



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

AURINKOSÄHKÖENERGIAN HYÖDYNNET- TÄVYYS JÄÄHDYTYSKÄYTÖSSÄ

Jaakko Viljanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

VILJANEN, JAAKKO:

Aurinkosähköenergian hyödynnettävyys jäähdytyskäytössä

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Huhtikuu 2016

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli perehtyä aurinkosähköön ja sen hyödyntämiseen etenkin jäähdytyslaitteistossa. Kohteeseen suunniteltiin varastorakennuksen jäähdytysjärjestelmiä varten verkosta ostetulle sähkölle vaihtoehtoinen energialähde. Tavoitteena oli suunnitella riittävän suuri, mutta taloudellisesti kannattava järjestelmä, joka tuottaa kylmälaitteiden tarvitseman tehon kesäajalla ja jonka mahdollinen ylituotanto myydään verkkoon. Tavoitteena oli myöskin tuoda tietoa aurinkosähköstä niille, jotka miettivät aurinkosähkön mahdollisuuksia oman sähkölaskunsa pienentämiseksi. Työssä ilmenneitä ongelmia olivat kohteen tarkkojen kulutustietojen saaminen ja järjestelmän mitoitusperiaatteiden päättäminen.

Mitoituksen apuvälineinä käytettiin Euroopan komission sivuilta löytyvää PVGIS-ohjelmaa, jolla voitiin arvioida aurinkosähkölaitoksen tuottoa mm. maantieteellisen sijainnin ja ilmaston vaikutukset huomioon ottaen. Tutkimusvälineinä käytettiin myös Tampereen teknillisellä yliopistolla tehtyjä aurinkosähkömittauksia, joiden avulla saatiin tietoa olosuhteiltaan erilaisten päivien sähköntuotannoista eri vuodenaikoina. Mittaustuloksista piirrettiin kuvaajia, joista voitiin päätellä, minkälainen sää kyseisenä päivänä oli ja mikä oli paneelin tuottama tehon määrä. Tämän avulla tuloksia voitiin suoraan suhteuttaa suurempiin järjestelmiin.

Työn tuloksena todettiin, että noin 10 kW:n järjestelmä on riittävän suuri tuottamaan tarpeeksi tehoa kylmälaitteille eivätkä kustannukset nouse liian korkeiksi. Kun huomioon otettiin sähkön hinnannousu, hanke osoittautui myös taloudellisesti kannattavaksi. Suunnitellulla järjestelmällä yksi tuotettu watti maksoi 1,97 €, mikä olikin lähellä tämänhetkistä tilannetta aurinkosähköllä Suomessa.

Johtopäätöksenä todettiin, että aurinkosähkö on kannattava energianmuoto tällä hetkellä ja se tulee lisääntymään merkittävästi tulevina vuosina. Kohteissa, joissa energiaa tarvitaan myös kesäisin, aurinkosähkö on hyvä vaihtoehto jatkuvasti kallistuvalle sähkölle. Aurinkosähkön mahdollisia kehityssuuntia ovat akkujen kehittyminen. Tällä hetkellä akkukäyttöiset järjestelmät ovat hyvä ratkaisu kesämökkien sähköistämiseen, mutta suurempaan käyttöön ne eivät ole vielä kannattavia.

Asiasanat: aurinkosähkö, jäähdytyslaitteisto, energia, sähkö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical engineering
Electrical power engineering

VILJANEN, JAAKKO:
Utilization of Solar Power in Cooling Systems

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 12 pages
April 2016

The purpose of this thesis was to study solar energy and its utilization, especially in cooling systems as well as to design an alternative source of energy for a warehouse cooling systems. The goal was to design a system that is great enough, but also economically viable, which produces needed energy of the refrigeration equipment in summer time, and excess production is sold to the network. The aim was also to provide information about the solar electricity for those who are looking for a way to reduce electric bills with solar power.

The PVGIS program found on European Commission website, was used as a tool to design the solar power system. It was possible to estimate the production of the solar power system with the programme. It takes into account the effects of geographical location and climate. The research tools were included in the measurement data from a one watt panel, which was measured throughout the year in the Tampere University of Technology. The measurement results were plotted on graphs, from which could be concluded, what kind of weather on that day was and what the amount of power generated by the panel was. The results could be directly related to larger systems.

The results of this study showed that about 10 kW of the system is large enough to generate enough power for refrigeration appliances, and the costs are not too high. When the price of electricity was taken into account, the project also proved to be an economically viable. One produced watt cost 1,97 €, which was close to the current state of solar power systems in Finland.

It was concluded that solar power is a viable form of energy at the moment and will increase significantly in the coming years. In applications where the energy is needed, even in summer, solar power is a good option for continuously raising electricity costs. Possible developments in solar electricity are the development of batteries. At the moment battery-powered systems are a good solution for the electrification of summer cottages, but for greater use they are not yet profitable.

Key words: solar power, energy, power, cooling systems

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AURINKOSÄHKÖ.....	8
2.1	Teoria.....	8
2.2	Paneelit.....	11
2.3	Aurinkopaneelijärjestelmien hinta.....	12
2.4	Markkinoilla olevat aurinkosähköjärjestelmät.....	12
3	AURINKOSÄHKÖVOIMALAN SUUNNITTELU.....	14
3.1	Laitteiston mitoittaminen.....	15
3.2	Verkkoon kytketty järjestelmä.....	16
3.2.1	Aurinkopaneelit.....	17
3.2.2	Invertteri.....	18
3.2.3	Hankintahinta.....	18
3.3	15000 €:n järjestelmä.....	19
3.3.1	Aurinkopaneelit.....	19
3.3.2	Hankintahinta.....	20
3.4	Paneelien asennuskulma ja ennuste tuotannolle.....	20
3.5	Säästä riippuva ennuste tuotannolle.....	23
4	HANKKEEN KANNATTAVUUS.....	29
4.1	Annuiteettimenetelmä.....	29
4.2	Energian tuotanto.....	30
4.3	Sähkön hinnan kehitys.....	30
4.4	Takaisinmaksuaika.....	31
5	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN VALINTA.....	33
6	VERKKOON KYTKEYTYMINEN.....	34
7	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET.....	37
	Liite 1. Finnwindin E-sarjan aurinkovoimalat 1(2).....	37
	Liite 2. SW Energia Oy:n invertterit.....	39
	Liite 3. Finnwind asennustelineet.....	40
	Liite 4. TVPE11 (Energiateollisuus) 1(3).....	41
	Liite 5. Tekninen liite 1 – Enintään 50 kVA (Energiateollisuus) 1(4).....	44
	Liite 6. Yleistietolomake verkonhaltijoiden käyttöön (Energiateollisuus) 1(2).....	48

LYHENTEET JA TERMIT

<i>A</i>	ampeeri (virran yksikkö)
<i>E</i>	energia
<i>I</i>	virta
Invertteri	muuttaa vaihtosähkön tasasähköksi ja päinvastoin
kWh	kilowattitunti (energian yksikkö)
<i>P</i>	teho
<i>R</i>	resistanssi
<i>t</i>	aika
<i>U</i>	jännite
<i>V</i>	voltti (jännitteen yksikkö)
<i>W</i>	watti (tehon yksikkö)
W_p	huippuwatti (aurinkopaneelin tehon yksikkö)
Ω	ohmi (resistanssin yksikkö)

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin aurinkosähköön ja sen hyödyntämismahdollisuuksiin omakotitaloissa ja maataloissa. Työhön sisältyi aurinkosähkövoimalan suunnittelu erääseen maatalaan Forssan seudulla. Aurinkosähköpaneelit tulisivat korkean hallirakennuksen katolle. Tarkoituksena oli suunnitella järjestelmä, joka tuottaisi kesäajalla hallin jäähdytyslaitteiston tarvitseman sähkön ja mahdollinen ylituotanto myytäisiin verkkoon.

Aurinkopaneelien hinta on laskenut rajusti Kiinan massatuotannon myötä. Tämä tarkoittaa, että aurinkosähkö tulee Suomessakin lisääntymään, kun samaan aikaan sähkön hinta nousee. Järjestelmät eivät ole monimutkaisia ja toteuttaminen on melko yksinkertaista. Paneeleita voidaan käyttää tuottamaan sähköä yksittäiseen kohteeseen tai kokonaisen kesämökin syöttämiseen tai muuten vain pienentämään talouden sähkölaskua. Aurinkosähkön ongelmina ovat tuotannon riippuvuus vuodenajasta ja sääolosuhteista. Kesällä sähkön kulutus on pienimmillään ja talvella suurimmillaan.

Hyvin toimivan aurinkosähkölaitoksen pystyy rakentamaan melko pienellä investoinnilla, varsinkin jos sitä verrataan pientuulivoimalaan. Pientuulivoimalat maksavat harvoin itsensä takaisin, kun taas hyvin suunnitellut aurinkovoimalat voivat maksaa itsensä takaisin noin kahdessakymmenessä vuodessa, jonka jälkeen niiden oletetaan tuottavan voittoa lopun elinkaarensa ajan. Tuulivoiman etu on siinä, että sillä voidaan tuottaa energiaa myös talvella. Tästä syystä järjestelmät, joissa on sekä aurinkosähkö- että tuulivoimala, ovat toimiva yhdistelmä ympärivuotiseksi energialähteeksi.

Tämän työn kohteessa pohdittiin aluksi myös tuulivoimaa vaihtoehtona, mutta esiselvityksissä todettiin, ettei se ole ollenkaan kannattavaa ympäristön olosuhteista johtuen. Tuulivoimalle oli ajateltu kahta eri paikkaa. Ensimmäinen oli korkean ja metsäisen mäen huipulla, jonne oli kulutuspaikalta pitkä matka. Voimalan kaapeleiden rakentamisen kustannukset kasvoivat etäisyyden takia liian suuriksi suunnitellun pientuulivoimalan kokoon nähden. Isommalla investoinnilla tämä vaihtoehto olisi voinut olla kannattava. Vaihtoehtoinen sijoituspaikka olisi ollut hallirakennuksen vieressä olevan pienen varatorakennuksen katon päällä. Rakennuksen ympärillä on kuitenkin paljon korkeaa metsää ja pientuulivoimala aiheuttaisi pienen tapaturman riskin maatalan työntekijöille, koska

työskentelytilat ovat aivan rakennuksen vieressä. Tätä sijoituspaikkaa suunniteltaessa todettiin, että kohteessa olisi paremmat olosuhteet aurinkosähkölle kuin tuulivoimalle, joten tuulivoimasta päätettiin luopua.

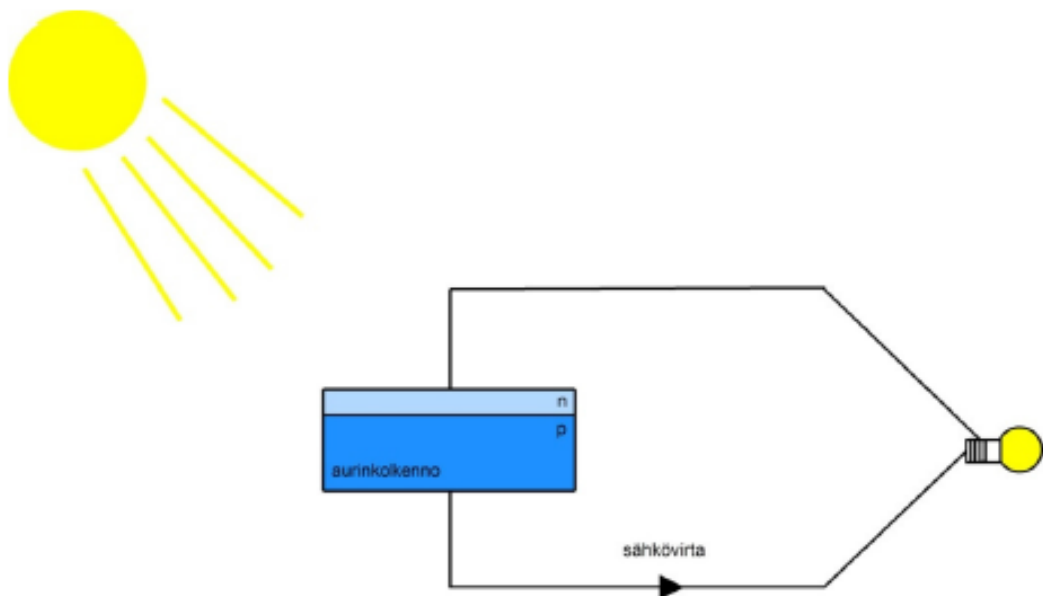
2 AURINKOSÄHKÖ

Tässä työssä ei keskitytty aurinkosähkön toimintaan ja tekniikkaan vaan lähinnä sen käytön mahdollisuuksiin ja tulevaisuuden näkymiin Suomessa. Lisäksi selvitetään, olisiko aurinkovoimasta hyötyä eräälle maatilalle Kanta-Hämeessä. Seuraavassa luvussa on selitetty aurinkosähkön toimintaperiaate yksinkertaistettuna.

2.1 Teoria

Aurinkosähkössä on pohjimmiltaan kyse valosähköisestä ilmiöstä, joka on sähkömagneettisen säteilyn ja sähkövarausten vuorovaikutusta. Säteilyn tuottama energia voidaan muuttaa kennojen rakenteen avulla sähkövirraksi ja jännitteeksi. Yksinkertaisesti selitettynä aurinkosähkössä on kyse kennoon osuvien hiukkasten ja kennon elektronien vuorovaikutuksesta. Elektronit saavat riittävästi energiaa irrotakseen atomirakenteesta ja synnyttävät siten sähkövirran johtimiin. Kuvassa 1 on esitetty aurinkovoiman toimintaperiaate. Mitä enemmän on kennoja, sitä suurempi virta ja jännite saadaan aikaiseksi. Pienemmissä järjestelmissä jännitteenä käytetään 12 volttia ja hieman suuremmissa järjestelmissä 24 volttia. Haluttu jännite saadaan kytkemällä kennoja sarjaan tai rinnan.

