vaan puolijohdekytkimiä. Niiden katkaisukyky on yleensä mekaanisia kytkimiä nopeampi. (Lehto 2009, 38)



Invertterin toiminta riippuu suuresti sen suunnittelusta ja asettelusta. Esimerkiksi oikosulkutilanteissa tyypillisesti oletetaan, että oikosulkuvirta näkyy virtapiikkinä, jolla on nimellisvirran amplitudi jollain kertoimella kerrottuna. Invertterien oikosulkuvirtavaikutuksen on havaittu olevan 10-20 % siitä mitä tahtigeneraattorilla. (Lehto 2009, 38)

## 2.3 Aurinkovoima

### 2.3.1 Yleistä aurinkovoimasta

Auringon energia on säteilyn lämpö- ja valoenergiaa. (aurinkoenergia.fi)

Aurinkovoima on auringon säteilyenergian muuttamista tavallisesti aurinkopaneelien (kuva 7) avulla sähköksi tai aurinkokeräimien avulla lämmöksi. Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa.



Kuva 7. Aurinkopaneeli.

Aurinkovoimaloita on ympäri maailmaa, mm. Yhdysvalloissa, Kanadassa, Australiassa ja Euroopassa useissa maissa. Maailman suurin toimiva aurinkokennovoimala on tällä hetkellä Kanadassa. Voimalan koko on 80 MW. Yhdysvalloissa on aurinkokeräimiin perustuva yli 350 MW:n voimala. Australiassa on suunnitteilla 1000 MW:n ja Kiinassa 2000 MW:n aurinkovoimalat. (Piiroinen Mikko, 2010.)

Lempäälässä kemianteollisuuden tuotteita valmistavan Kiilto Oy:lla on verkkoon kytketty aurinkovoimala. Voimalan sähköteho on 66 kW. Voimala on tällä hetkellä Suomen suurin. Tampereen Lielahden City-marketin katolla on myös aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmän sähköteho on 39 kW. (Seppälä 2009.)

Parhaimman hyödyn aurinkoenergiasta saa, kun sen käyttö otetaan huomioon jo rakennusten suunnitteluvaiheessa. Aurinkoenergian kerääminen onnistuu parhaiten silloin, kun auringonsäteilyä kohdistuu energiaa keräävään pintaan ympäri vuoden. Puiden ja toisten rakennusten aiheuttama osittainen varjostus ei estä aurinkoenergiaa keräävän järjestelmän toimintaa, mutta alentaa sen hyötysuhdetta. (Motiva Oy, Aurinkoteknillinen yhdistys ry, 10)

Aurinkosähköjärjestelmiä on perinteisesti käytetty siellä, missä verkkosähköä ei ole saatavilla. Tavallisimpia niin kutsuttuja omavaraaisia sovelluskohteita ovat esimerkiksi kesämökit, veneet, väyläloistot, linkkimastot ja saaristo- ja erämaakohteet. Aurinkosähköllä voidaan kuitenkin tuottaa huomattava osa myös esimerkiksi kotitalouden tarvitsemasta sähköstä. Sähköverkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät ovatkin yleistymässä. (motiva.fi)

Kun aurinkopaneelia käytetään ilman akkua, energia on käytetään suoraan esim. rakennuksen ilmastointiin tai veden pumppaamiseen vesisäiliöön tai kasteluun. (motiva.fi)

Aurinkolämmitysjärjestelmää käytetään pientaloissa lisälämmönlähteenä ja se voidaan yhdistää kaikkiin päälämmitysmuotoihin. Erityisen hyvin se soveltuu sellaisen lämmitysjärjestelmän yhteyteen, jossa jo on vesivaraaja (esimerkiksi puu- tai hakelämmitys), mutta myös lämpöpumppujärjestelmiin. Öljy- ja aurinkolämmön yhdistämiseksi on kehitetty tarkoitukseen sopiva öljykattila. Sähkölämmitteisessä talossa aurinkosähköllä voidaan lämmittää käyttövesi ja jos talon lämmönjako on vesikiertoinen, voidaan aurinkolämpöä käyttää myös huoneiden lämmittämiseen kytkemällä se lämminvesivaraajaan. (motiva.fi) Vapaa-ajan asunnoissa aurinkolämmitysjärjestelmä voi olla päälämmönlähteenä.

Aurinkokeräimet ja -paneelit voidaan liittää taloon huomaamattomasti tai omaksi näkyväksi osaksi arkkitehtuuria. Aurinkoenergian talteenotto voidaan mieltää kattorakenteen osaksi. Jos katon kaltevuus on pieni tai keräinten ilmansuunta on vähemmän suotuisa, haluttuun lämmöntuottoon voi silti päästä lisäämällä aurinkokeräinten pinta-alaa. Markkinoilla on aurinkokeräimiä, jotka asennetaan suoraan kattoruoteiden päälle ja jotka samalla toimivat vesikattona. Keräimiä ja paneeleja voi asentaa myös rakennusten ulkoseinille. Aurinkopaneeleja on alettu käyttää toimistorakennuksissa varjostimina auringon häikäisyvaikutuksen estämiseksi. Uudenlaiset tekniset ratkaisut mahdollistavat lasin korvaamisen aurinkopaneeleilla. (Motiva Oy, Aurinkoteknillinen yhdistys ry, 15)

Esim. Helsingin Siilitien metroasema uusitaan ekotehokkaaseen kuntoon vuoteen 2013 mennessä. Noin neljännes aseman sähköntarpeesta aiotaan tuottaa katosrakenteisiin asennettavien aurinkopaneeleiden avulla (kuva 8). (hs.fi)



Kuva 8. Havainnekuva esittää Helsingin Siilitien metroaseman laiturikatosta, jonka päälle aiotaan asentaa aurinkopaneelit (hs.fi).

### 2.3.2 Aurinkovoimalan tekniikka

Auringonsäteilyn sisältämän energian voi muokata joko lämmöksi tai sähköksi.

Sähköä tuottavissa järjestelmissä käytetään aurinkopaneeleja, jotka koostuvat aurinkokennoista. Aurinkokennot on rakennettu maaperän hiekasta saatavasta pii-alkuaineesta. (sunvoima.fi) Aurinkokenno on elektroninen puolijohde. Auringonsäteily synnyttää kennon ala- ja yläpinnan välille jännitteen, ja kytkemällä tarpeellinen määrä kennoja sarjaan saadaan haluttu jännitteen taso. (motiva.fi)

Kennoston eli aurinkopaneelin tuottaman virran suuruus on suoraan verrannollinen auringonsäteilyn voimakkuuteen. Esimerkiksi pilvisellä ilmalla säteilyn voimakkuus on huomattavasti heikompaa kuin kirkkaalla auringon paisteella. (motiva.fi)

Aurinkolämmitysjärjestelmän keskeinen osa on aurinkokeräin, joka muuntaa siihen osuneen säteilyn lämmöksi ja siirtää sen käyttöön lämmönsiirtonesteen avulla. (sunvoima.fi) Auringonsäteily lämmittää keräimen mustaa absorptiopintaa, joka sitoo itseensä energiaa ja kuumenee. Kuumenneesta absorptiolevystä lämpö siirtyy keräimen sisällä olevissa ohuissa putkissa virtaavaan nesteeseen. Ympäri vuotisessa käytössä olevissa lämpökeräimissä lämpöä siirtävänä nesteinä käytetään jäätymätöntä seosta. (Motiva Oy, Aurinkoteknillinen yhdistys ry, 6)

Lämpökeräimet tai sähköpaneelit voidaan asentaa talon katolle irrallisina omassa kehysrakenteessaan (kuva 9) tai upotettuina osaksi kattorakennetta. Aurinkopaneelit suositellaan sijoittamaan tiettyyn kallistuskulmaan. Suomessa edullisin kallistuskulma on  $30^{\circ}$ - $90^{\circ}$ . Alle  $15^{\circ}$  kallistuskulmaa tulee välttää, jottei pölyn, lian tai lumen kerääntyminen paneelin pinnalle häiritsisi sähköntuotantoa. Paras sähköntuotto kesäaikaan saavutetaan  $30^{\circ}$  kallistuskulmalla ja talviaikaan  $75^{\circ}$ - $90^{\circ}$  kallistuskulmalla. Kallistuskulma  $45^{\circ}$  on paras, kun maksimoidaan vuotuinen sähköntuotto yhdellä paneelin asennolla. Pääsääntöisesti aurinkosähköpaneeli tulee suunnata kohti etelää, mutta se toimii myös tyydyttävästi suuntauksen ollessa sektorissa kaakko – lounas. (Erat, Erkkilä ym 2008, 145, 146)



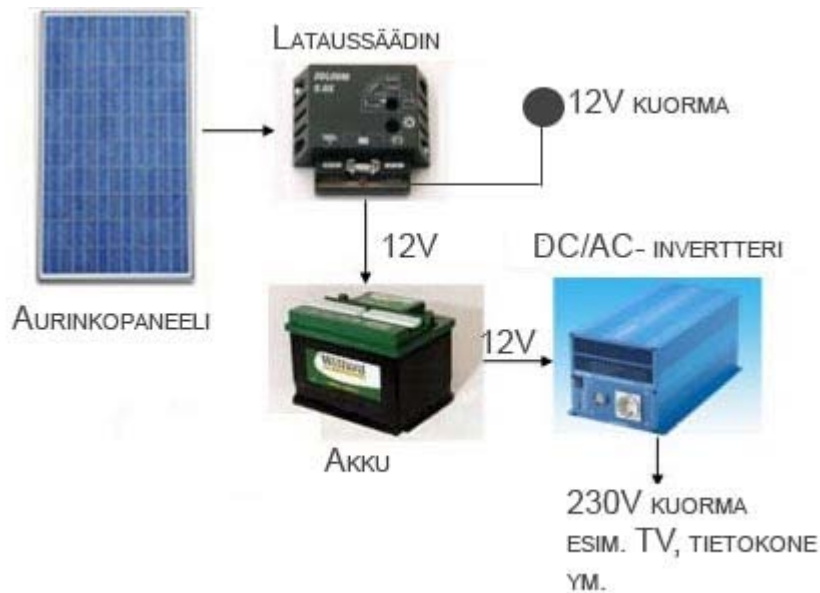
Kuva 9. Aurinkopaneelit omakotitalon katolla.

Auringosta saatavan sähköenergian määrään vaikuttaa säteilyteho ja aurinkopaneelien pinta-ala. Kennot kootaan paneeleiksi, joiden nimellisteho on tyypillisesti 50-200 W. Nimellisteho tarkoittaa paneelin tuottamaa tehoa, kun auringonsäteilyn intensiteetti on 1 kWh/m<sup>2</sup>. Tämä vastaa aurinkoisena kesäpäivänä keskipäivällä tunnin aikana saatavaa säteilymäärää. (Motiva Oy, Aurinkoteknillinen yhdistys ry, 9)

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu yleensä seuraavista osista:

- aurinkopaneelit (tehontuotto)
- lataussäädin (ohjausyksikkö)
- akusto (energian varastointi)
- invertteri (vaihtosuuntaaja). (Kick 2010, 30)

Kuvassa 10. on aurinkosähköjärjestelmän periaatteellinen kytkentäkaavio. Aurinkosähköpaneeli tuottaa tasasähköä. Vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla tasasähkö muutetaan vaihtosähköksi. Invertterin hyötysuhde on n. 80–90 %, kun kuorma on 25-100 % invertterin tehosta. Lataussäätimen tehtävä on säätää järjestelmän sähköä. Säädin suojaa akkuja ylilatautumiselta säätämällä sisään tulevaa aurinkoenergiaa. Säätimessä on yleensä estodiodeja, jotka estävät akuston mahdollisen purkautumisen yöllä paneeliston kautta. (Erat, Erkkilä ym. 2008, 132)



Kuva 10. Aurinkosähköjärjestelmän periaatteellinen kytkentäkaavio. (aurinkokennot.fi)

Kun aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähkö halutaan liittää yleiseen sähköverkkoon, tarvitaan verkkoinvertteri, joka kytkee aurinkosähköjärjestelmän irti yleisestä sähköverkosta vikatilanteessa.

Verkkoinverttereissä on käytössä useita eri tekniikoita. Niissä voi olla muuntajia erottamassa tasajännitettä vaihtovirrasta tai sitten ne toimivat ilman muuntajia. Muuntajattomat invertterit ovat yleisiä Euroopassa sillä ne ovat kevyitä ja ne toimivat korkealla hyötysuhteella. Inverttereissä voi olla myös useampivaiheisia muunnoksia, joissa paneelin tuottama tasavirta muutetaan ensin korkeataajuisiksi vaihtojännitteeksi, sitten uudelleen tasajännitteeksi ja lopulta matalataajuisiksi vaihtojännitteeksi. (Kvick 2010, 36)

Aurinkopaneelin tuottama sähkö varastoidaan yhdessä tai useammassa akussa. Akkua käytetään yöllä ja pilvisinä päivinä, ja se sijoitetaan ilmastoituun tilaan. Akkujen kapasiteetti mitoitetaan kattamaan muutaman päivän normaalikulutus ilman latausta. Aurinkoenergiesovelluksia varten on kehitetty akku, joka kestää usein toistuvaa purkausta ja latausta. (motiva.fi)

### 3 TEKINEN LIITTÄMINEN VERKKOON

#### 3.1 Yleistä sähköverkkoon liittamisestä

Yleiseen sähköverkkoon saa liittää vain tekniset vaatimukset täyttäviä sähköntuotantolaitteistoja. Sähköverkon kanssa rinnan toimiva pienvoimala vaikuttaa verkkosähkön ominaisuuksiin ja verkon käyttäytymiseen. (Sener 2001, 1.)

Sähkön mikrotuotanto voi toimia muusta sähköverkosta erillään, jolloin tekniset ratkaisut ovat yksinkertaisia. Kaikelle syntyvälle sähkölle ei välttämättä löydy käyttöä kaikkina aikoina ja tarvittaisiin esimerkiksi akusto sähkön varastointiin. Siksi mikrotuotanto voidaan kytkeä siten, että ylimääräinen sähkö menee yleiseen jakeluverkkoon. Tämä kytkentä ei ole aivan yksinkertainen asia. Erityinen hankaluus syntyy siitä, että mikrotuotanto voi aiheuttaa sähkötapaturmia, ellei niiden torjumiseen kiinnitetä huomiota. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry 2010, 1.)

Lauri Siltanen toteaa julkaisussaan, että nykyiset jakeluverkot on rakennettu yksisuuntaista tehonsiirtoa silmällä pitäen, eikä niiden suunnittelussa ole huomioitu pienvoimaloita. Pienvoimaloiden määrän oletetaan myös lisääntyvän. (Siltanen 2001, 1.)

Nykyisten sopimusehtojen mukaan verkkoon syöttö tulisi estää, jos sähkölle ei löydy ostajaa. Verkonhaltija voi joustaa tässä asiassa niin kauan, kunnes tuottaja löytää markkinakumppanin, tai asia ratkeaa esim. lainsäädännön muutoksella. Tuottajan löytäessä itselleen markkinakumppanin astuvat voimaan normaalit tuottajaa koskevat velvoitteet. Mikäli tuotantolaitoksen haluaa liittää verkkoon, vaikka sähkölle ei ole ostajaa, on tehtävä erillinen sopimus verkkoyhtiön kanssa. (Energiateollisuus ry 2009, 12.)

Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta on astunut voimaan 30.12.2010. Lain tarkoituksena on edistää sähkön tuottamista uusiutuvilla energialähteillä ja näiden energialähteiden kilpailukykyä sekä monipuolistaa sähkön tuotantoa ja parantaa omavaraisuutta sähkön tuotannossa. Laissa säädetään valtion

varoista tuulivoimalla, biokaasulla, puupolttoaineella ja vesivoimalla tuotetusta sähköstä maksettavasta tuotantotuesta.

Tuulivoimala voidaan hyväksyä syöttötariffijärjestelmään vain, jos:

- 1) se ei ole saanut valtiontukea;
  - 2) se on uusi eikä se sisällä käytettyjä osia; sekä
  - 3) sen generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho on vähintään 500 kilovoltiampeeria.
- Syöttötariffijärjestelmään hyväksytyssä tuulivoimalassa, biokaasuvoimalassa ja puupolttoainevoimalassa tuotetun sähkön tavoitehintana on 83,50 euroa megawattitunnilta. Tuulivoimalassa, biokaasuvoimalassa ja puupolttoainevoimalassa tavoitehintaan oikeuttavasta sähkön tuotannosta maksetaan syöttötariffina tavoitehintaa vähennettynä voimalaitoksen sijaintipaikan kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan keskiarvolla. (Suomen eduskunta, 2010)

Energiateollisuus ry:n mukaan (2009, 3) sähköliittymään voidaan liittää tuotantoa liittymissopimuksessa määritellyn tehon mukaisesti, jos tuotantolaitoksen käynnistäminen tai verkosta pois putoaminen ei aiheuta yli 4 % jännitteen muutosta ja sähkön laatu liittämiskohdassa pysyy aina sähkön laatua koskevan standardin SFS-EN 50160 (yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet) rajoissa. Lisäksi mikrotuotantolaitoksen käynnistysvirta ei saa ylittää liittymissopimuksen maksimitohon mukaista virran huippuarvoa. (Energiateollisuus ry 2009, 3.)

Sähköenergialiitto ry Sener kuitenkin toteaa julkaisussaan Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon (2001, 6), että standardia ei tule soveltaa pienvoimaloiden tapauksessa. Nykyaikaisten laitteistojen täytyy pystyä saavuttamaan standardia parempi jännitteen laatutaso. Tarvittaessa standardi on referenssi, mutta ei suunnittelun apuväline.

Siltasen ohjeen (2001, 12) mukaan sähköverkkoon kytkeminen voidaan sallia, jos liittymispisteen oikosulkuteho  $S_k$  toteuttaa yhtälön

$$S_k \geq 25 \cdot i_{suhde} \cdot S_n \quad (1)$$

Jossa  $S_n$  on pienvoimalan nimellisteho ja on  $i_{suhde}$  pienvoimalan kytkentävirran suhde nimellisvirtaan. (Siltanen 2001, 12.)



Energiateollisuus ry:n verkostosuositus kuitenkin kyseenalaistaa oikosulkutehon  $S_k$  kaavan (kaava 1). Sen mukaan mikrotuotannon verkkovaikutuksista on vielä niin vähän kokemuksia, ettei sen määrälle ja liittymän koolle voida asettaa ehdotonta suhdetta. (Energiateollisuus 2009, 3.)

Siltasen mukaan (2001, 12) hyvä ohje kaikkien pienvoimaloiden verkkoon kytkemiselle on seuraava: Jakeluverkkoon kytkeminen on pyrittävä tekemään niin, että käynnistys- tai kytkentävirta rajoittuu lähes nimellisvirran suuruiseksi.

Vantaan energia Oy:n suunnitteluohjeen mukaan käynnistysvirran tulee olla rajoitettu mahdollisimman lähelle laitteiston nimellisvirtaa ja tämä voidaan toteuttaa pehmökäynnistimellä tai taajuusmuuttajalla (Vantaan energia Oy 2010, 5).

Mikäli kuluttaja haluaa käyttää verkon kanssa rinnankyvää mikrotuotantolaitosta varavoimana, tulee asentaa kaksoiskytkentämahdollisuus, jossa toisella kytkennällä mikrotuotantolaitos toimii verkon kanssa rinnan ja toisella kytkennällä täysin verkosta erotetussa saarekkeessa. Tämä vaatii erillisen kytkimen ja lisälaitteiston. On kriittistä, ettei laitos voi missään olosuhteissa syöttää samanaikaisesti sekä verkkoa että verkosta erotettua saarekettä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL 2010)

Eurooppalainen standardi EN 50438 Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks määrittää vaatimukset verkkoon liitettävälle mikrogeneraattorille. Standardi ottaa kantaa myös tuotannon laatuun ja riittävään tiedottamiseen mikrotuotantolaitoksen vaikutuspiirissä työskenteleville sähköasentajille. (Lehto 2009, 39)

Standardin EN 50438 mukaan mikrogeneraattorin tulee vastata yleisten EMC-standardien Sähkömagneettinen yhteensopivuus EN 61000

- osa 6-1 Häiriönsieto kotitalous-, toimisto- ja kevyen teollisuuden ympäristöissä
- osa 6-3 Häiriön päästöt kotitalous-, toimisto- ja kevyen teollisuuden ympäristöissä
- osa 3-2 Harmoniset yliaallot, alle 16A:n sähkölaitteet
- osa 3-3 Nopeat jännitteenmuutokset ja välkyntä, alle 16A:n sähkölaitteet

vaatimuksia. (Lehto 2009, 43. Energiateollisuus ry 2009, 5, 6)

### 3.1.1 Turvallisuus

Tuotantolaitoksen tulee täyttää sähköturvallisuutta koskevat vaatimukset ja standardit SFS 6000 (sarja, pienjänniteasennukset) ja SFS 6002 (sähkötyöturvallisuus).

Vaaratilanteita syntyy, jos pienvoimala jää yksin syöttämään verkkoa ja halutaan tehdä verkkotöitä ko. johdolla. Vaikka johto erotetaan yleisestä verkosta, se voi silti olla toisesta suunnasta voimalan syöttämä ja siten jännitteinen. Jakeluverkossa toimivat voimalat tulisivat olla verkon haltijan tiedossa. (Siltanen 2001, 5.)

Pien- ja mikrotuotantolaitosten olemassaolosta jakeluverkossa varoitetaan lisäämällä merkintä muuntamon tai jakokaapin lähdön yhteyteen. Mikrotuotantolähdöt tulee merkitä asianmukaisesti sekä itse laitoksen että verkon puolella. Varoituskilvet tulee asettaa siten, että paikalla oleva asentaja tai maallikko huomaa ne varmasti. Lisäksi on tärkeää ohjeistaa asennushenkilökuntaa, jotta he tietävät mitä varoituskilpi tarkoittaa, miten mikrotuotantolaitoksen aiheuttama riski on huomioitava käytännön työssä ja miten varmistutaan kohteen jännitteettömyydestä. (Energiateollisuus 2009, 5.)

Sähköturvallisuusstandardien mukaan tuotantolaitos tulee olla erotettavissa verkosta ja erotuslaitteessa tulee olla näkyvä ilmaväli ja erottimen käyttömekanismiin tulee olla lukittavissa (SFS6002). Lisäksi jakeluverkon haltijalla täytyy olla joko rajoittamaton pääsy erottimelle tai kaukokytkenämahdollisuus (SFS6000). (Energiateollisuus ry 2009, 4.)