(A. Korpela)



Kuva 1. Aurinkosähkön toimintaperiaatekuva (A. Korpela)

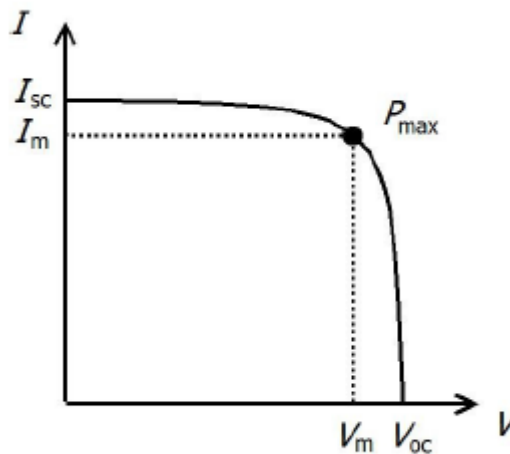
Aurinkokennojen hyötysuhde voidaan laskea kennolla saatavan sähkötehon ja kennolle tulevan auringon säteilytehon avulla kaavalla

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \cdot A} = \frac{f \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{G \cdot A} \quad (1),$$

jossa P_{max} on kennon tuottama maksimaalinen teho, G on säteilyn määrä neliometriä kohden, A on kennon pinta-ala, f on täyterroin, V_{oc} on tyhjäkäyntijännite ja I_{sc} on oikosulkuvirta. Aurinkokennon ulkomittojen avulla lasketusta pinta-alasta noin 90 % voidaan olettaa olevan kennojen osuus kokonaispinta-alasta.

(A. Korpela)

Laskennassa säteilyn intensiteetin arvona käytetään 1000 W/m^2 , mikä on määritelty säteilyn intensiteetin arvoksi standardimittausolosuhteissa. Kuvassa 2 on esitettyä kennon oleellinen jännite-virta-käyrä, jonka avulla voidaan määrittellä kennon suurin mahdollinen sähkötehon arvo, joka tietyissä olosuhteissa voidaan saavuttaa.



Kuva 2. Aurinkokennon virta-jännite-käyrä (A. Korpela)

Jos tiedetään laitteen nimellisteho ja laitteen oletetaan toimivan koko ajan nimellistehollaan, kohteen kulutus eli tarvittava energia voidaan laskea kaavalla

$$E = P_k \cdot t \quad (2),$$

jossa P_k on laitteen teho kilowateissa ja t on aika tunneissa.

Nykyään kulutustietoja voi saada suoraan verkkoyhtiöltä. Kohteen verkkoyhtiönä toimii Elenia ja heidän verkkopalvelustaan näkee sähkönkulutuksen jopa tunnin tarkkuudella. Luvussa kolme on esitetty tämän työn kohdetta tarkemmin. Elenialta saataviin tietoihin ei ole kuitenkaan eritelty hallirakennuksen sähkönkulutusta, mitä varten aurinkosähköpaneelit suunnitellaan. Hallirakennuksen kylmäkoneen kulutus on kuitenkin helposti luettavissa kuvaajien piikeistä, koska kulutus on silloin niin suuri muuhun kulutukseen verrattuna.

Jos kulutus tiedetään kuukauden tarkkuudella, voidaan kuukausittaisesta kulutuksesta laskea yhden päivän kulutus. Päiväsajaksi voidaan laskea klo 8.00–20.00 välinen aika eli 12 tuntia. Oletetaan, että 70 % kulutuksesta tapahtuu tähän aikaan. Kohteen keskimääräinen kulutus huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana kuukaudessa on 2700 kWh, josta saadaan päiväajan kulutukseksi 63 kWh.

Tehoelektroniikan häviöt ovat kokonaisuudessaan noin 10 %, kun otetaan huomioon laitteiston ikääntyminen. Häviöt huomioon ottaen aurinkopaneelien nimellisteho lasketaan kaavalla

$$P_{Np} = \frac{E}{\frac{100-h_t}{100} \left(1 - \frac{2}{245} \cdot t\right) \cdot t_h} \quad (3),$$

jossa h_t on tehoelektroniikan tehohäviöt prosentteina, t on pitoaika vuosina ja t_h on huipunkäyttöaika.

Kaavalla

$$E = P_{Np} \cdot \frac{100-h_t}{100} \cdot \left(1 - \frac{2}{245} \cdot t\right) \cdot t_h \quad (4),$$

jossa kertoimena t_h käytetään Suomen kesää vastaavaa 6,48 h arvoa, voidaan laskea energia, jonka paneeli voi enintään Etelä-Suomessa tuottaa vuorokauden aikana.

Akkukäyttöisessä järjestelmässä myös akut aiheuttavat häviöitä. Tällöin paneelien nimellisteho lasketaan kaavalla

$$P_{Np} = \frac{E}{\frac{100-(h_t+h_a)}{100} \left(1 - \frac{2}{245} \cdot t\right) \cdot t_h} \quad (5),$$

, jossa h_a ovat akussa tapahtuvat häviöt prosentteina.

Akun aiheuttamat häviöt lasketaan kaavalla

$$h_a = 100 - \left(1 - \frac{R_s \cdot I^2}{R_s \cdot I^2 + P_k}\right)^2 \cdot 100 \quad (6),$$

jossa R_s on akun sisäinen resistanssi. Laadukkaissa akuissa sisäinen resistanssi on noin 3 mΩ. Laskennassa on hyvä käyttää resistanssin kaksinkertaista arvoa akuston ikääntymisen huomioon ottamiseksi.

Virran I määrittämiseen tarvitaan kaavaa

$$R_s \cdot I^2 - U \cdot I + P_k = 0 \quad (7),$$

jossa U on jännite.

2.2 Paneelit

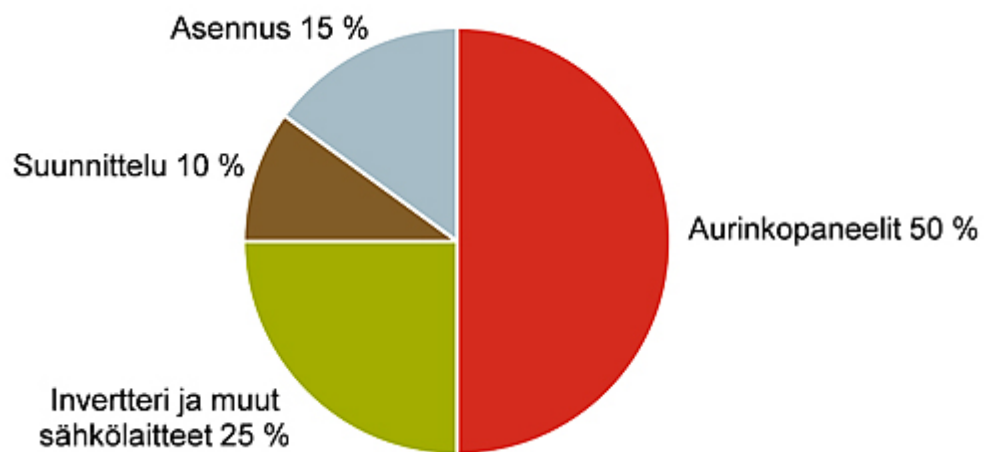
Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan huippuwatteina (W_p). Huippuwatti tarkoittaa paneelin tuottamaa tehoa standardiolosuhteissa, joissa säteily määrä on 1000 W/m² ja lämpötila on 25 °C. Tuhannen piikkiwatin eli 1 kW_p järjestelmä vaatii noin 6–8 m² suuruisen pinta-alan. Etelä-Suomessa 1 kW_p:n järjestelmä tuottaa vuodessa noin 800–1000 kWh. Paneelien tekninen elinikä on noin 30 vuotta ja niille annetaan joskus jopa 25 vuoden tehontuottotakuu, joiden ehdot vaihtelevat. Takuulla luvataan, että paneelit voivat tuottaa sähköä ensimmäiset kymmenen vuotta teholla, joka on vähintään 90 % valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta. Kymmenen vuoden jälkeen seuraavat 25 vuotta paneelin luvataan pystyvän tuottamaan 80 % teholla ilmoitetusta nimellistehostaan sähkötehoa. Muiden aurinkosähköjärjestelmän komponenttien elinikänä voidaan pitää puolet kennojen eliniästä.

(Motiva)

2.3 Aurinkopaneelijärjestelmien hinta

Aurinkopaneelien hinta on romahtanut merkittävästi 2010-luvulla, mikä on tehnyt aurinkoenergiasta halvempaa ja siten kannattavaa. Maailmanlaajuisesti hinnat ovat pudonneet jopa 80 %. Suomessa hinnat ovat keskimääräistä suurempia. Yksityiselle henkilölle aurinkovoimala maksoi vuonna 2013 arvolisäveroineen 1,8–4,0 €/W_p. Hintaan vaikuttaa järjestelmän koko, toimittaja ja toimitustapa. Noin puolet järjestelmän hinnasta koostuu paneeleista. Tyypillinen järjestelmä Suomessa on 2 kW_p:n, mikä maksaa kuluttajalle 5000–6000 € ja joka tuottaa vuodessa 1400–2000 kWh sähköä. Kuvassa 3 on esitetty, miten kustannukset jakautuvat pientalokokoluokassa.

(Motiva)



Kuva 3. Aurinkosähköjärjestelmien kustannuksen jakautuminen pientalokokoluokassa. (Motiva)

2.4 Markkinoilla olevat aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmiä on tarjolla kahdenlaisia: suoraan verkkoon kytkettyjä järjestelmiä ja akkukäyttöisiä järjestelmiä. Järjestelmiä myydään usein avaimet käteen –periaatteella. Tarjoajalle voi lähettää tarjouksen järjestelmän ostamisesta asennuksineen, ilman asennusta hinnat on usein määritelty. Verkkoon kytketyn 10 kW_p:n valmiin järjestelmän hinta on Finnwindillä 15130 €. Paneelit ovat 1*1,7 m kokoisia ja kokonaispinta-ala 68 neliötä. Paneelien takuu on kymmenen vuotta materiaali- ja valmistusvirheille ja tehontuottotakuudeksi annetaan 25 vuotta. Verkkoinverterin takuu on viisi vuotta ja asennusjärjestelmän takuu kymmenen vuotta. Paketin toimitusajaksi ilmoitetaan 1–2 viikkoa. Liitteessä 1 on esite Finnwindin tarjoamasta E-sarjan aurinkosähköjärjestelmistä. Järjestelmiä löytyy kyseisestä sarjasta 2,6 kW:n ja 10,4 kW:n väliltä. Lisäksi valikoimasta löytyy

yksivaiheinen 1,3 kW:n järjestelmä. Akkukäyttöisiä järjestelmiä on tarjolla monenlaisia. Pienen mökin sähköistykseen akkukäyttöinen järjestelmä on toimiva, mutta mitä suurempi tehon tarve on, sitä kannattomampi akullinen järjestelmä on. Akut ovat kalliita eivätkä kestä pitkään. Paneelien 30 vuoden pitoajan aikana akut tulee todennäköisesti vaihtaa useita kertoja. Finnwindin valikoimasta löytyy tehoiltaan 0,26 kW:n ja 3,0 kW:n väliltä eri käyttöön soveltuvia paketteja vapaa-ajan asuntoihin.

(Finnwind)

3 AURINKOSÄHKÖVOIMALAN SUUNNITTELU

Kohteeksi valikoituneella maatilalla on useita piharakennuksia. Kuvassa 4 on ylhäältä otettu kuva piha-alueesta. Aurinkopaneeleille paras paikka on oikeassa reunassa näkyvän hallirakennuksen katto. Kattoa kohti paistaa lähes koko päivän aurinko eikä auringonvalon tiellä ole esteitä muutamaa puuta lukuun ottamatta, jotka voidaan kaataa tarvittaessa pois. Myös keskellä näkyvän omakotitalon katolle paneeleita olisi mahdollista sijoittaa. Pihassa on kuitenkin isoja mäntyjä, jotka muodostavat varjon kattoon asti. Mäntyjä ei kuitenkaan haluta kaataa.



Kuva 4. Ilmakuva (Maanmittauslaitos)

Hallirakennuksen alakerta toimii kellarina ja pakkaamona ja yläkerta toimii hallina ja varastona. Kesällä rakennus tarvitsee jäähdytystä ja talvella lämmitystä, minkä takia sähkönkulutus on ympärivuotista ja aurinkosähkö siten kannattavaa. Kuvassa 5 on etelästä otettu kuva hallirakennuksesta.



Kuva 5. Hallirakennus etelästä kuvattuna

Hallirakennuksen pituus on noin 23 m ja leveys 11 m. Eteläpuoleisen katon puoliskon pinta-ala on siten 127 m^2 . Katolle mahtuisi esimerkiksi Finnwindin 10 kWp:n aurinkopaneelijärjestelmä, joka vie tilaa 68 m^2 . Tilaa jäisi silti vielä runsaasti laajennukseen, jos tehoa tarvitaan tulevaisuudessa lisää. Alle 50 kVA:n tuotantolaitoksia sanotaan mikro-tuotantolaitoksiksi. Tätä suuremmilla tuotantolaitoksilla on isommat vaatimukset. Tässä työssä tarkoitus on tuottaa sähköä kulutuskohteeseen ja sähkönsiirto verkkoon on vähäistä, joten mikro-tuotantolaitoksen rajoilla pysyminen on suotavaa.