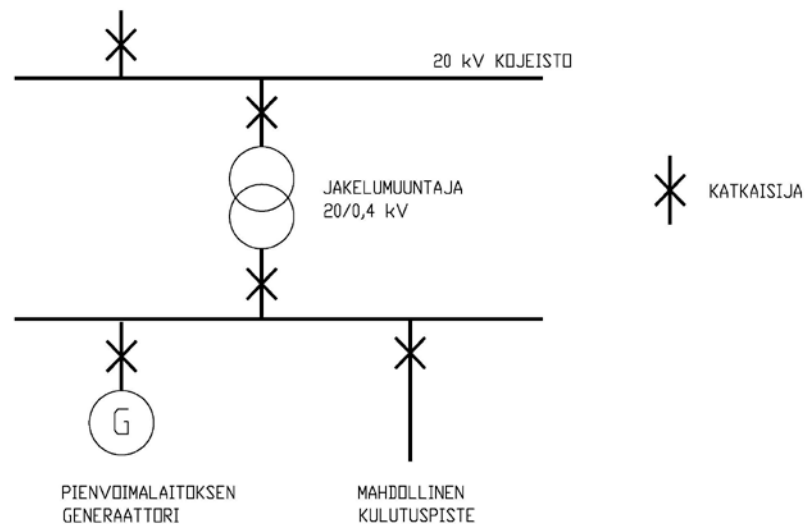
Erottimena voidaan käyttää

- erillistä mikrotuotantolaitoksen yhteyteen asennettua erotinta, jossa on näkyvä ilmaväli tai luotettava mekaaninen asennonosoitus
- mikrotuotantolaitoksen pääsulakkeiden irrottamista
- kytkintä, joka on verkonhaltijan verkossa ennen liittämiskohtaa. Esimerkiksi pyläsvarokeytkin ilmajohtoverkossa tai kaapelijakokaapissa oleva jonovarokeytkin kaapeliverkossa.

Mikäli erottimien käytölle halutaan vaihtoehto, työt on tehtävä asianmukaisina jännitetöinä tai muuten yhtä turvallisella tavalla. (Energiateollisuus ry 2009, 4.)

Esim. Vantaan Energia Oy:n suunnitteluohjeessa (2010, 4) vaaditaan erotuskytkimen käyttöä.

Kuvassa 12 on pääkaavio pienvoimalan kytkemisestä samaan 400V:n laitteistoon kulutuksen kanssa.



Kuva 12. Pääkaavio pienvoimalan kytkemisestä samaan 400V:n laitteistoon kulutuksen kanssa. (Pöyry Energy Oy 2006, 23)

### 3.1.2 Suojaus

Suojauksen perustana on, että suojauksen pitää olla selektiivistä, aukotonta ja luotettavaa. Suojauksen avulla turvataan, että pienvoimalaitoksen toiminta ei aiheuta vaaraa eikä häiriötä jakeluverkolle ja sen muille verkon käyttäjille ja huoltohenkilöstölle. Samoin suojauksen avulla turvataan tuotantolaitos verkossa tapahtuvilta häiriöiltä ja vioilta. (Pöyry Energy Oy 2006, 26)

Mikrotuotantolaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkvät laitteiston irti yleisestä verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa (Loss of Mains –suojaus, LoM), tai jos jännite tai taajuus generaattorilaitteiston navoissa poikkeaa mikrotuotantolaitoksen sallitulle toiminnalle asetelluista jännite- ja taajuusarvoista. Mikrotuotantolaitteisto ei saa

koskaan kytkeytyä verkkoon, kun verkon jännite tai taajuus ei ole annetuissa rajoissa. (Energiateollisuus ry 2009, 6.)

Pienvoimalaitoksen suojalaitteita ovat mm. ylijännite-, alijännite-, ylitaajuus-, alitaajuus-, ylivirta- ja maasulkusuoja. (Pöyry Energy Oy 2006, 24.)

Suomessa noudatettavat verkkoonliityntäsuojauksen asettelurajat on määritelty standardissa EN 50438. Taulukossa 2 on esitetty standardin asetteluarvot.

Taulukko 2. Liittymän suojauksen asetteluarvot.  $U_n$  on nimellisjännite. (Lehto 2009, 41)

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite-taso 1	1,5 s	$U_n + 10 \%$
Ylijännite-taso 2	0,15 s	$U_n + 15 \%$
Alijännite-taso 1	5 s	$U_n - 15 \%$
Alijännite-taso 2	0,15 s	$U_n - 50 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains*	0,15 s	
*Loss of Mains -suojauksen eli saarekekäytönesto- suojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.		

Esimerkiksi Vantaan Energia Oy:n suunnitteluohjeen mukaan verkkosyötön katkeaminen kiinteistön ulkopuolella voidaan todeta ja laukaista eroon jakeluverkosta esim. seuraavilla yksinsyötön estoreleillä:

- taajuuden muutosnopeusrele  $df/dt$ , suositus ROCOF -rele asettelulla 1 Hz/s
- myötä-alijänniterele  $U_1 <$
- impedanssin muutosrele  $dZ$
- muu soveltuva, jakeluverkon haltijan hyväksymä suojausmenetelmä.

Muiden suojalaitteiden lisäksi on voimalaitoslaitteisto varustettava vähintään seuraavilla suojalaitteilla,

- oikosulkusuoja: ylivirtarele
- ylikuormitussuoja

Releiden tulee olla kolmivaiheisia. (Vantaan Energia Oy 2010, 6, 10)

Taulukossa 3 on Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n suunnitteluohje tuotantolaitteistoista. (Vantaan Energia Oy 2010, 3.)

Taulukko 3. Vantaan Energia Oy:n tuotantolaitteistojen suunnitteluohje. (Vantaan Energia Oy 2010, 3.)

			Luokka	Rinnan- käynnin esto	Tahdistus	Yhteen- sopivuus- ehdot	Yksin- syötön esto	Sopimus- ehdot
Yleisestä jakelu- verkosta erossa käyvät tuotanto- laitteistot	Rinnankäyttö estetty mekaanisella kytkimellä		Lk 1.	■	-	-	-	LE05 VPE05
	Rinnankäyttö rajoitettu automaattisella syötön- vaiholla (kork. 5 s)		Lk 2.	■	■	-	-	LE05 VPE05
Yleisen jakelu- verkon kanssa rinnankäyvät tuotantolaitteistot	Sähkön siirto jakeluverkkoon estetty		Lk 3a.	-	■	■	■	LE05 VPE05
	Sähkön siirto jakeluverkkoon sallittu	Tuottaja ei saa korvausta verkkoon siirtyneestä sähköstä (vain pienet mikrogeneraattorit)	Lk 3b.	-	■	■	■	LE05 VPE05
		Tuottaja myy sähköä muulle sähkökaupan markkinaosapuolelle	Lk 4.	-	■	■	■	TLE05 TVPE05

### Loss of Mains –suojaus

Loss of Mains (LoM) -suojaus voi olla haasteellista mikrotuotannolle. Perinteisesti saarekekäyttöä hallitaan jännite- ja taajuusreleillä, jotka on sijoitettu mikrolaitoksen liityntäpisteeseen. Saarekkeella tarkoitetaan tilannetta, jossa pienvoimala jää syöttämään verkon osaa yksin. Tyypillisesti laitos ei kykene syöttämään koko saarekkeen kuormaa, jännite ja taajuus romahtavat ja yksikkö irtoaa liittymispisteen suojauksella. Sama tapahtuu, jos yksikkö syöttää kuormiin nähden liikaa. Jos kuormat vastaavat tuotantoa kohtalaisesti, taajuus ja jännite eivät saavuta asetteluarvoja tai saavuttavat ne hitaasti. Tällöin ollaan poissa havaintoalueelta. (Lehto 2009, 62)

Johtopäätöksenä Diplomityössään Lehto (2009, 42) ehdottaa Suomessa mikrotuotantolaitosten LoM-suojaukseen käytettäväksi ROCOF-relettä asetteluilla: toiminta-aika; 0,15 s ja releasettelu; 1 df/dt eli 1Hz/s. Vaihtoehtoisesti hänen mukaansa voidaan käyttää myös muuta suojausmetodia, mutta sen tulee olla yhtä nopea ja luotettava

kuin ROCOF-rele eikä se saa aiheuttaa lisäongelmia verkkoon, kuten tuotannon tarpeettomia irtoamisia.

Yleensä kuormat ja tuotanto vaihtelevat sen verran, ettei saarekkeen taajuus pysy annetuissa rajoissa kauaa, ja tilanne on lyhytaikainen. Lyhytaikainenkin saarekekäyttö voi kuitenkin olla ongelma, varsinkin jos aiheuttajana on maasulku. Tällöin maasulkupaikkaan voi syntyä vaarallisia kosketus- tai askeljännitteitä. (Lehto 2009, 42)

Mikrolaitosta ei ole yleensä suunniteltu toimimaan saarekkeessa. Siispä saarekkeessa tuotetun energian laatua ei voida taata. Energian laadunvaihtelut voivat vaurioittaa sekä verkon että kuluttajan laitteistoja. Asynkroninen uudelleenkäynnistys verkkoon voi johtaa samanlaisiin ongelmiin kuin epäonnistunut jälleenkytkentäkin. (Lehto 2009, 61)

### **Pikajälleenkytkentä**

LoM-tilanne on haastava Suomen jakeluverkolle erityisesti pikajälleenkytkentäautomaatiikan takia. Jakeluverkon pikajälleenkytkentöjen kesto on yleensä vain 0,5 s. Jos tuotantolaitos jää syöttämään saarekettä pikajälleenkytkennän ajaksi, ei jälleenkytkentä toimi ja verkon vika-aika pitenee. LoM-suojauksen tulee irrottaa laitos riittävän nopeasti, jotta pikajälleenkytkentä toimisi halutusti. (Lehto 2009, 42)

Loss of Mains (LoM) –suojauksen asettelu-aika on tämän hetkessä standardissa EN 50438 määritetty olemaan 0,15 sekuntia. Jakeluverkon pikajälleenkytkennän kesto on noin 0,3 - 0,5 sekuntia. Mikäli mikrotuotantolaitos jää ylläpitämään vikaa, kunnes LoM-suojaus irrottaa sen, lyhenee jälleenkytkennän kesto pienimmillään 0,15 sekuntiin. Jälleenkytkentäaika voikin jäädä niin lyhyeksi, ettei vika korjaannu vaan jää pysyväksi. Tilanne voidaan välttää pidentämällä jälleenkytkentäaika 0,65 sekuntiin. Tällöin jälleenkytkennät toimivat yhtä luotettavasti kuin ennenkin, vaikka verkossa on hajautettua mikrotuotantoa. (Lehti 2009, 62)

Mikrotuotantolaitoksen maasulkusuojaus voidaan käsitellä Loss of Mains –tilanteena. Maasulussa mikrotuotantolaitos jää saarekkeeseen, jolloin sen saarekesuojaus irrottaa sen. Saarekesuojasta ei kuitenkaan voida pitää täysin luotettavana. Lisäksi oikein toimiva saarekesuojaus heikentää turvallisuutta, sillä se pidentää maasulun kestoa

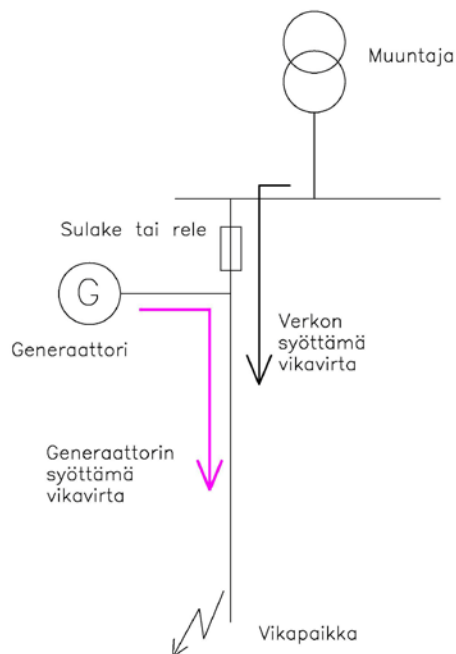
mikrotuotantolaitoksen suojauksen toimintanopeuden verran. Tämä johtaa vaarallisiin kosketus- ja askeljännitteisiin. (Lehto 2009, 61)

### **Suojauksen sokaistuminen**

Suojauksen herkkyysongelmia voi esiintyä, kun jakeluverkkoon liitetään mikrotuotantoa, eikä syötön rele- tai sulakeasetteluja tarkasteta. Ongelmana on, ettei vikaa havaita yhtä nopeasti kuin alunperin oli suunniteltu. Tämä voi johtaa vakaviin turvallisuusongelmiin. Ongelmaa kutsutaan myös suojauksen sokaistumiseksi. (Lehto 2009, 49)

Erityisesti suuritehoisen voimalan liittäminen lähdölle kauas sähköasemasta voi aiheuttaa ongelmia lähdön ylivirtasuojauksen toiminnassa. (Kuva 13). Jos vika tapahtuu lähellä pienvoimalaitosta, on oikosulkuimpedanssi huomattavista pienempi pienvoimalan ja vian välillä, kuin sähköaseman ja vian välillä. Tällöin sähköaseman syöttämä vikavirta voi pienentyä niinkin paljon, että suojauksen toiminta hidastuu tai estyy kokonaan. Mikäli mikrotuotantoa on riittävästi, voi syötön syöttämä oikosulkuvirta laskea sellaiselle tasolle, ettei rele tai sulake enää reagoi. Tällöin alkuperäinen releasettelu ei toimi vikatilanteissa. Kriittistä onkin tarkastaa relesuojauksen asettelut, kun verkkoon liittyy mikrotuotantoa. (Mäki 2004, 37. Lehto 2009, 50)

Pääsääntöisesti yksittäinen laitos ei vielä aiheuta suojauksen sokaistumista. Ongelma tulee esiin, kun hajautetusti sijoiteltua mikrotuotantoa on merkittävästi kulutukseen nähden. Lehdon (2009, 54...58) kolmen esimerkkilaskelman mukaan pienin invertterin välityksellä verkkoon liittyneen tuotannon näennäisteho, joka ei aiheuta ongelmia, olisi 2,8 MVA ja epätahtigeneraattori 700 kVA. Tuotantolaitokset saisivat olla siis melko suuria, eikä ongelmaa näin ollen esiinny mikrovoimalaitosten liittyessä yleiseen sähköverkkoon.



Kuva 13. Suojauksen sokaistuminen. Mikrotuotantolaitoksen syöttämä vikavirta on merkattu punaisella. (Mäki 2004, 37, muokattu)

### Virhelaukaisu

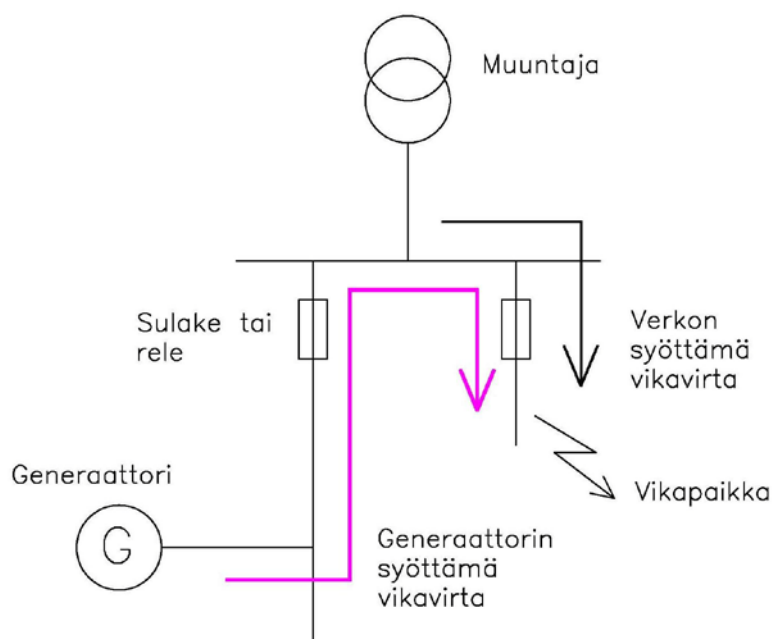
Toinen tyypillinen hajautetun tuotannon aiheuttama ongelma on terveen lähdön, jolle voimala on sijoitettu, tarpeeton erottaminen viereisen johtolähdön vikaantuessa (kuva 14). Vikatilanteessa pienvoimala syöttää vikavirtaa aseman tai kiskon kautta vikaantuneelle lähdölle. Tällöin vikavirran suuruus saattaa ylittää pienvoimalan lähtöä suojaavalle releelle asetetun havahtumisarvon. Todennäköisimmin ongelmia aiheutuu tilanteessa, jossa vika tapahtuu heti viereisen lähdön alkuosassa ja voimala on suuritehoinen. Myös voimalan sijainti oman lähtönsä alkupäässä kasvattaa kiskon kautta kulkevaa vikavirtaa. Pahin ongelma on kolmivaiheisessa oikosulussa, jolloin vikavirrat ovat suurimmat. Suunnittelussa onkin otettava huomioon tilanne, jossa hajautettu tuotanto toimii täydellä tehollaan ja vika tapahtuu viereisellä lähdöllä lähellä kiskoa. Jakeluyhtiön kannalta asia muodostuu erityisen tärkeäksi, jos pienvoimalan kanssa samalla lähdöllä on myös kuluttajia. (Mäki 2004, 36)

Mikäli vikavirran suuruus ylittää releen asetteluvarvon tai sulakkeen kapasiteetin, eikä rele tai sulake tunnista vikavirran suuntaa ja toimii, on suuntaylivirtarele Lehdon mukaan ratkaisu ongelmaan. Toisaalta komponenttien vaihto on kallista ja kustannusten kohdentaminen



vaikeaa. Releen vaihdosta voi kuitenkin olla hyötyä myös muulle verkolle. Suuntarelemahdollisuus kannattaa huomioida, kun rakennetaan uutta verkkoa tai uudistetaan vanhaa verkkoa korvaamalla komponentteja. Ylivirtareleen ja suuntaylivirtareleen hintaero on verkon rakennuskustannuksiin nähden mitätön. Asentamalla jo valmiiksi suuntarele voidaan välttyä ongelmilta tulevaisuudessa. (Lehto 2009, 51)

Lehdon (2009, 59...61) esimerkkilaskelman mukaan pienin invertterin välityksellä verkkoon liittyneen tuotannon näennäisteho, joka ei aiheuta ongelmia, olisi 30 kVA ja epätahtigeneraattori 7,6 kVA. Ongelma on siis mahdollinen mikrotuotannon liittyessä yleiseen sähköverkkoon ja otettava huomioon verkkoa suunnitellessa.



Kuva 14. Terveen lähdön tarpeeton erottaminen. Mikrotuotantolaitoksen syöttämä vikavirta on merkattu punaisella. (Mäki 2004, 36, muokattu)

### 3.1.3 Energiamittaus

Kohde, josta verkkoon syötettävää sähköä ei myydä markkinoille, voidaan rinnastaa puhtaaseen sähkön kulutuspaikkaan. Näissä kohteissa voidaan käyttää perinteistä pyörivää energiamittaria, joka mittaa ainoastaan kulutuksen, eli mittaa vain yhteen suuntaan. On kuitenkin suositeltavaa asentaa tuntimittauslaitteisto myös tällaisiin kohteisiin. Jos myöhemmin halutaan myydä verkkoon syötettävää sähköä markkinoille,

tulee laitteisto kuitenkin vaihtaa. (Energiateollisuus ry 2009, 12.)

Enintään 3x63A:n kohteissa, joissa sähköä myydään markkinoille, sähköntuotanto tulee mitata tunneittain etäluettavalla sähkömittarilla. Kun pientuotantopaikassa on sekä sähköntuotantoa että kulutusta, voidaan niitä mitata yhdellä mittarilla. Enintään 3x63A pääsulakkeilla varustettuun käyttöpaikkaan liitetty sähköntuotantolaitos ei vaadi omaa mittalaitetta, vaan riittää, että kohteesta mitataan erikseen sekä sähköverkosta otettu että siihen syötetty sähkö. (Energiateollisuus ry 2009, 13.)

#### 3.1.4 Tahdistus

Tahtigeneraattorit tulee tahdistaa toimimaan samassa vaiheessa ja samalla taajuudella muun verkon kanssa, ennen generaattorin kytkemistä yleiseen sähköverkkoon. Jos verkkoon syötettäisiin eritaajuisia virtaa, vaihe-erot voisivat aiheuttaa oikosulkuja ja sähkölaitteiden rikkoutumista.

Mikrogeneraattorin synkronointi verkon kanssa tulee olla täysin automatisoitua. Liittymän suojauksen tulee taata, että tehon syöttö verkkoon alkaa vain silloin, kun jännite ja taajuus ovat olleet suojausasetusten sallimissa rajoissa vähintään tietyn minimiajan, joka on generaattoreille 3 minuuttia ja taajuusmuuttajilla liitetyille järjestelmille 20 sekuntia. (Energiateollisuus ry 2009, 8)

Tahdistukseen tulee myös Vantaan Energia Oy:n suunnitteluohjeen (2010, 4) mukaan käyttää automaattitahdistinta. (Vantaan Energia Oy 2010, 3, 4.)

Generaattoreiden kytkennässä jakeluverkon jännitteen tulee noudattaa seuraavia tahdistusehtoja:

- Tahtigeneraattori
  - $\Delta U < \pm 8 \% U_N$
  - $\Delta f < \pm 0,5 \text{ Hz}$
  - $\Delta \varphi < \pm 10^\circ$

- Epätahtigeneraattori
  - o tahdistamaton verkkoon kytkentä on sallittu, jos kierroslukuero  $\Delta n \leq \pm 5 \%$   $n_N$ . Muutoin on sovellettava tahtigeneraattorille annettuja arvoja.
- Vaihtosuuntaajalaitteet
  - o voidaan kytkeä verkkoon ilman erillistä tahdistinta, jos verkko-osa synkronoituu automaattisesti ja kytkeminen ei aiheuta haitallista käynnistysvirtasysäystä. Muutoin on sovellettava tahtigeneraattorille annettuja arvoja.