3.1 Laitteiston mitoittaminen

Ensiksi täytyi pohtia, minkälainen järjestelmä sopii kohteeseen. Voidaan valita akkukäyttöinen järjestelmä tai suoraan verkkoon kytketty järjestelmä. Verkkoon kytketyssä järjestelmässä komponentit mitoitetaan päiväajan kulutuksen mukaan, koska yöllä sähkön tuotanto on nollissa. Mitoitus tehdään pohjakuorman mukaan eli pienimmän kulutuksen mukaan, jotta ylituotantoa ei syntyisi ja kaikki tuotettu sähkö voidaan käyttää. Tällä tavalla minimoidaan myös investointikustannuksia. Toinen vaihtoehto on varmistaa, että järjestelmä tuottaa vaaditun tehon jo keväällä, milloin sähköä kuluu runsaammin kuin kesällä. Tämä tarkoittaisi sitä, että kesäaikaan järjestelmä tuottaisi enemmän kuin mitä kulutus on ja sähkön ylituotanto myytäisiin verkkoon. Sopimus verkkoyhtiön kanssa on oleellinen seikka tässä tilanteessa. Kolmas vaihtoehto on akkukäyttöinen järjestelmä, joka

sopii tilanteisiin, jossa energia halutaan käyttää vasta illalla tai yöllä. Akut ladataan päivällä täyteen ja puretaan yöllä. Tällä tavalla kaikki energia saadaan käytettyä, mutta järjestelmän hankintahinta ja huoltokustannukset lisääntyvät.

Tässä kohteessa kulutus riippuu suuresti kylmäkoneesta, joka käydessään kuluttaa tunnissa 5–10 kWh. Kylmäkonetta käytetään lähes päivittäin noin 6–8 tuntia yhtäjaksoisesti. Laitetta pidetään päällä yöaikaan, koska sähkönsiirto on yöaikaan edullisempaa.

Laitteiston mitoittamiseen valittiin useampi näkökulma. Yksi on suoraan verkkoon kytketty järjestelmä, mikä tuottaa jo huhtikuussa suurimman osan kylmlaitteiden tarvitsemasta energiasta. Toinen on suoraan verkkoon kytketty järjestelmä, jonka rajoituksena on sen hinta, eli paras mahdollinen järjestelmä, jonka hinta on enintään 15000 €. Kolmas vaihtoehto eli akkukäyttöinen järjestelmä hylättiin jo alkuvaiheessa sen kannattamattomuuden vuoksi. Akullinen järjestelmä ei sovellu juuri tähän kohteeseen, koska kylmlaitteet kuluttavat niin paljon sähköä, etteivät akut ole järkevä ratkaisu. Mutta jos järjestelmällä halutaan tuottaa kaikki muu sähkö, niin akkukäyttöinen ratkaisu voi olla toimiva vaihtoehto.

Tässä työssä vertaillaan molempien vaihtoehtojen kannattavuutta. Aurinkovoimalan suunnittelu aloitetaan valitsemalla aurinkopaneelien koko, jolla on suuri merkitys voimalan hintaan ja sähköntuotantoon. Paneelien perusteella valitaan muut tarvittavat komponentit. Aurinkosähköjärjestelmiä myydään valmiina paketteina, joten tässä tapauksessa muita komponentteja ei tarvinnut mitoittaa.

3.2 Verkkoon kytketty järjestelmä

Aurinkopaneelit täytyy olla tarkkaan mitoitettu suoraan verkkoon kytketyssä järjestelmässä, koska paneeleilla tuotettu sähkö täytyy käyttää päiväsaikaan. Jos tarvittavaa sähköä ei saada tuotettua paneeleilla, puuttuva sähkö otetaan verkosta päiväsaajan siirtohinnan mukaan, jolloin paneelien tuottama säästö menetetään. Ylimääräinen sähkö myydään verkkoon. Mitoituksen lähtökohtana on siis huhtikuu, jolloin kulutusta on normaalisti, mutta aurinkosähkön tuotanto vähäistä kesäaikaan verrattuna. Huhtikuussa kylmäkoneen kulutus on keskimäärin noin 56 kWh päivän aikana.

3.2.1 Aurinkopaneelit

Kaavalla 3 paneelien nimellistehoksi saadaan 9,8 kWp 30 vuoden pitoajalle. Järjestelmäksi sopii esimerkiksi Finnwindin E10.4 järjestelmä, jonka nimellisteho on 10,4 kWp. Liiteessä 1 on Finnwindin esite kaikista E-sarjan aurinkosähköjärjestelmistä. Kuvassa 6 on esite valitun järjestelmän sisällöstä.



Toimitussisältö

- paneeliteho 10 000 Wp
- verkkoinvertteri 10 kW (3-vaihe)
- asennusjärjestelmä katemateriaalin mukaan
- aurinkokaapelit 2 * 30 m (DC) ja liittimet, turvakytin
- EN50438 standardin edellyttämät varoitusmerkinnät; Suomi, Ruotsi
- aurinkopaneelien asennusohjeet, sähkötyöohjeet

Tuotteen saa haluttaessa avaimet käteen asennettuna.

Kuva 6. E10.4 järjestelmän sisältö (Finnwind)

Finnwind ilmoittaa 10,4 kWp:n järjestelmän tuottavan parhaimmillaan 78 kWp vuorokaudessa. Tähän päästään, jos paneelit ovat asennettu lähemmäksi vaakatasoa, kuin koko vuoden tuotantoa ajatellen optimaaliseen 42–43 asteen kulmaan. Optimaalisessa asennossa paneelien vuosituotanto on parempi, koska paneelit tuottavat myös keväällä ja syksyllä paremmin sähköä.

Kaavalla 4 10,4 kWp:n järjestelmän maksimi energian tuotannoksi saatiin 60,7 kWh. Kaavassa yhden päivän tuotannon kerroin vastaa todennäköisemmin oikeaa tuottoa, kuin Finnwindin laskemassa tehon tuotannossa.

3.2.2 Invertteri

Invertterin tulee sopia verkkoon kytkettyyn järjestelmään. Akkukäyttöisissä järjestelmissä käytetään erilaisia inverttereitä, kuin suoraan verkkoon kytketyissä voimaloissa. Invertterin tulee olla myös tarpeeksi tehokas, jotta tarvittavan tehon siirto onnistuu käytettävään kohteeseen. Valinta tehdään kennoista saatavan jännitteen ja tarvittavan jännitteen perusteella. Finnwindin valittuun pakettiin kuuluu automaattisesti kolmivaiheinen 10 kW:n invertteri, joka muuntaa sähkön 230 V vaihejännitteeksi 50 Hz taajuudelle, mikä vastaa kohteen tarvitsemaa jännitettä. Invertteristä on lisäksi mahdollista tarkastella tietoja muistitikun avulla.

(Finnwind)

Liitteessä 2 on SW Energia Oy:n verkkokaupasta lista heidän tarjoamistaan inverttereistä. Yli 23 kW järjestelmiin inverttereitä on saatavilla esimerkiksi Solartukku Oy:ltä.

3.2.3 Hankintahinta

Valittu Finnwindin 10,4 kWp:n järjestelmän arvonlisäveroton hinta on 12000 €. Avaimet käteen asennettuna hintaan tulee lisää noin 4500 €. 30 vuoden aikana invertteri pitää ainakin kerran uusia, josta aiheutuu kuluja noin 4000 €. Kun kaikki summataan yhteen, hankkeen kokonaiskustannukseksi saadaan 20500 € eli 1,97 €/W.

(Finnwind)

Taulukko 1. 10,4 kWp:n järjestelmän kustannukset (2015)

	Kustannukset
Järjestelmä	12000
Asennus	4500
Invertteri	4000
Yhteensä	20500

3.3 15000 €:n järjestelmä

Tässä vaihtoehdossa pyrittiin suunnittelemaan paras mahdollinen aurinkosähköjärjestelmä, jonka kokonaiskustannukset pitoajalta ovat enintään 15 000 euroa. Tavoite oli edelleen tuottaa kylmäkoneen tarvitsema sähkö paneeleilla, mutta vain parhaimpina kuu-kausina eli kesä- heinä- ja elokuussa. Tuotettu sähkö haluttiin käyttää itse eikä myydä mahdollista ylituotantoa verkkoon.

3.3.1 Aurinkopaneelit

Suurin mahdollinen Finnwindin tarjoama järjestelmä, joka summalla on mahdollista saada, oli 7,28 kWp:n verkkoon kytketty järjestelmä. Järjestelmän sisältö on kuvassa 7.



Toimitussisältö

- paneeliteho 7000 Wp
- verkkoinverterri 7 kW (3-vaihe)
- asennusjärjestelmä katemateriaalin mukaan
- aurinkokaapelit 2 * 30 m (DC) ja liittimet, turvakytkin
- EN50438 standardin edellyttämät varoitusmerkinnät; Suomi, Ruotsi
- aurinkopaneelien asennusohjeet, sähkötyöohjeet

Tuotteen saa haluttaessa avaimet käteen asennettuna.

Kuva 7. E7.3 järjestelmä sisältö (Finnwind)

3.3.2 Hankintahinta

Tämän kokoluokan järjestelmän kokonaiskustannukseksi saadaan 15 000 € eli 2,06 €/W. Kustannukset on esitetty taulukossa 2. Mitä pienempi järjestelmä on, sitä enemmän yksi tuotettu watti maksaa. Sen vuoksi isot järjestelmät ovat kannattavampia kuin pienet.

Taulukko 2. 7,28 kWp:n verkkoon kytketyn järjestelmän kokonaiskustannukset pitoajalle (2015)

7,3 kWp verkkoon kytketty järjestelmä	Kustannukset (€)
Järjestelmä	8600
Asennus	3500
Invertterin vaihto	2900
Yhteensä	15000

3.4 Paneelien asennuskulma ja ennuste tuotannolle

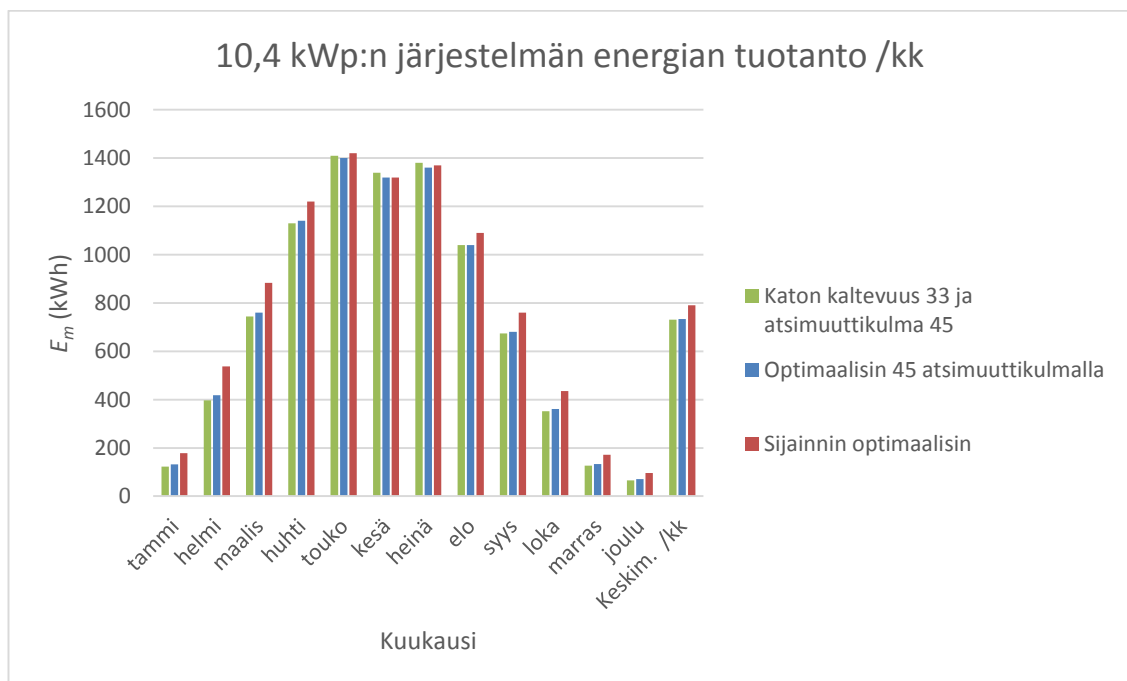
Suomessa aurinkosähkön suurin ongelma on olosuhteet. Kesällä aurinko paistaa pitkään ja korkealta. Talvella aurinko ei paista lähes lainkaan ja keväisin ja syksyisin aurinko paistaa hyvin matalalta. Olosuhteiden aiheuttamia häviöitä voidaan vähentää asentamalla paneelit oikeaan kulmaan aurinkoon nähden. Finnwindin esite säädettävistä asennusteli-neistä on liitteessä 3. Kallistuskulma mitataan vaakatasolta. Mitä pienempi kallistus-kulma, sitä parempi tuotannonhuippu on keskikesällä. Vuosituotannon kannalta optimaai-linen paneelien kallistuskulma on Etelä-Suomessa 42°. Kallistuskulma vaikuttaa myös paneelien jäähtymiseen. Ilma virtaa paremmin, kun katon ja paneelien välillä on enem-män tilaa. Hyvä jäähtytys näkyy kasvavana hyötysuhteena, sillä lämpötilan nousu pie-nentää hieman paneelin jännitettä ja samalla tehoa.

Internetissä on vapaasti käytettävä ohjelma PVGIS, jolla voidaan tarkastella paneelin energian tuottoa koordinaattien perusteella. Kyseessä on EU:n rahoittaman tutkimus-hankkeen tuloksena syntynyt järjestelmä. Ohjelma kuuluu ns. SOLAREC -toimintaan, jolla pyritään edistämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä Euroopan alueella. Ohjel-maan syötetään paneelin nimellisteho, kennotyyppi, arvio tehohäviöistä, kallistuskulma sekä voimalan maantieteellinen sijainti. Näiden tietojen lisäksi ohjelma ottaa huomioon tilastoidut tiedot lämpötiloista ja auringon säteilyn intensiteeteistä.