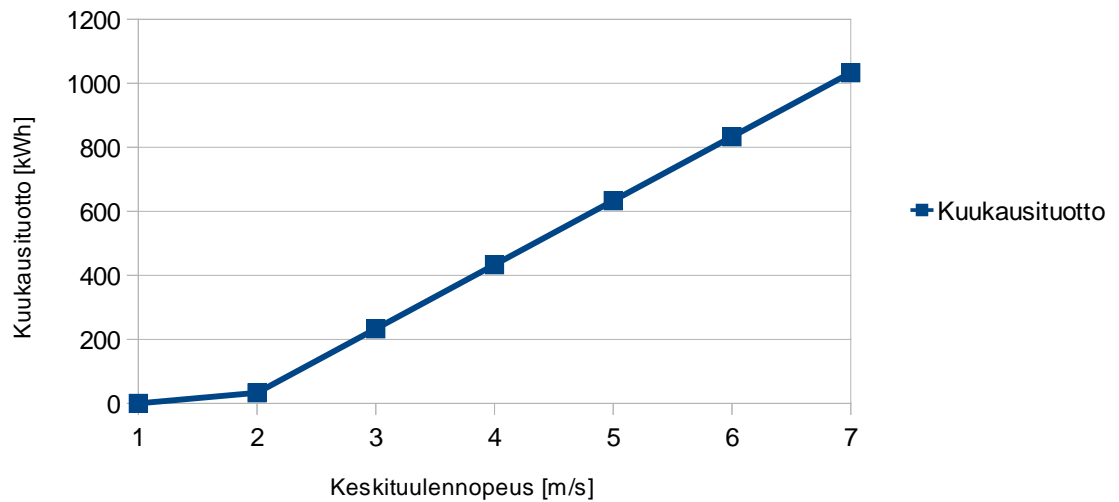
(Vantaan Energia Oy 2010, 3.)

## 3.2 Tuulivoimalan liittäminen sähköverkkoon

### 3.2.1 Mitoitus

Tuulivoimajärjestelmää mitoitettaessa selvitetään ensin, paljonko järjestelmään liitettävät laitteet kuluttavat energiaa päivässä (kaava 2). Tämän jälkeen selvitetään paikalliset tuuliolosuhteet ja voimalan paras asennuspaikka. Sisämaassa sopivia asennuspaikkoja ovat esim. järvien rannat ja isot peltoaukeat. Voimalaa valittaessa on hyvä tutustua eri mallien tuottokäyriin (kuva 15). Tuottokäyrä kertoo kuinka paljon voimala tuottaa sähköä milläkin tuulennopeudella. (tuulivoimala.com, 2) Tuulivoimalan koko valitaan näiden tietojen perusteella valmistajan taulukoista.

### Energiantuotto kuukaudessa eri tuulennopeuksilla



Kuva 15. Tuule E200 -tuulivoimalan tuottokäyrä. (finnwind.fi)

Erityisen suureen sähkön käyttötarpeeseen voidaan varautua suurentamalla akkukapasiteettia tai tuulivoimalan tehoa.

#### Kulutuksen laskeminen

Kulutus eli laitteen tarvitsema energiamäärä  $W_h$  [Wh] arvioidaan kertomalla laitteen teho päivittäisellä käyttöajalla:

$$W_h = W \times h \quad (2)$$

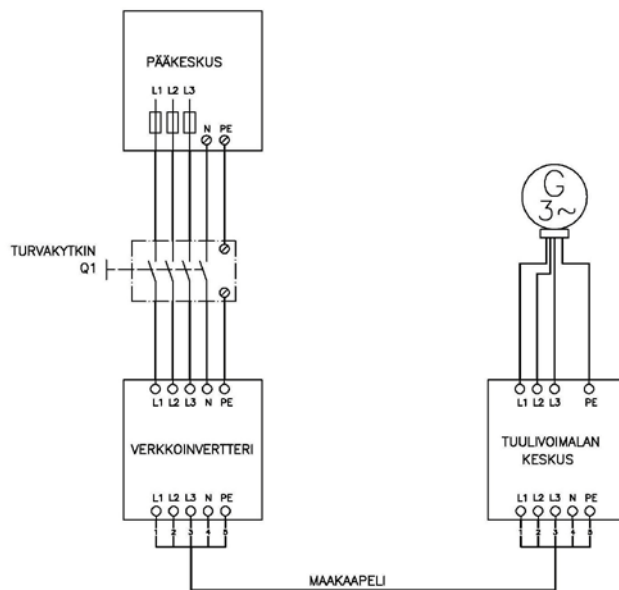
Jossa  $W$  on laitteen teho ja  $h$  päivittäinen käyttöaika.

Kokonaiskulutus  $W_{\text{kok.}}$  [Wh] saadaan laskemalla liitettävien laitteiden tehot yhteen.

#### 3.2.2 Kytkeä

Jotta pientuulivoimala voidaan kytkeä turvallisesti sähköverkkoon, tarvitaan laitteisto suojaamaan sähköverkkoa. Kuvassa 16 on esitetty pientuulivoimalan periaatteellinen kytkentä sähköverkkoon. Kuvan järjestelmässä sähköverkkoon liittämiseen käytetään verkkoinverteriä. Verkkoinverteri tunnistaa jakeluverkon häiriötilanteita ja laukaisee

tuulivoimalan energiansyötön pois. Verkkoinvertteri tahdistuu automaattisesti jakeluverkon rinnalle kiinteistöverkkoon. (eagle.fi)



Kuva 16. Pientuulivoimalan periaatteellinen kytkentä sähköverkkoon.

Lähelle kiinteistön pääkeskusta tarvitaan tuulivoimalan ja kiinteistön sähköverkon välille myös turvakytkin.

### 3.3 Aurinkovoimalan liittäminen sähköverkkoon

#### 3.3.1 Mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmää mitoittaessa kartoitetaan ensin, kuinka paljon järjestelmään liitettävät kulutuslaitteet kuluttavat energiaa päivässä (kaava 2). Tämän jälkeen selvitetään kuinka paljon aurinko säteilee niiden sijoituspaikkaan ja mihin vuoden aikaan. Lasketaan kuinka paljon tarvitaan aurinkopaneelikapasiteettia. Lisäksi lasketaan kuinka paljon tarvitaan akustoa omavaraisuusajan täyttämiseksi. Verkkoon liitetyssä järjestelmässä akustoa ei tarvita.

Jotta aurinkosähköjärjestelmä tuottaisi kulutusta vastaavan energiamäärän, pitää

aurinkopaneelikapasiteettia olla epäsäännöllisyyksien ja häviöiden takia n. 1.1-1.5 kertaisesti kulutukseen nähden. Haluttu paneeliston tuotto  $W_{hp}$  [Wh] saadaan siis kertomalla laitteiden kulutus 1.1-1.5 kertoimella:

$$W_{hp} = W_{hkok} \times 1,1 \dots 1,5 \quad (3)$$

Jossa  $W_{hkok}$  on laitteiston tarvitsema energiamäärä.

Tarvittava aurinkopaneelin nimellisteho  $P_n$  [W] saadaan seuraavanlaisesti:

$$P_n = W_{hp} / (n_{sys} \times t_k) \quad (4)$$

jossa  $n_{sys}$  on järjestelmähyötysuhde ja  $t_k$  on huippupaistatuntimäärä.

Paneeliston määritellään tuottavan nimellistehonsa  $P_n$  auringonsäteilyn ollessa  $1 \text{ kW/m}^2$ . Aurinkopaneelin energiantuotto  $E_{pv}$  on:

$$E_{pv} = P_n \times t \quad (5)$$

Jossa  $P_n$  on paneelin nimellisteho ja  $t$  aika, jolloin aurinko säteilee.

### **Akuston mitoitus**

Akuston kokoa arvioidessa tulee miettiä aurinkosähköjärjestelmä omavaraisuusaikaa. Omavaraisuusaika on se aika, jonka järjestelmä toimii akuston turvin. Omavaraisuusaika voi olla parista päivästä moneen kymmeneen päivään.

Akusto mitoitetaan muuttamalla ensin päivittäinen sähköntarve ampeeritunneiksi  $E_a$ :

$$E_a = W_{hkok} / U \quad (6)$$

Jossa  $W_{hkok}$  on laitteiston tarvitsema energiamäärä ja  $U$  akun käyttöjännite.

Tämän jälkeen päivittäinen energiatarve  $E_a$  kerrotaan käyttöpäivien määrällä. Näin saadaan akuston tarvittava teho.

Akun käyttöikä riippuu erityisesti akun syvälatauksen määrästä. Akku voi vahingoittua jos se käytetään täysin loppuun. Tyhjä akku myös jäätyy täysinäistä helpommin. Siksi on

suositeltavaa käyttää akun kapasiteetistä enintään 70 %.

### **Kaapelin mitoitus**

Kaapelin minimipoikkipinta-ala  $A$  paneelilta säätimelle lasketaan kaavalla:

$$A = (l \times I) / 32 \quad (7)$$

jossa  $l$  on kaapelin pituus ja  $I$  on paneelivirta. (Eurosolar, esite 2007)

Esim. Paneelin, jonka teho on 80W, tuottovirta on 4,6 A. Kun paneeleita on kaksi, lasketaan tuottovirrat yhteen. Kahden paneelin tuottovirta on silloin 4,6 A+4,6 A = 9,2 A. Matka paneelilta säätimelle on 15 m. Tällöin kaapelin poikkipinnaksi  $A$  saadaan:

$$A = (15 \text{ m} \times 9,2 \text{ A}) / 32 = 4,3 \text{ mm}^2.$$

Kaapeliksi valitaan 3x6 mm<sup>2</sup>.

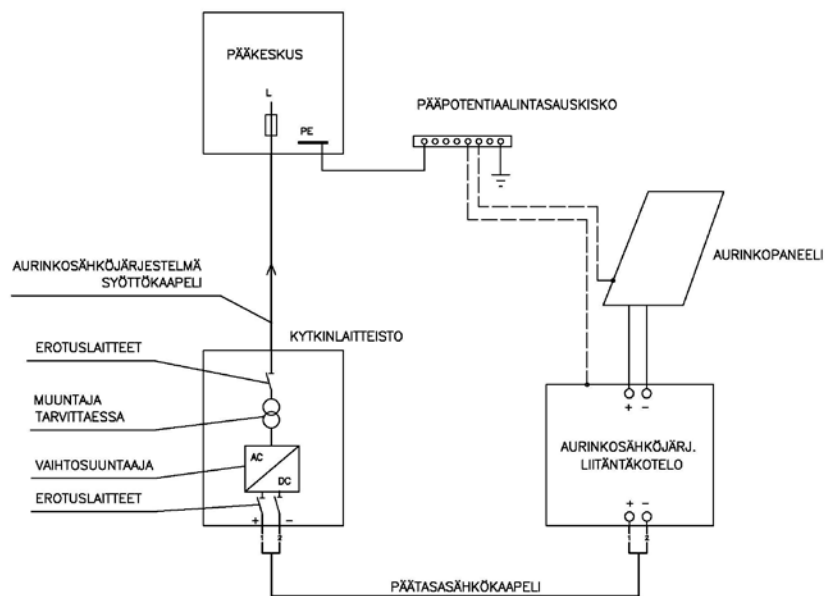
Kaapelin minimipoikkipinta-ala  $A$  säätimeltä kulutuslaitteelle lasketaan kaavalla:

$$A = (l \times I) / 16 \quad (8)$$

jossa  $l$  on kaapelin pituus ja  $I$  on paneelivirta. (Eurosolar, esite 2007)

### 3.3.2 Kytcentä

Pienaurinkovoimalan verkkoon kytkemiseen tarvitaan myös verkkoinvertteriä kuten pientuulivoimalankin. Kuvassa 17 on pienaurinkovoimalan periaatteellinen kytkentäkaavio.



Kuva 17. Aurinkopaneeleiden periaatteellinen kytkentäkaavio.

Pienet aurinkosähköjärjestelmät kytketään yleensä yhteen vaiheeseen, mutta suuremmat järjestelmät ( $> 3,8$  kW) kytketään kolmivaiheisesti. Invertteri voidaan kytkeä jokaiseen paneeliketjuun, jolloin ne pystyvät seuraamaan kunkin ketjun maksimitehopistettä (paneelin virran ja jännitteen arvot, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho kulloisissakin käyttöolosuhteissa (Kvick 2010, 5)). Tämä parantaa järjestelmän hyötysuhdetta, koska ketjujen erilaiset valaistusolosuhteet ja muut paneelien väliset eroavaisuudet saadaan paremmin huomioon otettua. (Kvick 2010, 37)



#### 4 LIITYNTÄÄ KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET

Sähkön tuottaminen Suomessa on kaikille vapaata toimintaa. Lisäksi kaikki tuotantolaitokset voivat liittyä yleiseen sähköverkkoon ja myydä sähköä avoimilla sähkömarkkinoilla. Sähkötuotantolaitoksen tulee täyttää viranomaisten ja sähkölaitoksien tuotantolaitoksille asettamat vaatimukset kuten ympäristövaatimukset ja tekniset vaatimukset. (Pöyry Energy oy 2006, 13)

Sähköverkkotoimintaa saa harjoittaa vain sähkömarkkinaviranomaisen luvalla (sähköverkkolupa). Sähköverkkotoiminta, jossa laitoksen hallinnassa olevalla sähköverkolla hoidetaan vain kiinteistön sisäistä sähkönjakelua, ei ole luvanvaraista. (Sähkömarkkinalaki 386/1995, 2.luku 4§) Sähköverkkotoiminta tarkoittaa sähköverkon asettamista vastiketta vastaan sähkönsiirtoa ja muita verkon palveluita tarvitsevien käyttöön (Sähkömarkkinalaki 386/1995, 1.luku 3§).

Sähkömarkkina-asetus velvoittaa voimalaitoksen haltijan ilmoittamaan Energiamarkkinavirastolle teholtaan vähintään 1 MVA:n suuruisen voimalaitoksen rakentamisen, tehonkorotuksen tai käytöstä poistamisen. (Sähkömarkkina-asetus 65/2009, 7§)

Sähkötuottaja, joka tuottaa sähköä alle 50 kVA:n tehoisella generaattorilla, ei maksa sähköveroa. Sähköveroa ei maksa myöskään sähkötuottaja, joka tuottaa sähköä 50 - 2000 kVA:n tehoisessa generaattorissa ja sähköä ei siirretä sähköverkkoon. (tulli.fi)

Sähkötuottajan tulee tehdä tuotannon liittymissopimus jakeluverkonhaltijan kanssa. (Pöyry Energy oy 2006, 18)

Yksivaiheisen mikrotuottajan tulee ilmoittaa verkonhaltijalle mille vaiheelle yksivaiheinen tuotanto kytketään ja verkonhaltijalla tulee halutessaan olla mahdollisuus vaikuttaa vaiheeseen (Energiateollisuus 2009, 1).

Sähkölaitteet tulee asentaa voimassa olevien säädösten mukaisesti. Sähkölaitteiden asennukset saa suorittaa vain henkilö tai yritys, jolla on sähköurakointioikeudet.

Urakoitsija vastaa tekemänsä asennuksen/laitteiston säännöstenmukaisuudesta ja tekee työlleen käyttöönottotarkastuksen. (Pöyry Energy oy 2006, 18)

Tuulivoimalan rakentaminen vaatii rakennusluvan tai toimenpideluvan kunnalta. Rakentaminen voi edellyttää myös ympäristölupaa, jos esimerkiksi lähistöllä on asutusta. (motiva.fi) Lupamenettely vaihtelee kunnittain. Tavallisinta on, että kaava-alueella vaaditaan rakennus- tai toimenpidelupa voimalan maston korkeudesta riippuen. Kaava-alueen ulkopuolella tyypillisesti vaaditaan vain toimenpidelupa. (tuulivoimayhdistys.fi)

Aurinkopaneelijärjestelmän saa yleensä asentaa ilman toimenpidelupaa katon lappeen suuntaisesti, suorakaiteen muotoiseksi kokonaisuudeksi ja siten etteivät kiinnitysrakenteet jää häiritsevästi näkyviin. Järjestelmän saa asentaa myös seinäkiinnityksenä. Asia on tarkistettava kunnan rakennusvalvonnasta. (finnwind.fi)

Aurinkosähköjärjestelmien asennusta varten on julkaistu standardi SFS 6000-7-712, Aurinkosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät. Se sisältää ohjeita suojausmenetelmistä ja aurinkosähköpaneelien valinnasta ja asentamisesta.

## 5 ESIMERKKIJÄRJESTELMIEN LASKELMAT

### 5.1 Yleistä

Esimerkkilaskelmissa selvitetään onko suoraan sähköverkkoon kytketyn pientuulivoimalan ja aurinkosähköjärjestelmän sekä aurinkokeräinjärjestelmän hankinta kannattavaa. Laskelmissa selvitetään investointihinnat, energiantuotto-odotusten mukaiset sähkön kulutuksen säästöt ja järjestelmän takaisinmaksuaika.

Laskelmissa ei ole huomioitu huoltokustannuksia.

### 5.2 Esimerkkilaskelmissa käytetyt kiinteistöt

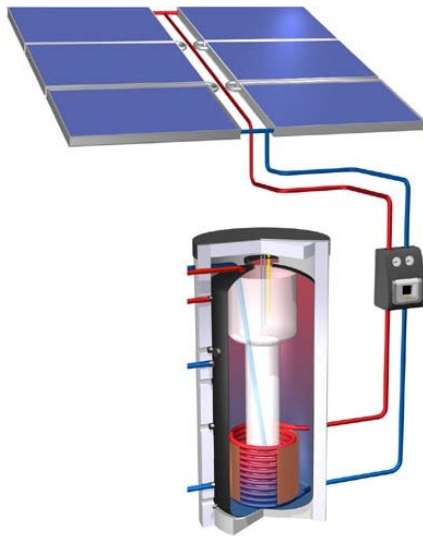
Esimerkkinä 1. ja 2. on omakotitalo, jonka pinta-ala on 110 m<sup>2</sup>. Omakotitalo sijaitsee Nokian Kuljussa haja-asutusalueella. Lämmitysmuotona on osittain varaava sähkölämmitys, puukiuas ja varaava leivinuuni. Kyseessä on viiden henkilön asuintalo.

Esimerkissä 1. kiinteistöön asennetaan 4,0 kW:n tuulivoimala suoraa sähkönsyöttöä varten. Tuulivoimala liitetään yleiseen jakeluverkkoon. Tuulen keskinopeus alueella on n. 4,0 m/s vuoden keskitasona. Vertailun vuoksi on myös tarkasteltu tilannetta, jossa sama voimala asennettaisiin rannikkoalueelle, jossa tuulen keskinopeus vuoden keskiarvona on n. 6-7 m/s.

Esimerkissä 2. tarkastellaan tilannetta, jossa rakennukseen hankittaisiin aurinkopaneelit valaistuksen sähkösyöttöä varten. Aurinkopaneelit asennettaisiin rinnan yleisen sähköverkon kanssa.

Esimerkki 3. on puurivitalokortteli, jossa on 25 erikokoista asuntoa. Rivitalokortteli sijaitsee Tampereella. Rivitalokorttelin yhteenlaskettu asuinpinta-ala on 2485 m<sup>2</sup>. Korttelissa on 5h+k asuntoja 5 kpl, 4h+k 6 kpl, 3h+k 1 kpl, 2h+k 3 kpl ja 1h+k 10 kpl. Lisäksi kiinteistössä on yhteisiä tiloja 160 m<sup>2</sup>, varastotiloja 232 m<sup>2</sup> ja teknisiä tiloja. Kiinteistössä on kaukolämpö. Kiinteistössä ei ole asuntokohtaisia kiukaita, mutta

yhteiskiuas on. Työssä tarkastellaan tilannetta, jossa rivitalokortteliin hankittaisiin aurinkokeräimet käyttö- ja lämmitysveden lämmittämistä varten (kuva 11).



Kuva 11. Hybridivaraajan, aurinkokeräimen ja ohjausyksikön putkikytkentä.

### 5.3 Tuulivoima

#### **Esimerkki 1. Pientuulivoimalan hankinta omakotitaloon**

##### **Esimerkin pientuulivoimala**

Laskentaesimerkiksi on otettu Finnwind Oy:n Tuule E200 tuulivoimala. Tuule E200 tuulivoimala on tarkoitettu omakotitalojen, vapaa-ajanasuntojen sekä maatilojen sähköntuotantoon kohteissa, joissa on kiinteä sähköverkko. Tuulivoimalan toimitussisältöön kuuluu tuulivoimalan potkuri ja koneisto, harustettu masto, maadoitus, perustukset, maston sähkökotelo, taajuusmuuttajan suojayksikkö, ylijännitevastus ja maakaapelia 50 m. Taajuusmuuttajan suojausyksikkö suojaa taajuusmuuttajaa lyhytaikaisilta jännitepiikeiltä poikkeustilanteissa. Taajuusmuuttaja sisältää verkosta irtautumistoiminnot. Syöttö verkkoon katkaistaan, jos verkko häviää tai jos verkon taajuus ja/tai jännite ei täytä laatuvaatimuksia. Voimalan maston juurella sähkökotelossa on pääsulake sekä erillinen lukittava pääkytkin. Pääsulake estää voimalan

ylikuormittumisen sähköjärjestelmän mahdollisissa vikatilanteissa. Lukittavalla pääkatkaisijalla tuulivoimala voidaan kytkeä turvallisesti irti verkosta. Maston korkeus on 18 m. Taulukossa 4 on tuulivoimalan tekniset tiedot.

Taulukko 4. Tuulivoimalan tekniset tiedot (finnwind.fi).

Nimellisteho	4,0 kW
Taajuusmuuttajan nimellisteho	3,6 kW
Käynnistystuulenoisuus	n. 2 m/s
Sähköntuotannon aloitus	n. 2,5 m/s
Lapojen halkaisija	4,9 m
Lapojen lkm	3 kpl
Pyörimisnopeus	405-280 rpm
Generaattori	Suoravetoinen kestopagneettigeneraattori
Generaattorijännite	0-400 V AC 3~
Verkkoonsoyöttöjännite	230 V / 50 Hz
Säätöjärjestelmä	verkkoon tahdistuva taajuusmuuttaja
Myrskysuojaus	Tuulenpaineella sivuun kääntyvä mekanismi
Suurin tuulenoisuus	50 m/s
koneiston paino	75 kg

## Investointi

Valmistaja ilmoittaa Tuule E200 -tuulivoimalapaketin hinnaksi 16 700 e (sis. alv 23 %).

Lisäksi tarvitaan voimalan pystytys ja maakaapelin kaivuutyöt. Näihin menisi arviolta 1300 e (alv 23 %).

Sähköasentajan työhön kuluu arviolta 16 h. Palkan ollessa 40 e/h (sis. alv 23 %), sähköasentajan palkka olisi 640 e (alv 23 %).

Yhteensä investointikustannukset olisivat n. 18 640 e (alv 23 %).