Syötetään ohjelmaan jokaisen järjestelmän koko, kennotyyppinä käytetään piikkenoa, ra-kennuksen atsimuuttikulma 45°, kallistuskulmaksi 33° ja häviöiksi 10 %. Kuvassa 8 on

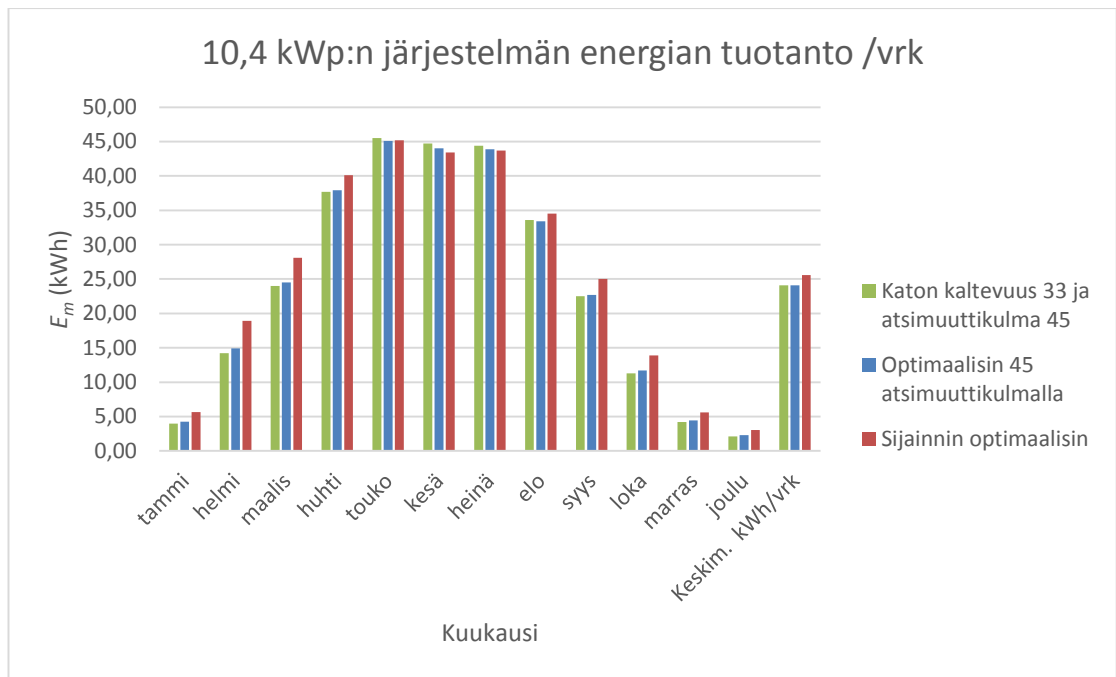
esitetty tulokset 10,4 kWp:n järjestelmän kuukausittaisille tuotannolle asetetuilla arvoilla ja kuvassa 9 on vuorokauden keskimääräinen tuotanto eri kuukausina. Vertailun vuoksi kuvaajiin on lisätty arvot eri kallistuskulmilla ja atsimuuttikulmilla. Optimaalisin tilanne kyseisellä paikalla on -1° atsimuuttikulma ja 42° kallistuskulma. Muiden järjestelmien ennusteet ovat kuvissa 10–11.

Loiville katoille voidaan tarvittaessa lisätä kallistusta asennustelineillä, jotka jyrkentävät kallistuskulmaa. Kulman jyrkentäminen vaikuttaa muullakin tavoin energian tuotantoon, kuin vain kohdistuminen paremmin aurinkoon nähden. Jyrkemmässä kulmassa lumi putoaa tehokkaammin ja jäähtytys on tehokkaampi, kun ilma pääsee kiertämään paneelin ja katon välissä.



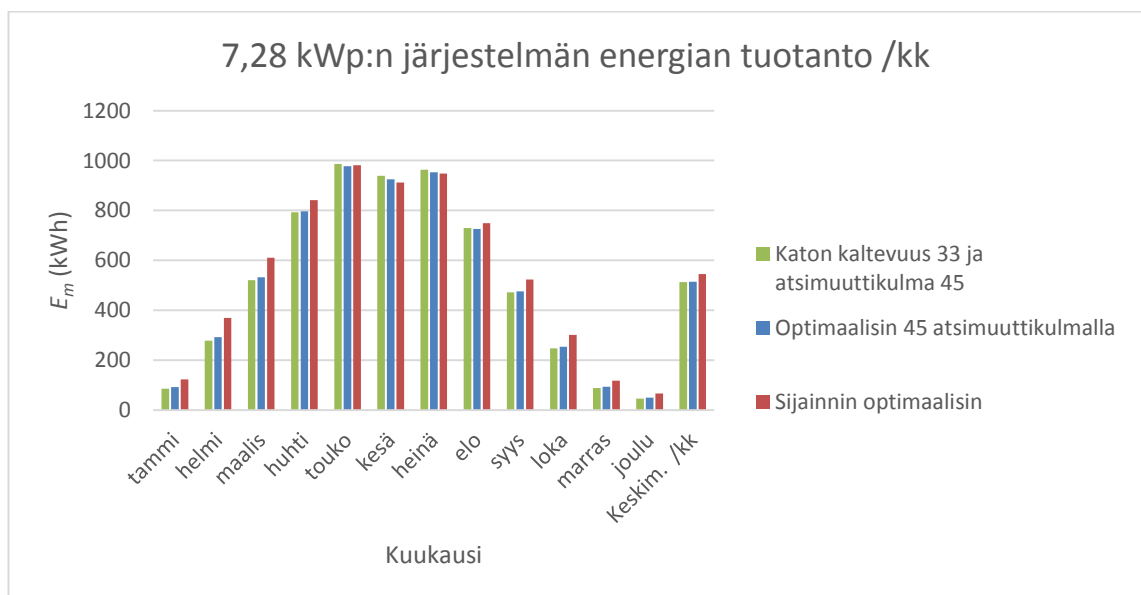
Kuva 8. 10,4 kWp:n järjestelmän kuukausittainen energian tuotanto (PVGIS 2015)

Kuvassa 9 on esitetty keskimääräinen vuorokauden tuotanto vuoden jokaiselta kuukaudelta. Kesäaikana järjestelmä tuottaa keskimäärin 40–45 kWh päivän aikana, huhtikuusakin tuotanto on keskimäärin yli 35 kWh, mikä on yli puolet jäähtytysjärjestelmän kuluksesta.

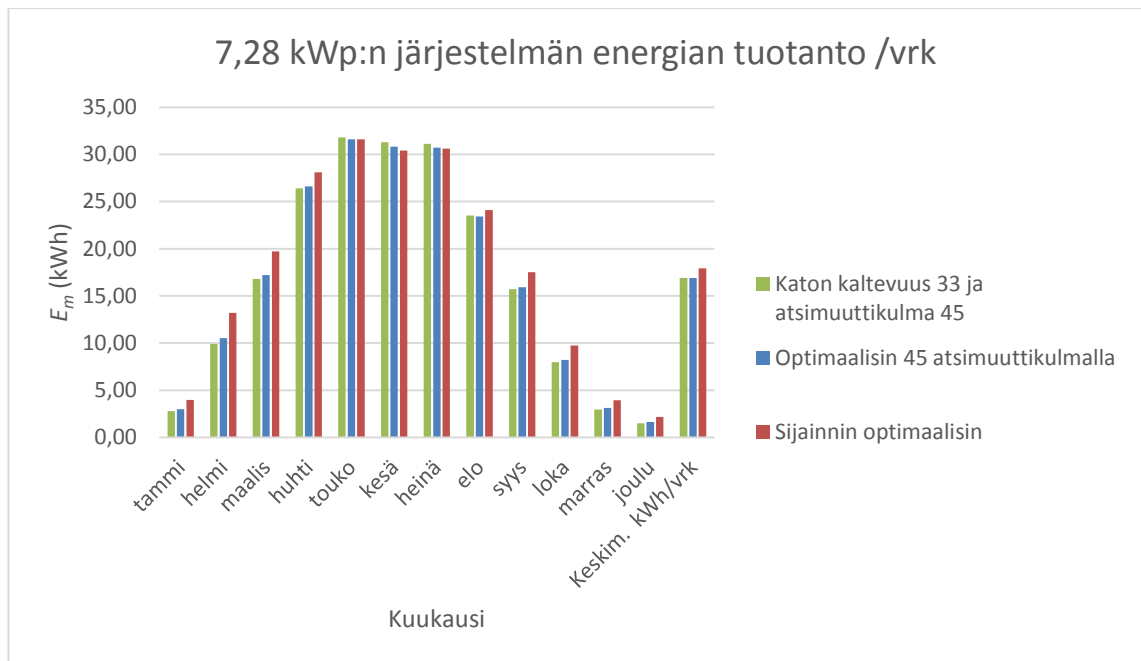


Kuva 9. 10,4 kWp:n järjestelmän keskimääräinen vuorokauden tuotanto (PVGIS 2015)

Kuvissa 10 ja 11 on 7,28 kWp:n järjestelmän ennusteet energian tuotannosta. Kesäaikana järjestelmä tuottaa noin 900 kWh kuukaudessa. Vuorokauden tuotanto on hieman yli 30 kWh kesäkuukausina, mutta huhtikuussa vain noin 26 kWh, mikä ei riitä tuottamaan edes puolta siitä, mitä jäähdytysjärjestelmä kuluttaa.



Kuva 10. 7,28 kWp:n järjestelmän kuukausittainen energian tuotanto (PVGIS 2015)

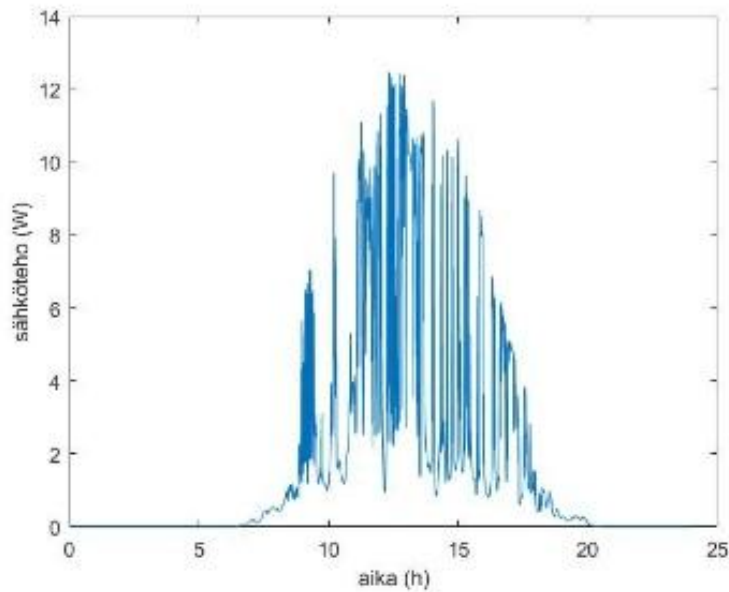


Kuva 11. 7,28 kWp:n järjestelmän keskimääräinen vuorokauden tuotanto (PVGIS 2015)

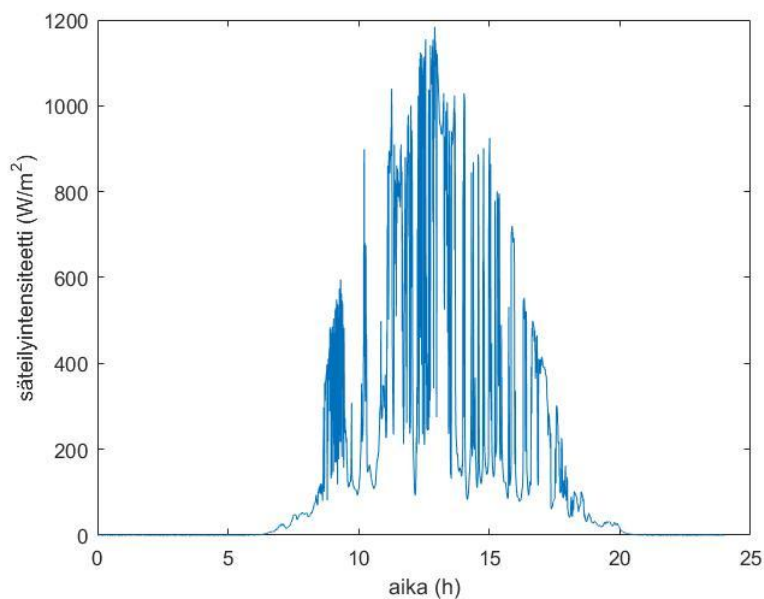
3.5 Säästä riippuva ennuste tuotannolle

Tuotannon ennustusta vuorokauden sisällä voitiin tutkia toisella tavalla. Aineistona oli Tampereen teknillisellä yliopistolla tehdyt mittaustulokset auringon säteilyintensiteetistä, lämpötiloista, paneelin virroista ja jännitteistä ym. eri vuodenaikoina. Datasta voitiin piirtää kuvaajat mallintamaan paneelien tuottamaa sähköistä tehoa, sekä auringon säteilyintensiteetti vuorokauden aikana. Tällä tavoin saadaan tietoa siitä, miten paneelit tuottavat erilaisina päivinä tehoa. Kuvissa on esitetty samalta päivältä auringon säteilyintensiteetin määrä sekä paneelin tuottama sähköinen teho. Paneelin nimellisteho on kuvaajissa 10 W:a. Kuvaajista voidaan suoraan mallintaa, mitä esimerkiksi 10 kW:n järjestelmä tuottaa tehoa. Kun päivä on ollut aurinkoinen, eikä taivaalla ole ollut esteitä, kuvaaja muodostaa puhtaan sinin puolijakson. Mitä enemmän on pilviä ym. esteitä, kuvaaja säröytyy.

Kuvista 12 ja 13 huomataan, miltä kuvaaja näyttää, kun kyseessä on ollut pilvinen sää, mutta ajoittain on myös aurinko paistanut. Paneelin tuottama teho on vaihdellut koko päivän ajan. Pari päivää myöhemmin on ollut hyvin selkeä sää ja kuvaajat 14 ja 15 ovatkin lähes puhtaan sinin puolijakson muotoisia.

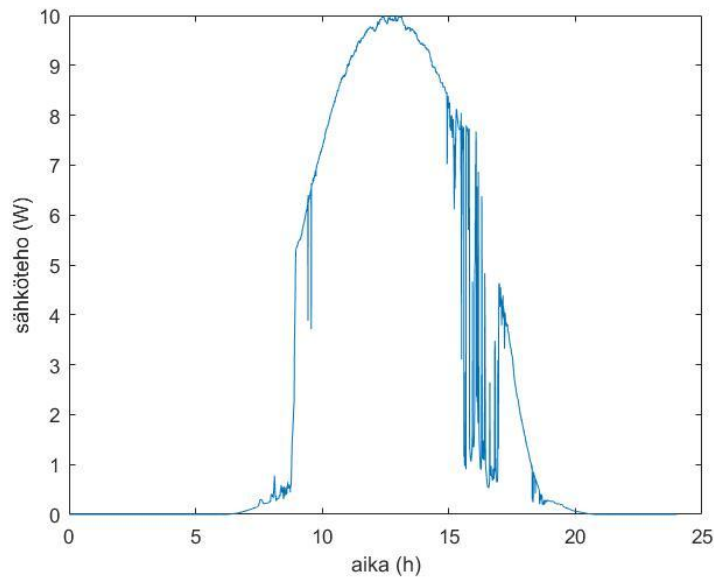


Kuva 12. Paneelin sähköteho 6. huhtikuuta

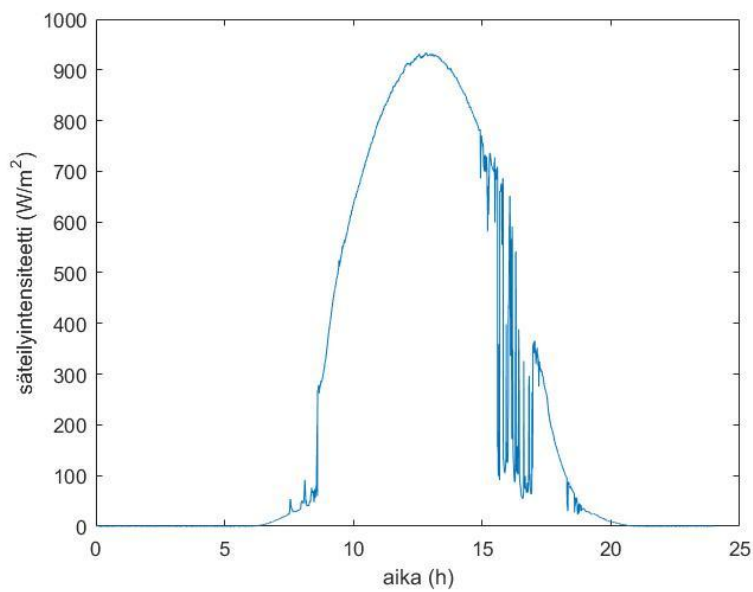


Kuva 13. Auringon säteilyintensiteetti 6. huhtikuuta

Kuvaajien 12 ja 13 mukaisena päivänä paneelin tuottama teho on hyvin lähellä tarvittavaa tehon määrää. Päivän aikana paneeli on tuottanut välillä hyvinkin tehoa, mutta ei kuitenkaan riittävästi, koska käytettävää tehoa täytyy löytyä ainakin neljän tunnin ajan, jotta olisi järkevää käyttää kylmäkonetta päiväsaikaan. Jos kyseessä olisi 10 kW:n järjestelmä, paneelit tuottaisivat karkeasti arvioituna noin 6 kW:n keskiteholla neljän tunnin ajan. Tämä saattaa riittää, mutta todennäköisesti on järkevämpää käyttää konetta yöaikaan, jotta sähköä ei tarvitsisi ottaa verkosta päiväsaikaan vähäisen tuotannon vuoksi.

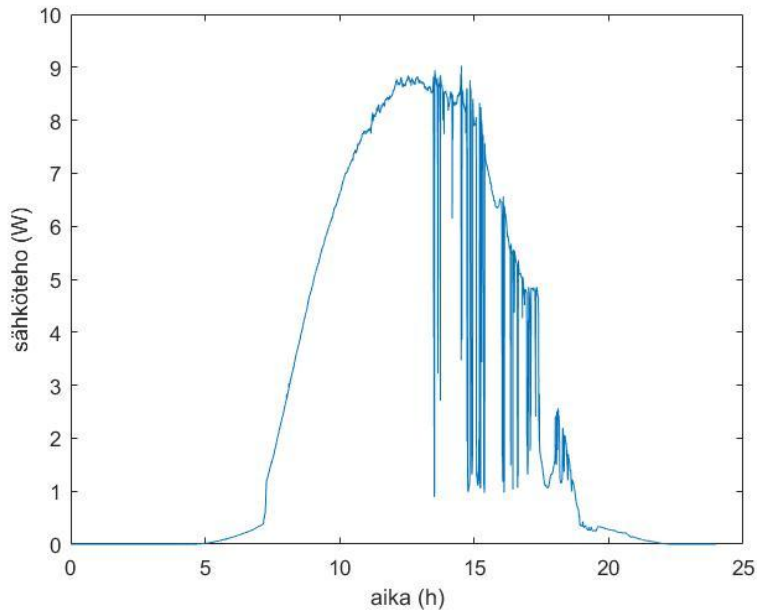


Kuva 14. Paneelin sähköteho 8. huhtikuuta

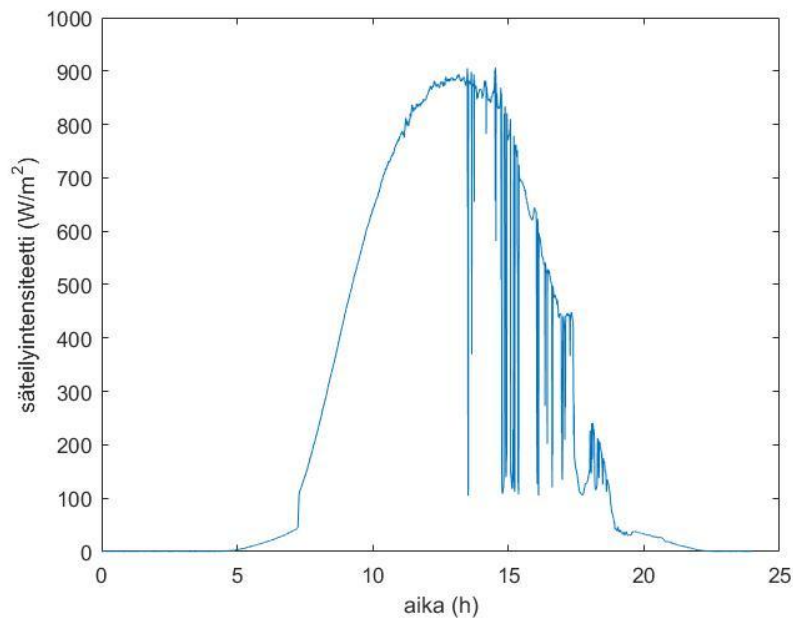


Kuva 15. Auringon säteilyintensiteetti 8. huhtikuuta

Kuvista 14 ja 15 huomataan, aamupäivä ja keskipäivä on ollut hyvinkin selkeä sää, mutta myöhemmin iltapäivällä on ollut pilvistä. Illalla on ollut taas selkeää ja paneeli on tuottanut auringon laskuun asti energiaa. Selkeänä päivänä paneeli on tuottanut yli kuusi tuntia yli 60 % nimellistehostaan energiaa. Tämä riittäisi 10,4 kWp:n järjestelmällä antamaan kylmälaitteelle sen tarvitseman tehon.

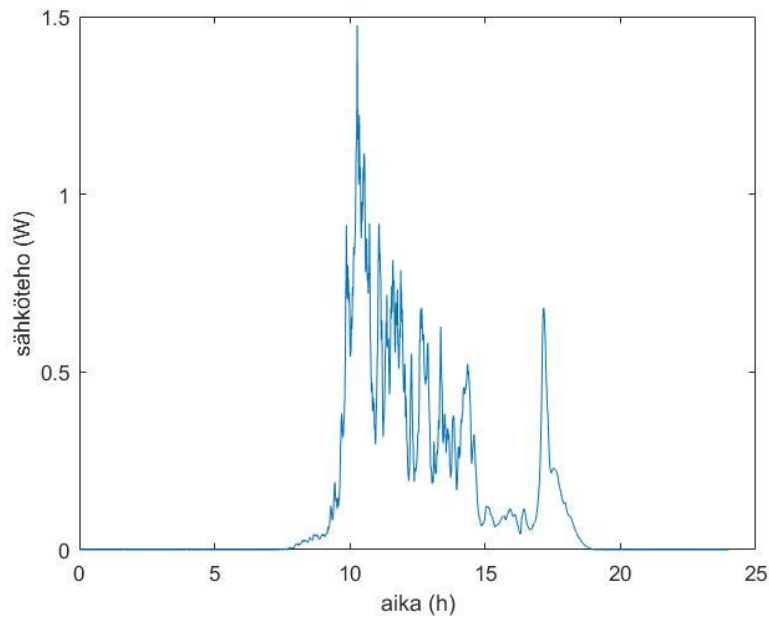


Kuva 16. Paneelin sähköteho 3. elokuuta

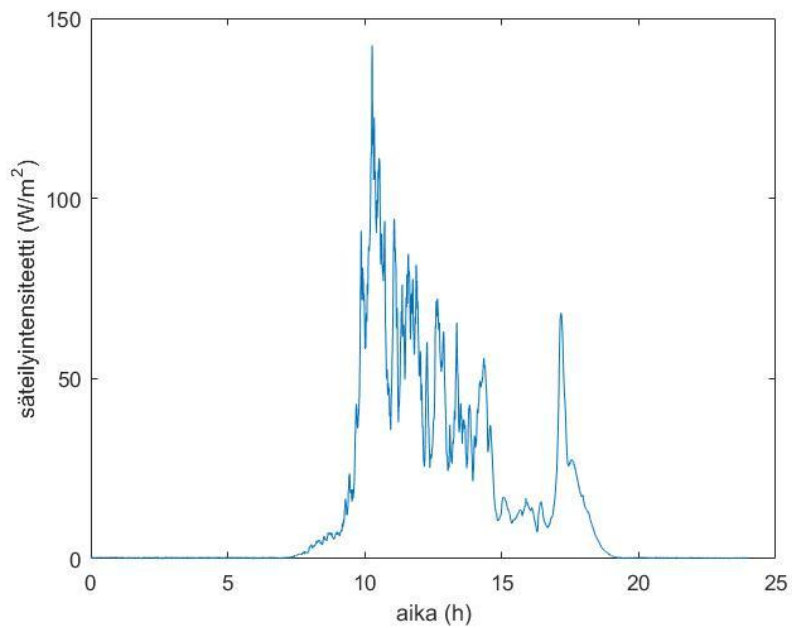


Kuva 17. Auringon säteilyintensiteetti 3. elokuuta

Elokuun 3. päivä on ollut myöskin melko selkeä, iltapäivän pieniä pilviä lukuun ottamatta. Kuvaajista voidaan todeta paneelin tuotannon riittävän kylmälaitteen energian lähteeksi.



Kuva 18. Paneelin sähköteho 4. lokakuuta



Kuva 19. Auringon säteilyintensiteetti 4. lokakuuta

Kuvat 18 ja 19 on tehty 4. lokakuuta saaduista mittaustuloksista. Kuvaajista nähdään, että paneeli tuotti 10 % nimellistehostaan energiaa noin tunnin ajan. Kyseessä on ollut kuvaajasta päätellen hyvin pilvinen sää, auringon säteilyn intensiteetti on ollut vain 50 W/m^2 tasolla.

Kaiken kaikkiaan kuvaajista voidaan todeta, että kylmälaite kannattaa kytkeä päälle huhtikuussa tai elokuussa noin 10 aikaan aamulla ja olettaen että kuusi tuntia riittää, sammuttaa klo 16 aikoihin. Lokakuussa paneelien tuotanto on hyvin vähäistä. Aurinkoisina päivinä voidaan harkita, käytetäänkö aurinkosähköä vai otetaanko sähkö kylmälaitteelle verkosta yösiirtona.

4 HANKKEEN KANNATTAVUUS

Järjestelmän hankintaa mietittäessä on hyvä selvittää, onko hanke kannattava. Paljonko järjestelmä tulee maksamaan? Mahdollisen voiton määrä on hyvä arvioida ottaen huomioon sähkön hinnan nouseminen. Olennainen asia on, kuinka kauan kestää, että järjestelmä on maksanut itsensä takaisin ja alkaa tuottaa voittoa? Tässä tapauksessa voittoa ei lähdetty hakemaan, mutta tappioilta halutaan silti välttyä.

4.1 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmällä voidaan kertaluonteinen investointi jakaa tasasuuruiseksi vuosittaisiksi kustannuseriksi esimerkiksi investoinnin käyttöajalle. Kustannuserät kattavat vuosittaiset korkokulut. Kaavalla 9 lasketaan annuiteettitekijä järjestelmän pitoajalle.

$$\varepsilon = \frac{\frac{p}{100}}{1 - 1 / \left(1 + \frac{p}{100}\right)^t} \quad (9)$$

, missä p on korko prosentteina ja t investoinnin tarkasteluaika vuosina.

(Lakervi & Partanen 2009, 43)

Korkoprosentiksi voidaan valita 2 %, joka kuvaa inflaatiota ja pitoaikana voidaan käyttää 30 vuotta. Näillä arvoilla annuiteettitekijäksi saadaan 0,04465. 10,4 kWp:n verkkoon kytkeytyn järjestelmän investointi maksaa 20500 €, joten vuosikustannuksiksi saadaan siten $0,04465 * 20500 \text{ €} = 915 \text{ €}$. Kokonaissummaksi saadaan 30 vuoden aikana $30 * 915 \text{ €} = 27460 \text{ €}$.