## Energian tuotto-odotus

Aiemmin todettiin (s. 5), että Nokian Kuljun seudulla tuulennopeus on 50 metrin korkeudessa n. 4,6 m/s ja 100 metrin korkeudessa n. 5,8 m/s vuoden keskitasona. Eri tuuliturbiinivalmistajat antavat sisämaan keskituulennopeudeksi 3,0 – 5,0 m/s. Sivulla 25 on Tuule E200 –tuulivoimalan energiantuottokuvaaja. Jos vuoden keskituulennopeudeksi arvioidaan 4,0 m/s, saadaan kuukauden keskituotoksi n. 433 kWh. Vuoden keskituotto Nokian Kuljussa olisi siis

$$12 \text{ kk} \times 433 \text{ kWh/kk} = 5196 \text{ kWh}.$$

Rannikkoalueelle keskituulennopeudeksi tuuliturbiinivalmistajat antavat 6,0 – 7,0 m/s. Tuule E200 –tuulivoimalan energiantuottokuvaajasta saadaan tällöin vuoden keskituotoksi

$$12 \text{ kk} \times 833 \text{ kWh/kk} = 9996 \text{ kWh}.$$

## Taloudellinen kannattavuus

Sähkön kokonaishinta on tällä hetkellä n. 12,64 snt/kWh (energiamarkkinavirasto.fi).

Tuulivoimajärjestelmä säästää sähkölaskussa sisämaassa vuodessa

$$12,64 \text{ snt/kWh} \times 5196 \text{ kWh/v} = 65677 \text{ snt/v} = 656,77 \text{ e/v}.$$

Rannikkoalueella tuulivoimajärjestelmä säästäisi sähkölaskussa vuodessa

$$12,64 \text{ snt/kWh} \times 9996 \text{ kWh/v} = 126349,44 \text{ snt/v} = 1263,49 \text{ e/v}.$$

Esimerkijärjestelmän investointihinta on 18 640 e (alv 23 %). Järjestelmän takaisinmaksuaika  $t$  sisämaassa on investointihinta jaettuna vuosisäästöllä eli

$$t = 18\,640 / 656,77 \text{ e/v} = 28,3 \text{ v}.$$

Rannikkoalueella takaisinmaksuaika  $t$  on

$$t = 18\,640 / 1\,263,49 \text{ e/v} = 14,7 \text{ v}.$$

Takaisinmaksuajan laskennassa ei ole huomioitu huoltokustannuksia ja tehohäviöitä.

Valmistaja ilmoittaa, että säännöllisellä ennakkohuollolla tuulivoimalan käyttöikä on 40 – 50 vuotta.

#### 5.4 Aurinkovoima

### **Esimerkki 2. Aurinkopaneelien hankinta omakotitaloon**

#### **Teholaskelmat**

Esimerkkikohteen omakotitalon valaistuksen tehoksi arvioidaan 600 W. Päivittäiseksi valaistuksen käyttöajaksi arvioidaan 8h. Valaistuksen tarvitsema energiamäärä  $W_h$  päivässä lasketaan kaavalla 2:

$$W_h = W \times h = 600 \text{ W} \times 8 \text{ h/vrk} = 4,8 \text{ kWh/vrk}$$

Tarvittavan aurinkopaneeliston tuotto lasketaan kaavalla 3. Koska kyseessä on verkkosähkön rinnalla toimiva laitteisto, valitaan kertoimeksi 1,1.

$$W_{hp} = W_{hkok} \times 1,1 = 4800 \text{ Wh/vrk} \times 1,1 = 5300 \text{ Wh/vrk}$$

Seuraavaksi arvioidaan vuosittainen huippupaistatuntimäärä. Aurinkopaneeleita käytetään ympäri vuoden, joten mitoittamiseen voidaan arvioida huippupaistatuntimääräksi keskiarvo kuukausittaisista huippupaistatunneista. Asennuskulmaksi valitaan myös ympärivuotisen käytön vuoksi  $45^\circ$ . Vuoden keskimääräinen huippupaistatuntimäärä on Helsingissä 3,25 h/vrk. (Erat, Erkkilä 2008, 154.)

Tarvittava aurinkopaneelin nimellisteho  $P_n$  [W] lasketaan kaavalla 4:

$$P_n = W_{hp} / (n_{sys} \times t_k) = 5300 \text{ Wh/vrk} / (1 \times 3,25 \text{ h/vrk}) = 2500 \text{ Wp}$$

Aurinkopaneelien nimellistehoksi saadaan 2500 Wp.

Koska laitteisto on liitetty verkkoon, akustoa ei tarvitse mitoittaa.

## Investointi

Aurinkopaneelien nimellistehoksi saatiin 2,5 kWp.

Esimerkilaskelmaan valitaan Finnwind Oy:n Aurinko E –sarjan aurinkosähköjärjestelmät. Laskelma tehdään vaihtoehtoisilla 2,0 kW:n ja 3,6 kW:n järjestelmillä. 2,0 kW:n järjestelmän hinnaksi valmistaja ilmoittaa 12 500 e (alv 23 %) ja 3,6 kW:n järjestelmän 22 500 e (alv 23 %). Taulukossa 5 on valittujen tuotteiden tekniset tiedot. Järjestelmä sisältää aurinkopaneelit, verkkoinvertterin, asennustelineet, kaapelit ja turvakytkimet.

Taulukko 5. Aurinko E-sarjan valittujen paneelien tekniset tiedot. (finnwind.fi)

Paneeliteho	2,0 kW	3,6 kW
Paneelin malli	E130 – 1380	E270
Ulostulojännite	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz
Tuottoarvio vrk:ssa kesällä	12 kWh	21,6 kWh
Paneelien määrä	9 kpl	16 kpl
Paneelien kokonaispinta-ala	15,3 m <sup>2</sup>	27,2 m <sup>2</sup>
Sijoitteluryhmien määrä	1 kpl	2 kpl

Lisäksi investointikustannuksiin kuuluu asennustyö. Aikaa asentajalta kuluisi arviolta 2 työpäivää, yhteensä 16 h. Asentajan tuntipalkka on n. 40 e/h. Asennustyön hinnaksi voidaan arvioida 640 e (alv 23 %).

Kyseisen järjestelmän investointikustannukset ovat 2,0 kW:n järjestelmällä 13 140 e (alv 23 %) ja 3,6 kW:n järjestelmällä 23 140 e (alv 23 %).

## Energian tuotto-odotus

Esimerkkinä olevan omakotitalon aurinkosähköjärjestelmän vaihtoehtoiset paneelitehot ovat 2000 W ja 3600 W, jolloin voidaan karkeasti arvioida, että vuodessa järjestelmät tuottaisivat energiaa n. 2000 kWh ja 3600 kWh.



Sähkölämmitteisessä omakotitalossa (120 m<sup>2</sup>, 4 hlö) sähkön kulutus on keskimäärin 18 500 kWh/v. Esimerkin 2,0 kW:n järjestelmällä saadaan katettua n. 11 % ja 3,6 kW:n 19 % kohteen vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.

### **Taloudellinen kannattavuus**

Esimerkkinä olevan omakotitalon vaihtoehtoiset aurinkopaneelijärjestelmät tuottavat energiaa n. 2000 kWh/v ja 3600 kWh/v. Sähkön kokonaishinta on tällä hetkellä n. 12,64 snt/kWh (energiamarkkinavirasto.fi). Vaihtoehtoiset aurinkopaneelijärjestelmät säästävät sähkölaskussa vuodessa

$$12,64 \text{ snt/kWh} \times 2000 \text{ kWh/v} = 25280 \text{ snt/v} = 252,80 \text{ e/v ja}$$

$$12,64 \text{ snt/kWh} \times 3600 \text{ kWh/v} = 45504 \text{ snt/v} = 455,04 \text{ e/v.}$$

Vaihtoehtoisten esimerkkijärjestelmien investointihinnat ovat 13 140 e (alv 23 %) ja 23 140 e (alv 23 %). Järjestelmän takaisinmaksuaika  $t$  on investointihinta jaettuna vuosisäästöllä eli

$$t_{2,0} = 13\,140 \text{ e} / 252,80 \text{ e/v} = 52 \text{ v ja}$$

$$t_{3,6} = 23\,140 \text{ e} / 455,04 \text{ e/v} = 51 \text{ v.}$$

### **Esimerkki 2. Rivitalokortteli**

#### **Teholaskelma**

Rivitalokorttelin käyttöveden hybridivaraajaksi on LVI-suunnittelija määritellyt 1000 l:n varaajan. Varaaja lämmittää käyttöveden aurinkovoimalla, talteenottopiipun savukaasun lämmön talteenotolla ja tarvittaessa sähkövastuksilla.

Kyseisen varaajan hankintapakettiin kuuluu 6 kpl keräimiä, joille valmistaja lupaa tuotoksi  $E_{Ik} = 384 \text{ kWh/m}^2/\text{v}$ . Yhden keräimen pinta-alaksi valmistaja ilmoittaa 2,37 m<sup>2</sup>. Kuuden keräimen pinta-alaksi  $A$  saadaan tällöin

$$A = 6 \times 2,37 \text{ m}^2 = 14,22 \text{ m}^2$$

Kuuden keräimen energian vuosituotoksi  $E_{6k}$  saadaan

$$E_{6k} = E_{Ik} \times A = 384 \text{ kWh/m}^2/\text{v} \times 14,22 \text{ m}^2 = 5460,75 \text{ kWh/v}$$

Järjestelmän pumppuyksikön pumppu on teholtaan 0,1 kW. Jos pumppu käy päivässä arviolta 6 h ja vuodessa 2190 h, se veisi energiaa  $E_p$  219 kWh/v.

Tällöin järjestelmän energian  $E_v$  vuosituotoksi saadaan

$$E_v = E_{6k} - E_p = 5460,75 \text{ kWh/v} - 219 \text{ kWh/v} = 5241,75 \text{ kWh/v}$$

## **Investointi**

Hybridivaraajapaketin hankintakustannuksiksi valmistaja ilmoittaa 7684 e (alv 23 %). Hybridivaraajapaketti sisältää varaajan, kuusi aurinkokeräintä ja asennustarvikkeet, ohjausyksikön ja pumppuyksikön.

Lisäksi investointikustannuksiin kuuluu asennustyö. Aikaa putkiasentajalta kului arviolta 3 työpäivää, yhteensä 24 h. Asentajan tuntipalkka on n. 60 e/h. Asennustyön hinnaksi voidaan arvioida 1440 e (alv 23 %). Sähköasentajalta kytkentätöihin meni aikaa n. 8 h. Sähköasentajan palkan ollessa n. 40 e/h, asennustyön hinnaksi saadaan 320 e (alv 23 %).

Kyseisen järjestelmän investointikustannukset ovat 9444 e (alv 23 %).

## **Energian tuotto-odotus**

Vattenfallin mukaan sähkölukitus rivitaloasutuksessa (tavallinen varustelutaso, 75 m<sup>2</sup>, 2hlö) on keskimäärin 2850 kWh/v. Esimerkin rivitalokorttelissa sähkön kulutus voisi olla n. 94 430 kWh/v.

Kuuden keräimen energian vuosituotto  $E_v$  on 5241,75 kWh/v. Järjestelmällä saisi katettua n. 6 % kohteen vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.

## Taloudellinen kannattavuus

Esimerkkinä olevan rivitalokorttelin aurinkokeräinjärjestelmä tuottaa energiaa n. 5460,48 kWh/v. Sähkön kokonaishinta on tällä hetkellä n. 12,64 snt/kwh (energiamarkkinavirasto.fi). Aurinkokeräinjärjestelmä säästää sähkölaskussa vuodessa  $12,64 \text{ snt/kWh} \times 5241,75 \text{ kWh/v} = 66255,72 \text{ snt/v} = 662,60 \text{ e/v}$ .

Esimerkkijärjestelmän investointihinta on 9444 e (alv 23 %). Järjestelmän takaisinmaksuaika  $t$  on investointihinta jaettuna vuosisäästöllä eli

$$t = 9444 \text{ e} / 662,60 \text{ e/v} = 14,3 \text{ v.}$$

Huoltokustannukset huomioitaessa takaisinmaksuaika hieman nousee.