Samalla periaatteella 7,28 kWp:n järjestelmän kokonaiskustannukseksi saatiin 20092 €.

4.2 Energian tuotanto

Järjestelmän energiantuotanto koko käyttöajalta on laskettu taulukoissa 3 ja 4. Arvioissa on otettu huomioon järjestelmän vanhentuminen. Paneelien tuotto on laskettu niin, että kennot asennettaisiin samaan kulmaan aurinkoon nähden, kuin hallin katto oikeastikin on. Kulmaa parantavilla telineillä saataisiin vielä paremmat tuotot. Viisi vuotta järjestelmä tuottaa sähköä nimellistehollaan, seuraavat viisi vuotta 90 % nimellistehostaan, jonka jälkeen 15 vuotta 80 % ja loput viisi vuotta järjestelmä tuottaa 70 % nimellistehostaan sähköä. Yhteensä 10,4 kWp:n aurinkovoimala tuottaa koko 30 vuoden aikana 219500 kWh eli noin 220 MWh.

Taulukko 3. 10,4 kWp:n järjestelmän odotettu energian tuotanto 30 vuoden ajalta

Järjestelmän ikä	Energian tuotanto (kWh/a)
0-5 vuotta	8780
5-10 vuotta	7902
10-25 vuotta	7024
25-30 vuotta	6146
Yhteensä pitoajalta	219500

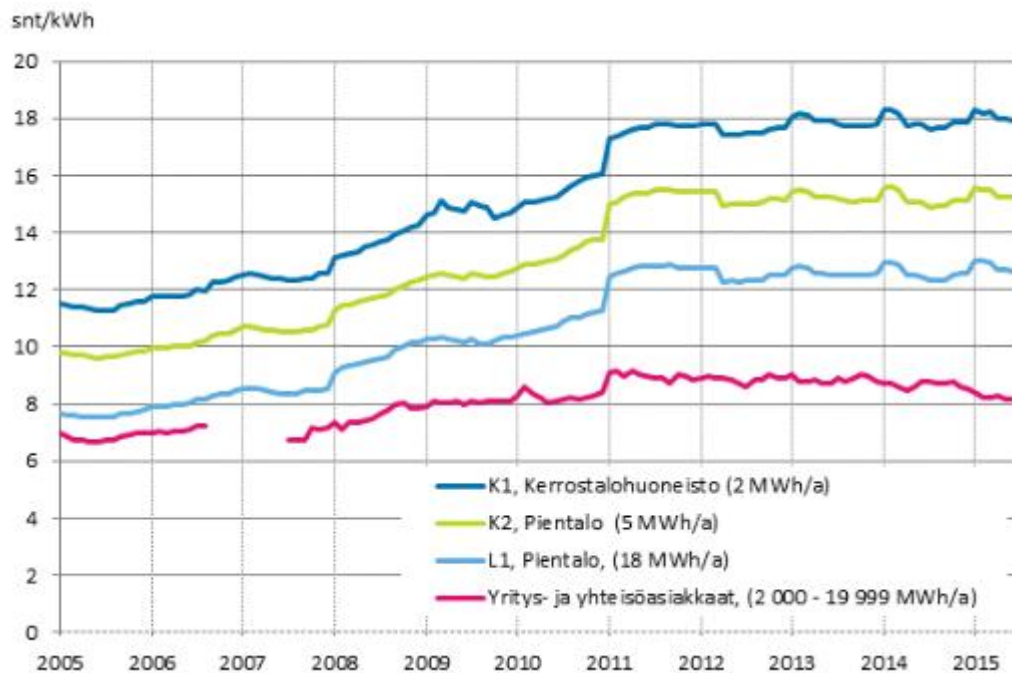
Taulukko 4. 7,28 kWp:n järjestelmän odotettu energian tuotanto 30 vuoden ajalta

Järjestelmän ikä	Energian tuotanto (kWh/a)
0-5 vuotta	6170
5-10 vuotta	5553
10-25 vuotta	4936
25-30 vuotta	4319
Yhteensä pitoajalta	154250

4.3 Sähkön hinnan kehitys

Sähkön hinta vaikuttaa suuresti säästöihin, joita itse tuotetulla sähköllä saadaan. Mitä kalliimmaksi sähkön hinta kasvaa, sitä enemmän myös säästetään. Kuvasta 20 nähdään, miten sähkön hinta on kehittynyt viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tällä hetkellä suunta näyttäisi olevan alaspäin, mutta yleisesti ottaen hinta on noussut melko paljon 2005 vuoteen verrattuna.

Suunnitellulla järjestelmällä säästetään periaatteessa vain yö sähköä, joka tällä hetkellä maksaa yhteensä noin 8,5 snt/kWh. Päiväsähkön hinta on yhteensä noin 11,0 snt/kWh.

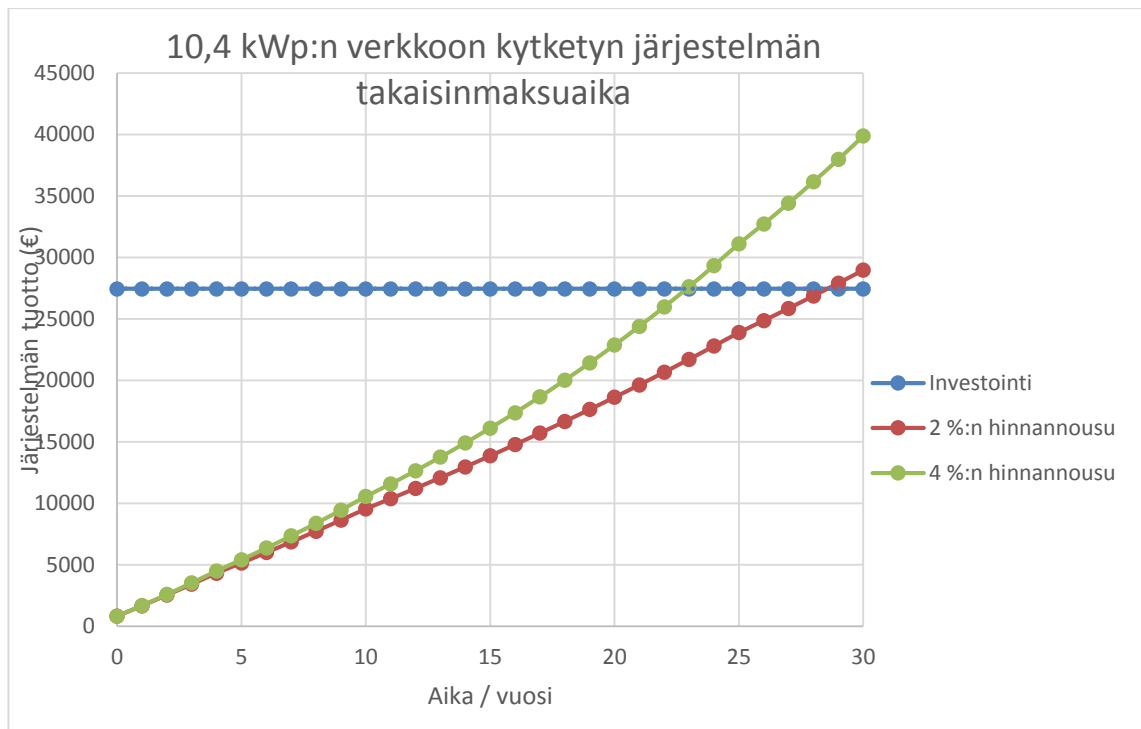


Kuva 20. Sähkön hinnan kehitys kuluttajatyypeittäin vuosina 2005–2015. (Tilastokeskus 2015)

4.4 Takaisinmaksuaika

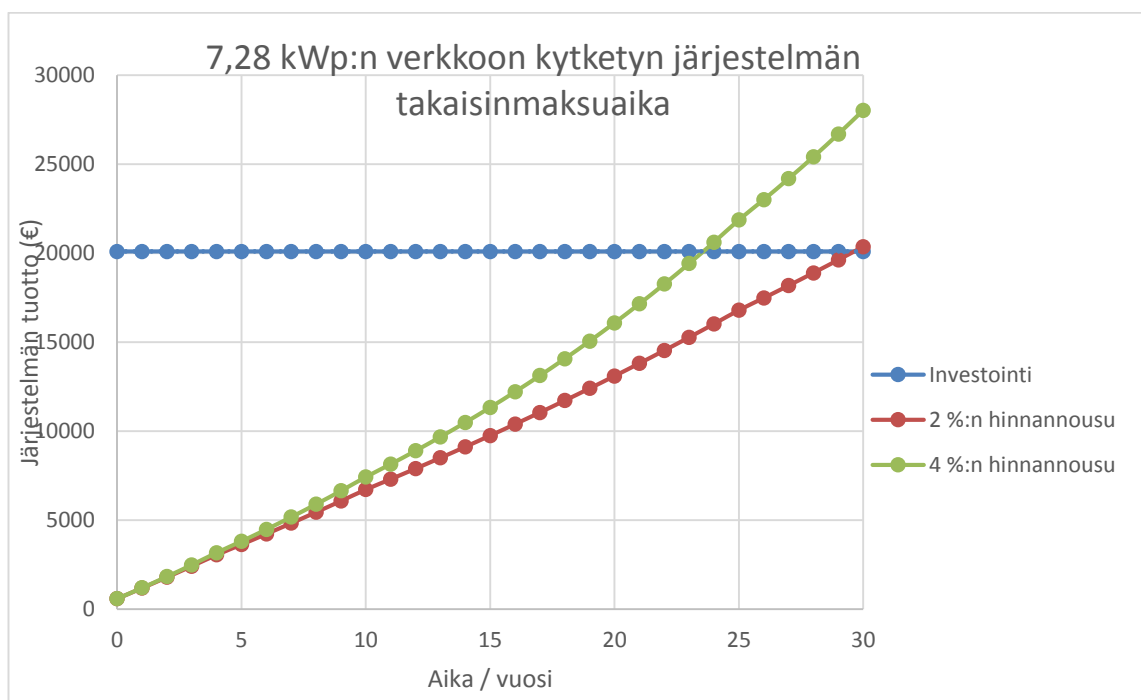
Hankkeen taloudellisen kannattavuuden määrittelevät lopulta järjestelmän takaisinmaksuaika ja mahdollinen voitto. Kuvaajissa 21 ja 22 on esitetty eri järjestelmien takaisinmaksuajat sähkön hinnannousun mukaan laskettuina. Laskennassa on käytetty sähkön hinnan arvona yösiirron mukaista hintaa, koska paneeleilla tullaan tuottamaan yösiirron korvaavaa sähköä. Päiväsiirron mukaista hintaa käytettäessä järjestelmä maksaisi itsensä takaisin paljon aikaisemmin.

Kuvaajista voidaan todeta, että 10,4 kWp:n järjestelmä ehtii tuottaa yli viisi vuotta voittoa, jos sähkön hinta nousee 4 % joka vuosi. Voitto olisi noin 12 000 €. Kahden prosentin hinnannousulla järjestelmä maksaa itsensä takaisin hieman ennen pitoaikansa loppumista. Nykyisellä sähkön hinnalla järjestelmästä tulisi tappiota noin 6000 €.



Kuva 21. 10,4 kWp:n verkkoon kytketyn järjestelmän takaisinmaksuaika eri sähkön hinnannousuilla

Pienempi järjestelmä maksaa suunnilleen itsensä takaisin pitoaikansa aikana, jos sähkön hinta nousisi 2 % joka vuosi. 4 % hinnannousulla järjestelmä tuottaisi noin 8000 € voittoa pitoaikansa aikana. Nykyisellä sähkön hinnalla tulisi tappiota noin 7000 €. Takaisinmaksuaika on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. 7,28 kWp:n järjestelmän takaisinmaksuaika

5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN VALINTA

Työn tuloksien perusteella järjestelmäksi valittiin 10,4 kW:n verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä. Laskelmien mukaan järjestelmä maksaisi itsensä takaisin 2 % sähkön hinnan nousulla noin 28 vuodessa. Laskennassa ei kuitenkaan otettu lainkaan huomioon mahdollista ylituotantoa, joka myydään verkkoon. Ylituotannon määrää on vaikea arvioida, mutta todennäköistä on, että aurinkoisina päivinä ylituotantoa syntyy jonkin verran.

Vertailussa ollut pienempi järjestelmä ei tuloksien mukaan riittänyt tuottamaan haluttua tehoa jäähdytyslaitteistolle. Säästä riippuvan ennusteen mukaan paneelit tuottavat noin 50 % nimellistehostaan sähköä huhtikuussa kuuden tunnin ajan. 7,3 kW:n järjestelmä ei tällöin pysty tuottamaan riittävästi tehoa koko jäähdytyksen ajaksi.

6 VERKKOON KYTKEYTYMINEN

Tuleva aurinkovoimala kytketään verkkoon, joten sopimus verkkoyhtiön kanssa on oleellinen osa projektia. Sopimus on keskeisessä roolissa varsinkin silloin, jos voimalan sähkön tuotanto on kohteen kulutusta suurempi. Tuotantolaitoksen pitää täyttää tietyt vaatimukset, jotta se voidaan kytkeä verkkoon. Vaatimuksia on kuntien viranomaisilla ja verkonhaltijalla. Verkonhaltijoiden tai Energiateollisuuden sivuilta löytyy ohjeita, miten toimitaan kytkettäessä tuotantoa verkkoon.

Ensin on hyvä selvittää, mikä lupa tarvitaan kunnan rakennusvalvontaviranomaisilta tuotantolaitoksen rakentamiseen. Vaatimukset ovat hyvinkin erilaisia kunnittain. Rakentamiseen tarvitaan yleensä joko toimenpidelupa tai rakennuslupa. Sähköverkonhaltijalta on varmistettava ennen voimalan hankkimispäätöstä, että laitos täyttää sähköverkon ja sähköturvallisuusmääräysten vaatimukset. Tähän voi vaikuttaa esimerkiksi käyttöpaikan verkon kunto ja ikä. Verkko voi olla niin vanhaa, ettei se täytä uusia vaatimuksia, joita aurinkovoimala saattaa vaatia. Verkonhaltijalle on toimitettava tiedot voimalasta ja tarvittavat tekniset dokumentit. Ennen kuin laitos voidaan ottaa käyttöön, täytyy verkonhaltijan kanssa tehdä tuotannon verkkopalvelusopimus ja tarvittaessa myös tuotannon liittymissopimus. Liittymissopimuksen tarpeellisuus riippuu tuotannon suuruudesta. Tuotannon liittymissopimuksessa sovelletaan Energiateollisuus ry:n suosittamia tuotannon liittymisehtoja TLE11. Tuotannon verkkopalvelusopimuksessa noudatetaan TVPE11 ehtoja (Liite 4.). Tuotantolaitos ei saa myöskään aiheuttaa häiriöitä muille sähköverkon käyttäjille. Sähkön tuottaja on korvausvelvollinen, jos hänen laitoksensa virhetoiminta aiheuttaa vahinkoja muille sähköverkon käyttäjille tai verkonhaltijalle. Vain asianmukaiset sähköasennusluvut omaava ammattilainen saa tehdä laitoksen kytkennät. Liittymän tuotanto ja kulutus tulee mitata erikseen yli 3x63 A pääsulakkeisilla liittymillä, mutta enintään 3x63 A kohteissa tuotanto ja kulutus voidaan mitata samalta mittarilta. Yksivaiheinen tuotantolaitos voidaan kytkeä enintään 16 A sulakesuojauksen taakse. Ennen kuin tuotantolaitos voidaan kytkeä verkkoon, tulee tuotetulla sähköllä olla ostaja. Sähkön vähittäismyyjät voivat toimia sähkön ostajina. Liitteessä 5. on Energiateollisuuden tuotannon liittämistä jakeluverkkoon koskevan ohjeen tekninen liite, mikä koskee enintään 50 kVA tuotantolaitoksen liittämistä jakeluverkkoon. Liitteessä 6 on Energiateollisuus ry:n suosittama yleistietolomake verkonhaltijoiden käyttöön.

(Energiateollisuus, Ohje tuotannon liittämisestä jakeluverkkoon)

7 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheena oli alun perin selvittää tuulivoiman mahdollisuus kyseisellä maatilalla, mutta jo alkuvaiheessa todettiin, ettei se ole kannattavaa. Sen sijaan aurinkosähkön mahdollisuus oli paljon todennäköisempi ja myös kannattavampi parantuneen tekniikan ja halventuneiden hintojen takia. Niinpä tuulivoimaosuus jätettiin työstä kokonaan pois ja keskityttiin aurinkosähkön kannattavuuden selvittämiseen kyseisellä maatilalla.

Tuloksien perusteella työ onnistui mielestäni hyvin, vaikka tuotannon ennusteet vaihtelivat jonkun verran valmistajien lupaamien ja laskettujen välillä. Vuorokauden säästä riippuva tuotannon ennusteen tekeminen oli kuitenkin tärkeämpi, koska sillä nähtiin, saako kohde riittävän ajan tarpeeksi tehoa aurinkopaneeleilta. Pelkkä kokonaistuotannon laskeminen ei kerro tuntikohtaista tuotantoa. Kohdetta kuitenkin pidetään päällä noin kuusi tuntia ja koko sen ajan se kuluttaa energiaa vakioteholla. Ennusteiden mukaan valittu 10,4 kWp:n järjestelmä pystyy tuottamaan riittävästi energiaa kylmälaitteita varten.

Hallin katolla on tilaa vielä monelle ylimääräisellekin paneelille, jos kulutus kasvaa ja halutaan laajentaa. Tuotantoa on muilla keinoin kesken paneelien pitoajan vaikea parantaa, mutta ainakin kohteen talvista aurinkosähkön tuotantoa saadaan parannettua, jos kehitetään helppo tapa poistaa lunta paneelien päältä. Ongelmaa ei välttämättä edes ole nykyisten vähälumisten talvien vuoksi.

Aurinkosähkö on tulevaisuuden energianlähde. Tälläkin hetkellä keksitään entistä parempia kennoja, joilla on parempi hyötysuhde. Myös akut tulevat kehittymään. Kun akut ovat tarpeeksi hyviä teknistaloudellisesta näkökulmasta katsottuna, on tällaisiin kohteisiin kuin tässä työssä järkevää ottaa sellainen käyttöön. Maatilalle voidaan myös asentaa omakotitalon kulutusta varten oma järjestelmänsä tai yksittäiselle laitteelle esimerkiksi jäädytystarkoitukseen ilmalämpöpumpulle. Aurinkoiseen aikaan ilmalämpöpumppu saisi sähköenergiansa aurinkopaneeleilta. Kun aurinko ei paista, jäädytykselle ei todennäköisesti myöskään ole tarvetta. Olosuhteet siihen ovat hyvät, muutamaa varjostavaa puuta lukuun ottamatta. Hyvä kohde maataloudessa samantyylliseen työhön voisi olla myös vaikka navettakäyttöön suunniteltu aurinkosähköjärjestelmä.

LÄHTEET

Aki Korpela, 2015. SVT seminaarityöt kurssimateriaalit.

Aki Korpela, 2014. Aurinkosähkön hyödyntämismahdollisuudet suomessa
http://www.punkalaidun.fi/punkalaidun_netli/liitetiedostot/editori_materiaali/17950.pdf

Energiateollisuus:

<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/pientuotanto>

-Ohje tuotannon lisäämisestä jakeluverkkoon. http://energia.fi/sites/default/files/ohje_tuotannon_liittamisesta_jakeluverkkoon.pdf

-Tuotannon verkkopalveluehdot TVPE11. http://energia.fi/sites/default/files/tuotannon_verkkopalveluehdot_tvpe11.pdf

-Tekninen liite 1 – Enintään 50 kVA. http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_1_-_enintaan_50_kva_paivitetty_20140610.pdf

- Mikrotuotannon yleistietolomake verkonhaltijoiden käyttöön. http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_yleistietolomake_paivitetty_20140128.pdf

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry

Euroopan komission PVGIS-ohjelma.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>

Finnwind. Aurinkopaneelit.

<http://www.verkkokauppa.finnwind.fi/tuotteet.html?id=6/>

Ilmastonmuutos ja maaseutu. Aurinkosähkö.

<http://www.ilmase.fi/site/tietopaketit/maatilan-aurinkosahko/>

Lakervi, E., Partanen, J. 2009. Sähkönjakelutekniikka. Otatieto.

Maanmittauslaitos.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/>

Motiva. Aurinkoenergia.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia

Solartukku Oy

<http://www.solartukku.fi/aurinkosahko>

Suntekno. Aurinkopaneelit.

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

SW Energia

<http://www.swenergia.fi/mokkilaiset/energia-aurinkojarjestelmat/victron-invertterit.html>

Tilastokeskus 2015. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin

http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2015/02/ehi_2015_02_2015-09-17_kuv_005_fi.html

LIITTEET

Liite 1. Finnwindin E-sarjan aurinkovoimalat

1(2)



Aurinko E-sarja Sähköä auringosta

suoraan sähköntuotantoon omakotitaloihin, vapaa-ajan asuntoihin ja taloyhtiöihin



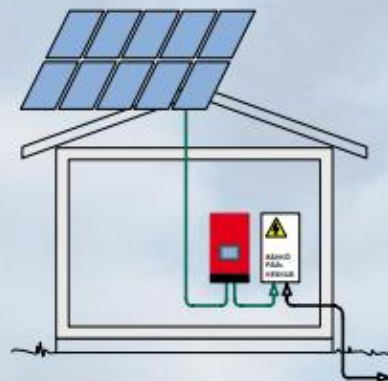
Aurinko E on tuotesarja sähköverkkoon kytkettäviä aurinkosähköjärjestelmiä, jotka muuntavat auringon säteilyenergian suoraan sähköksi. Aurinkopaneelin asennusjärjestelmät on suunniteltu Suomen ankkariin ilmasto-olosuhteisiin ja aurinkovoimaloissa käytämme vain parhaita aurinkopaneeleita sekä inverttereitä.

Aurinkosähköjärjestelmien käyttö on täysin automaattista. Ensisijaisesti käytät aurinkosähköä. Silloin kun aurinkosähköä ei ole saatavilla, käytät sähköä normaaliin tapaan paikallisesta sähköverkosta.

Aurinko E sarja sisältää valmiiksi mitoitettuja ratkaisuita kaikkiin omakotitalokohteisiin. Järjestelmän saat halutessasi laitepakettina tai avaimet käteen asennettuna koko Suomeen.

Aurinko E - aurinkovoimalat

- Aurinkopaneeleilla 10 vuoden takuu materiaali- ja valmistusvirheille, tehontuottotakuu 10 vuotta 90% ja 25 vuotta 80% nimellistehosta.
- Verkkoinverttereillä 5 vuoden takuu materiaali- ja valmistusvirheille. Useita invertterivaihtoehtoja.
- Aurinkopaneeleissa Suomen lumikuormat kestävä luja ja kiertöjäykkä rakenne.
- Suomen erityisolosuhteisiin suunnitellut ja Suomessa valmistetut EN1090 sertifioidut aurinkopaneelin asennusjärjestelmät
- Länsimaista laatua kilpailukyiseen hintaan. Avaimet käteen asennus koko Suomeen.



Aurinko E - laitetointuspaketti

- aurinkopaneelit
- verkkoinvertteri
- asennusjärjestelmä (katto/seinä/maa-asennus)
- aurinkokaapelit 30 m (DC) ja liittimet, turvakytin
- aurinkopaneelien asennusohjeet ja sähkötyöohjeet

Avaimet käteen asennus lisäksi

- verkkoonliityntäilmoitus
- aurinkopaneelien asennus
- kaapelivedot
- sähkötyöt ja sähköasennuksen pientarvikkeet

Lisätietoa tuotteista, aurinkoenergian ostamisesta ja voimalasi asennuksesta: www.verkkokauppa.finnwind.fi



Finnwind Oy on 1993 perustettu suomalainen teknologiayritys, joka valmistaa, markkinoi ja asentaa hajautettuja energiantuotantojärjestelmiä. Päätuotteemme ovat aurinkosähköjärjestelmät ja tuulivoimalat omakotitalojen, yritysten, taloyhtiöiden, maatilojen sekä vapaa-ajan asuntojen lämmitykseen sekä sähköistykseen.

Aurinkojärjestelmän komponenttien tekniset tiedot

Aurinkopaneeli	260 Wp monikidepaneeli
Yhden aurinkopaneelin pinta-ala	n. 1,7 m ²
Yhden paneelin paino ja paneelimoduulin mitat	n. 20 kg ja 1 * 1,7 m
Tehontuottotakuu	Paneelit tuottavat 10 vuotta vähintään 90 % ja 25 vuotta vähintään 80 % nimellistehostaan.
Verkkoinvertteri	
Invertterin valmistaja ja valmistusmaa	SMA Saksa, Fronius Itävalta
Säätömenetelmä	MPPT (Maximum Power Point Tracking)
Invertterin tilantarve	leveys 60 cm, korkeus 80 cm, syvyys 30 cm
Asennusjärjestelmä	
Asennusjärjestelmä (harjakatto-, tasakatto-, seinä-, maa-asennus)	Finnwind Fast Sun, EN1090 sertifioidut asennusjärjestelmät, valmistusmaa Suomi

Aurinko E - sarjan tuotteet suoraan sähköntuotantoon omakotitaloille

Kolmivaiheinen aurinkovoimala, malli	Paneeliteho	Ulostulojännite	Vuorokausituotto parhaimmillaan kesällä, Etelä-Suomi	Vuosituotto parhaimmillaan, Etelä-Suomi	Paneelien määrä	Paneelien kokonaispinta-ala
Aurinko E2.6	2.6 kWp	230 V/400V, 50 Hz (kolmivaiheinen)	20 kWh	2340 kWh	10 kpl	17 m ²
Aurinko E3.1	3.1 kWp	230 V/400V, 50 Hz (kolmivaiheinen)	23 kWh	2790 kWh	12 kpl	20,5 m ²
Aurinko E4.2	4.2 kWp	230 V/400V, 50 Hz (kolmivaiheinen)	31 kWh	3780 kWh	16 kpl	27 m ²
Aurinko E5.2	5.2 kWp	230 V/400V, 50 Hz (kolmivaiheinen)	39 kWh	4680 kWh	20 kpl	34 m ²
Aurinko E7.3	7.3 kWp	230 V/400V, 50 Hz (kolmivaiheinen)	55 kWh	6570 kWh	28 kpl	48 m ²
Aurinko E10.4	10.4 kWp	230 V/400V, 50 Hz (kolmivaiheinen)	78 kWh	9360 kWh	40 kpl	68 m ²

Ajantasaiset hinnat ja lisää tuotevaihtoehtoja: www.verkkokauppa.finnwind.fi
Mikäli olet kiinnostunut isommista järjestelmistä, tutustu myös yritysratkaisuihimme.