Järjestelmässä on myös varalla sähkövastukset käyttöveden lämmitystä varten, jos aurinkokeräimien tuottama energia ei riitä. Sähkövastusten käyttö nostaa takaisinmaksuaikaa.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Aurinko- ja tuulivoimaloiden tehomitoitus on hyvin teoreettista, koska sähköntuotto perustuu luonnonilmiöihin. Vasta voimalan sähköntuoton seuraaminen tietyn ajanjakson ajan antaa oikean kuvan voimalan sähköntuotosta.

Tässä esitetyt laskelmien tulokset on saatu tietyillä laitteilla nettihintojen perusteella. Kilpailuttamalla järjestelmän, jonka aikoo hankkia, eri valmistajilla ja maahantuojilla investointikustannukset tulevat todennäköisesti edullisemmiksi.

Taulukko 6. Esimerkilaskelmien tulokset.

Esimerkki	Kiinteistö	Pienvoimalan tyyppi	Nimellisteho [kW]	Investointi [e]	Energian tuotto-odotus [kWh/V]	Takaisinmaksu- aika [v]
1.1	OK-talo	Tuulivoimala sisämaassa	4,0	18640	5196	28,3
1.2	OK-talo	Tuulivoimala rannikolla	4,0	18640	9996	14,7
2	OK-talo	Aurinkopaneelit	2,0 / 3,6	13140 / 23140	2000 / 3600	52 / 51
3	Rivitalokortteli	Aurinkokeräimet		9444	5200	14,3

Taulukossa 6 on esimerkilaskelmien tulokset. Taulukosta nähdään, että pientuulivoimalan rakentaminen sisämaahan on tällä hetkellä kannattavaa vain hyvissä tuuliolosuhteissa. Tuulennopeuden vuosikeskiarvon lähes tuplaantuessa takaisinmaksuaika lähes puolittuu. Ennen investointipäätöstä on siis tärkeää selvittää rakennuspaikan tuuliolosuhteet. Pientuulivoimalasta saatavaa hyötyä voi parantaa myös hankkimalla tuulivoimalalle mahdollisimman korkean maston. Rannikolle pientuulivoimalan rakentaminen on kannattavaa. Jos sähkönmarkkinahinnan oletetaan nousevan, on tuulivoimaan investoiminen tulevaisuudessa kannattavampaa kuin nyt.

Aurinkosähköjärjestelmien käyttö kiinteistöjen suoraan sähköntuottoon ei ole tällä hetkellä kannattavaa. Takaisinmaksuajat ovat huomattavan pitkiä, lähes 3,5 kertaiset vastaavan hintaiseen pientuulivoimalaan verrattuna. Aurinkosähköjärjestelmien investointikustannukset ovat suuria ja hyötysuhde pieni. Auringonsäteilyä ei myöskään ole saatavilla ympäri vuoden. Aurinkopaneelien käyttöä sähkön tuotantoon kiinteistöissä

voidaankin perustella lähinnä ekologisilla näkökohdilla.

Aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen kiinteistöön, jossa ei ole sähköliittymää ja johon sellaisen tuominen maksaisi huomattavan paljon, ts. kiinteistö sijaitsee kaukana lähimmästä liityntäpisteestä, on kannattavaa. Tällöin sähköliittymän hankintahinta voi nousta suureksi.

Finnwind Oy:n kotisivuilla todetaankin, että aurinkosähköjärjestelmällä tuotetun kilowattitunnin hinnan vertaaminen suoraan sähköyhtiön listahintaan tekee aurinkosähkölle vääryyttä. Esim. jos vaihtoehtoina ovat joko aurinkosähköjärjestelmä tai liittyminen valtakunnanverkkoon voi isokin aurinkojärjestelmä tulla ajan mittaan paljon edullisemmaksi. Tällöin jää sähköjen veto ja liittyminen sekä kuukausimaksut pois. Esimerkiksi 1 km maakaapelin veto ja liittyminen voi maksaa yli 10 000 euroa. (Finnwind.fi)

Laskelmien perusteella aurinkokeräimien käyttö lämmitys- tai käyttöveden lämmitykseen on kannattavaa. Aurinkokeräinjärjestelmän investointikustannuksiin nähden keräinjärjestelmästä saadaan enemmän sähköenergiaa kuin aurinkosähköjärjestelmästä.

Aurinko- ja tuulivoima ovat tulevaisuuden energialähteitä. Voimaloiden rakentaminen on kovassa kasvussa myös Suomessa. Tulevaisuudessa uusiutuvien energialähteiden käyttöä on pakko suosia uusiutumattomia energialähteitä enemmän. Aurinko- ja tuulivoimajärjestelmien investointihinnat todennäköisesti putoavat tuotekehityksen myötä.

Uuden uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta tulleen lain myötä tullut sähkötariffijärjestelmä koskee ainoastaan vähintään 500 kVA:n voimalaitoksia. Valtiolla tuskin on haluja lähteä tukemaan sitä pienempiä laitoksia tulevaisuudessakaan.

Pienvoimaloiden liittymisestä yleiseen sähköverkkoon on annettu hyvät ohjeet, mutta pienvoimaloiden yhä lisääntyessä sähköverkon mahdollisiin ongelmatilanteisiin täytyy kiinnittää jo suunnitteluvaiheessa huomiota. Sähköverkon suojauslaitteita tulisi kehittää vastaamaan tulevaisuuden tarpeita pientuotannon lisääntyessä.

## LÄHTEET

Sähkömarkkinalaki 386/1995.

Sähkömarkkina-asetus 65/2009.

Energiateollisuus ry, 2009. Verkostosuositus YA9:09. Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon.

Energiateollisuus ry, 2008. Muistio. Pientuotannon liittäminen verkkoon.

Lemström, 2005. Pienimuotoisen tuotannon verkkoon pääsyn edistäminen. VTT. Tutkimusraportti.

Pöyry Energy oy, 2006. Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon. Opas.

Siltanen Lauri, 2001. Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon. Sähköenergialiitto ry Sener. Julkaisusarja.

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry STEK 2010. Sähkön mikrotuotannon verkkoon liittäminen. Tiedote 12.4.2010.

[http://www.sahkoturva.info/ajankohtaista/2010/fi\\_FI/sahkon\\_mikrotuotannon\\_liittaminen/](http://www.sahkoturva.info/ajankohtaista/2010/fi_FI/sahkon_mikrotuotannon_liittaminen/)

Erat B., Erkkilä V., Nymann C., Peippo K., Peltola S., Suokivi H., 2008. Aurinko-Opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. porvoo: Painoyhtymä Oy.

Hallituksen esitys Eduskunnalle laiksi sähkömarkkinalain muuttamisesta, 2006. HE 181/2006.

<http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2006/20060181>

Suomen eduskunta. Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta, 2010. 30.12.2010/1396.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101396?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=uusiutuvilla%20energi%C3%A4hteill%C3%A4%20tuotetun%20s%C3%A4hk%C3%B6n%20tuotantotuesta>

Mäki Kari, 2004. Keskijänniteverkkoon liitetyn hajautetun tuotannon vaikutus oikosulkusuojaukseen. Tampereen teknillinen yliopisto.

Lehto Ina, 2009. Mikrotuotannon liittäminen yleiseen sähköjakeluverkkoon. Helsingin teknillinen korkeakoulu.

Motiva Oy, Aurinkoteknillinen yhdistys ry, 2009. Auringosta lämpöä ja sähköä. Opas.

Motiva Oy, 2010. Oma tuulienergiaa. Opas pientuulivoimalan hankkijalle.

Motiva Oy, 15.6.2010. Uutta tuulivoimaa rakennetaan Suomeen – Tuulivoimalat eivät häiritse paikallisia asukkaita. Tiedote 15.6.2010.

[http://www.motiva.fi/motivan\\_tiedotteet/2010/](http://www.motiva.fi/motivan_tiedotteet/2010/)

Motiva Oy, Suomen tuulivoimayhdistys ry, 2009. sivusto.  
<http://www.tuulivoimatieto.fi>.

Vantaan Energia Oy 26.11.2010. Sähköliittymien suunnitteluohje.

Energiateollisuus ry. Sivusto. Luettu 14.3.2011.  
<http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/tuulivoima>.

Tuulivoimala.com Finland Oy. Sivusto. Mökkisähköopas. Luettu 30.3.2011.  
<http://www.tuulivoimala.com/links/Mokkisahkoopas.pdf>.

Suomen Tulli. Verotus. Valmisteverotettavat tuotteet. Energia. Luettu 30.3.2011.  
<http://www.tulli.fi/fi/yrityksille/verotus/valmisteverotettavat/energia/index.jsp>.

Aurinkoenergia.fi T:mi. Aurinkoenergiasivusto. Perustettu 2007. Luettu 14.3.2011.  
<http://www.aurinkoenergia.fi>.

Sunvoima Oy. Sivusto. Luettu 5.4.2011.  
<http://www.sunvoima.fi>

Piiroinen Mikko, 2010. Maailman suurin aurinkovoimala avattiin Kanadaan. tekniikka ja talous –verkkolehti.  
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia>.

Finnwind Oy. Sivusto. Luettu 25.2.2011.  
<http://www.finnwind.fi>.

T:mi Nettimafia. Sivusto. Luettu 10.4.2011.  
<http://www.aurinkokennot.fi>.

Tilastokeskus. Sivusto. Luettu 25.2.2011.  
<http://www.stat.fi>.

Helsingin Sanomat. Pääkaupunkiseutu. Uutiset. Verkkolehti. 6.4.2011.  
[http://omakaupunki.hs.fi/paakaupunkiseutu/uutiset/siilitien\\_metroasemalle\\_aurinkopaneleja\\_2013/](http://omakaupunki.hs.fi/paakaupunkiseutu/uutiset/siilitien_metroasemalle_aurinkopaneleja_2013/).

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL. Suositus 13/2010: Mikrotuotanto  
<http://www.stul.fi/Default.aspx?id=24086#13>

TuuliWatti Oy. Sivusto. Luettu 10.4.2011.  
[www.tuuliwatti.fi](http://www.tuuliwatti.fi)

Seppänen Elina 24.3.2011. Eco<sub>2</sub> Ekotehokas Tampere 2020. Eco<sub>2</sub> Energiafoorumi. Pientuulivoimaa Tampereella. Powerpoint -esitys.  
[http://www.eco2.fi/uploads/esitykset/Sepp%C3%A4nen\\_Pientuulivoima%20Tampereella%20ECO2.pdf](http://www.eco2.fi/uploads/esitykset/Sepp%C3%A4nen_Pientuulivoima%20Tampereella%20ECO2.pdf)

Seppälä Jarmo 22.8.2009. Tekniikka ja talous –verkkolehti.. Energia. Ympäristö. Suomen suurin aurinkovoimala Kiillolle Lempäälään –kirjoitus.  
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article120428.ece>

Vuorenmaa Sisko 7.3.2011. Sähköala –verkkolehti. Omaa tuulienergiaa kannattavasti.  
[http://www.sahkoala.fi/koti/lehti/lammin\\_koti/fi\\_FI/omaa\\_tuulienergiaa/](http://www.sahkoala.fi/koti/lehti/lammin_koti/fi_FI/omaa_tuulienergiaa/)

Lavento Dakota 5.7.2010. Fonecta Oy. Kotitieto.fi -sivusto. Ekologista tuulisähköä mökillä –kirjoitus.