**Tutustu referensseihimme,
kysy tarjous avaimet käteen
asennuksesta!**

www.verkkokauppa.finnwind.fi

FINN WIND

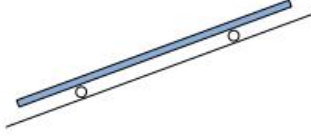
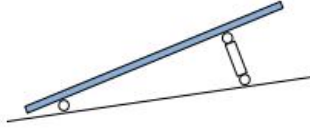


Koiranojanrinne 4 A, 33880 Lempäälä
Puh. 045 208 5414, info@finnwind.fi
www.finnwind.fi

Liite 2. SW Energia Oy:n invertterit

	SinusMax 180	SinusMax 350	SinusMax 800	SinusMax 1200	Phoenix 1600	Phoenix 2000
Jatkuva teho VA	180	350	800	1200	1600	2000
Hetkellinen maksimiteho W	350	700	1600	2400	3000	4000
Akkujännite V	10,5 - 15	10,5 - 15	10,5 - 15	10,5 - 15	9,5 - 17	9,5 - 17
Oma tehonkulutus W	2,6	3,1	6,0	6,0	8,0	9,0
Aaltomuoto	Puhdas sini	Puhdas sini	Puhdas sini	Puhdas sini	Puhdas sini	Puhdas sini
Paino kg	2,7	3,5	6,5	8,5	10	12
Mitat K x L x S mm	72x132x200	72x155x237	108x165x305	108x165x305	375x214x110	520x255x125

Liite 3. Finnwind asennustelineet

TEKNISET TIEDOT

	FS H-1	FS H-2					
							
Järjestelmä	Kattoasennusjärjestelmä harjakatoille						
Asennuskohde	Kallistavat katot	Loivat katot joihin tarvitaan lisäkallistusta					
Kattokiinniketyypit	Saumattu pelti, aaltopelti, tiillikuvioitu profiilipelti 350 mm ja 400 mm kuviojaolla, tiili, huopa						
Paneelin asennussuunta	Pysty						
Materiaali	Kuumasinkitty teräs						
Asennuskulma	Kattokulman mukaisesti	Kattokulma +10 ... 20 astetta					
Telinepaino per paneeli	n. 6 kg	n. 8 kg					
Käyttölämpötila	-40 ... + 80						
Lumikuorman kestävyys	5400 Pa (paneelien maksimi lumikuorman mukaisesti)						
Tuotetakuu	12 vuotta						
Järjestelmämitoitus	Valmistajan ohjeiden mukaisesti						
Sertifoinnit	CE, EN1090						
Kattokiinnikkeet							
	saumattu pelti	tiili	profiilipelti	huopa	kiskokiinnike	jatkokiinnike	päätykiinnike

Energieateollisuus ry:n suosittama

LIITE VERKKOPALVELUEHTOIHIN KOSKIEN SÄHKÖNTUOTANNON VERKKOPALVELUA

TVPE 11

A Yleistä, verkkosopimuksen tekeminen, palvelun edellytykset ja aloittaminen

1. Soveltamisala ja määritelmiä

1.1 Tätä liitettä TVPE11 sovelletaan jakeluverkkoon liitetyille sähköntuottajalle toimitettavassa *sähköverkkopalvelussa* jossa sähköntuottajan sähköntuotantolaitteisto toimii rinnan jakeluverkon kanssa niin, että tuotettu sähkö voidaan siirtää osin tai kokonaan jakeluverkkoon, ja kun verkon jännite-taso on alle 24 kV. Nämä ehdot ovat osa tätä palvelua koskevaa, jakeluverkon haltijan ja sähköntuottajan välistä *verkkosopimusta*. Sähköntuottajan sähköntuotantolaitteisto voi olla kytketty jakeluverkkoon suoraan tai kiinteistön sisäisen tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sähköverkon kautta.

1.2 Verkkopalveluehdoissa käytettäessä termiä *käyttäjä* tarkoitetaan tämän liitteen mukaisessa sopimuksessa sähköntuottajaa.

1.3 *Liittämiskohta* on määritelty liittymissopimuksessa.

1.4 *Sähköntuottaja* on henkilö tai yhteisö, jonka sähköntuotantolaitteisto toimii rinnan jakeluverkon kanssa niin, että tuotettu sähkö voidaan siirtää osin tai kokonaan jakeluverkkoon.

1.5 *Sopijapuolilla* tarkoitetaan näissä ehdoissa jakeluverkon haltijaa ja sähköntuottajaa.

1.6 *Tuottajan myyntisopimuksella* tarkoitetaan näissä ehdoissa sopimusta, jolla sähköntuottaja sopii tuottamansa sähköenergian myynnistä.

2. Verkkosopimuksen tekeminen

2.1 Tuotantoa koskeva verkkosopimus voidaan tehdä, kun kyseistä kohdetta koskeva liittymissopimus on voimassa. Tarvittaessa sähköntuotantoa koskemaan tehdään erillinen tuotannon liittymissopimus.

2.2 Mikäli sähköä myydään sähkömarkkinoille, edellyttää verkkopalvelun aloittaminen ja jatkaminen verkkosopimuksen ja liittymissopimuksen lisäksi yhden ja vain yhden sähkönostajan kanssa tehdyn avointa toimitusta koskevan sähköntuotantolaitteiston ostosopimuksen voimassaoloa.

2.3 Sopimusasiakirjat muodostavat verkkosopimuksen sisällön: jos tässä liitteessä ja kulloinkin voimassa olevissa verkkopalveluehdoissa on ristiriitoja, sovelletaan tätä liitettä. Jos tässä liitteessä ei kuitenkaan ole lausuttu mitään, sovelletaan verkkopalveluehtoja.

3 Sähköntuotantolaitteiston käyttöönotto ja käyttö

3.1 Sähkölaitteistojen sähköturvallisuus

3.1.1 Sähköntuottajan sähköntuotantolaitteisto, sähköasennukset ja sähkölaitteistot eivät saa aiheuttaa vaaraa jakeluverkoissa työskenteleville tai jakeluverkkoon liitetyille sähkökäyttäjille eikä häiritä muiden sähkökäyttäjien sähkölaitteistojen toimintaa.

3.1.2 Sähköntuotantolaitteisto ei saa jäädä syöttämään verkonhaltijan jakeluverkkoa tai sen osaa silloin kun jakeluverkkoa ei syötetä muualta.

3.1.3 Sähköntuotantolaitteisto on varustettava laitteilla, joilla se voidaan erottaa jakeluverkon haltijan jakeluverkosta. Näiden laitteiden on oltava jatkuvasti jakeluverkon haltijan käytettävissä ja ne on voitava lukita, jotta jakeluverkoissa tehtävät toimenpiteet voidaan tehdä turvallisesti.

3.2 Sähköntuotantolaitteiston valmistumisesta on ennen sen käyttöönottoa tehtävä jakeluverkon haltijalle ilmoitus, johon liitetään mukaan asianmukaiset koestus- ja käyttöönottotarkastuspöytäkirjat. Sähköntuotantolaitteiston saa kytkeä jakeluverkkoon vasta, kun jakeluverkon haltija on antanut siihen luvan.

3.3 Tuotantolaitteiston teknisten ominaisuuksien tulee täyttää erillisiin sopimusehtoihin kirjatut vaatimukset.

4. Sähköntuotantolaitteistojen käyttö, ohjaus ja suojaus

4.1 Sähköntuotantolaitteiston tulee soveltua jakeluverkossa käytettäväksi ottaen huomioon jakeluverkon ohjaus- ja suojausjärjestelmät. Jakeluverkon haltija antaa sähköntuottajalle verkon ominaisuuksiin liittyviä tietoja verkkoon liittämiseksi. Sähköntuottajan tulee selvittää, onko hänen sähköntuotantolaitteistonsa kytkettävissä jakeluverkkoon sen ominaisuudet ja laitteiston käyttötapa huomioon ottaen.

4.2 Sähköntuotantolaitteistoon tehtävistä teknisistä muutoksista tulee ilmoittaa verkonhaltijalle.

4.3 Mikäli sähköntuotantolaitteiston tekninen muutos edellyttää muutoksia jakeluverkkoon, vastaa sähköntuottaja jakeluverkon haltijalle aiheutuneista kustannuksista liittymismaksuperiaatteiden mukaisesti.

4.4 Jos sähköntuotantolaitteiston tekninen muutos aiheuttaa muutoksen liittymän kokoon tai rakenteeseen, muutetaan liittymää koskevaa liittymissopimusta ja liittyjältä peritään muutoksesta aiheutuvat kustannukset liittymismaksuperiaatteiden mukaisesti.

4.5 Jakeluverkon haltijalla on oikeus määrätä rajoituksia sähköntuotantolaitteiston käyttöön, jos jakeluverkon ominaisuudet, käyttö-, huolto- ja/tai kunnossapitotilanteet sitä vaativat.

4.6 Sähköntuotantolaitteistosta jakeluverkkoon siirrettävän sähkön tulee täyttää sähkön laatua koskevien standardien vaatimukset.

4.7 Sopijapuolet ovat velvollisia korvaamaan toisilleen edellisissä kohdissa tarkoitettujen säännösten, määräysten, sopimusten ja kirjallisten ohjeiden vastaisten asennustensa tai viallisten laitteistojensa tai niiden käytön aiheuttaman vahingon soveltuvin osin tämän liitteen 7. luvussa sekä verkko- palveluehtojen 11. luvussa mainituin edellytyksin ja rajoituksin.

4.8. Sähköntuottaja vastaa sähköntuotantolaitteiston tai laitteistojen ominaisuuksista, vanhentumisesta, kulumisesta, rikkoutumisesta tai niiden yhteensopivuudesta jakeluverkon, sähköntuottajan oman verkon tai sähköntuottajan verkossa olevien muiden sähkölaitteiden tai -laitteistojen kanssa tai edellä mainittujen seikkojen aiheuttamista vahingoista. Jakeluverkon haltija ei vastaa edellä mainituista vahingoista eikä sähköntuottajan asennuksien tai laitteistojen tai niiden suojausien puutteellisuuksien aiheuttamista vahingoista.

B. Mittaus, laskutus ja keskeyttäminen

5. Sähkön mittaus

5.1 Tuotetun ja käytetyn energian mittaukselle asetetaan lainsäädännössä erityisvaatimuksia, jotka sähköntuottajan on otettava erikseen huomioon.

5.2. Mittauslaitteistojen vioista vastaa se sopijapuoli, joka omistaa mittauslaitteet tai on tilannut mittauspalvelun muulta kuin verkkosopimuksen osapuolelta. Vastuu koskee myös vikojen selvittämistä, korjaamista ym. ja vioista mahdollisesti johtuneiden tai johtuvien laskutusvirheiden oikaisemiseksi tarpeellisten tietojen antamista sähkömarkkinoita koskevien säännöksiä tai alan käytännön edellyttämille osapuolille.

C. Sähköntuotannon virhe ja vahinkojen korvaaminen

6. Sähköntuotannon virhe

6.1 Sähköntuotannossa on virhe, jos sähkön laatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä on sovittu tai mitä voidaan katsoa sovitun tai jos sähköntuotantolaitteistoa tai sähkölaitteistoa ei käytetä tai hoideta sopimuksenmukaisesti.

6.2 Sopijapuoli on pyydettäessä velvollinen antamaan toiselle sopijapuolelle tarpeelliset tiedot tämän epäilemästä virheestä ja sen syistä.

6.2 Sopijapuolen on viipymättä ilmoitettava havaitsemastaan virheestä, virheen uhasta tai siitä, että hänen käsityksensä mukaan kysymyksessä on virhe, toiselle sopijapuolelle.

6.3. Sopijapuolen tulee viipymättä siitä kun sille on ilmoitettu hänen puolellaan olevasta virheestä tai kun se on muutoin tullut kyseisestä virheestä tietoiseksi, selvittää virheen syy ja korjata virhe.

7. Vahingonkorvaus

7.1 Sähköntuottaja korvaa verkonhaltijalle näissä ehdoissa määritellystä sähköntuotannon virheestä tai sopimuksen rikkomisesta aiheutuneen vahingon näissä ehdoissa mainituin perustein ja rajoituksin.

7.2 Sähköntuottaja on kuitenkin korvausvelvollinen vain, jos tuottaja on tiennyt tai hänen olisi pitänyt tietää, ottaen huomioon hänen asiantuntemuksensa, laitteidensa käytön verkonhaltijalle aiheuttamista riskeistä.

7.3 Mikäli sähköntuottajan laitteissa on vika tai ominaisuus, jota tuottaja ei ole havainnut eikä hänen olisi pitänytäkään havaita, tuottaja vastaa verkonhaltijalle aiheutuneista vahingoista, jos tuottaja jatkaa viallisen laitteen käyttämistä verkonhaltijan huomautuksesta huolimatta.

7.4 Verkonhaltijalla on oikeus saada korvaus välillisestä vahingosta vain, jos virhe aiheutuu sähköntuottajan puolella olevasta huolimattomuudesta. Jos muuta ei ole sopijapuolten välillä sovittu, on vahingonkorvauksen enimmäismäärä aiheutuneiden välillisten vahinkojen osalta enintään 8.500 euroa. Jos sähköntuottaja on syyllistynyt tahallisuuteen tai törkeään huolimattomuuteen, vahingonkorvauksen enimmäismäärän rajoitusta ei sovelleta. Välillinen vahinko on määritelty verkkopalveluehdoissa.

7.5 Sopijapuolen tulee vahingon estämiseksi, sen sattuessa tai sen uhatessa aina ryhtyä kaikkiin sellaisiin toimiin vahingon torjumiseksi tai rajoittamiseksi, joita häneltä voidaan kohtuudella vaatia ja edellyttää. Vahinko, joka on aiheutunut sopijapuolelle näiden ehtojen mukaan korvattavan vahingon rajoittamisesta, on korvattava. Jos sopijapuoli omalla toiminnallaan aiheuttaa vahingon, ei toisella sopijapuolella ole velvollisuutta korvata sitä.

7.6 Jos verkonhaltija laiminlyö velvollisuutensa ryhtyä kohtuullisiin toimenpiteisiin vahinkonsa rajoittamiseksi, verkonhaltija vastaa itse vahingosta tältä osin.



Tekninen liite 1
Enintään 50 kVA
tuotantolaitoksia
koskevat tekniset
vaatimukset

1

Sähköverkko/Ina Lehto

10.6.2014

TEKNINEN LIITE 1 OHJEeseen SÄHKÖTUOTANTOLAITOKSEN LIITTÄMINEN JAKELUVERKKOON - NIMELLISTEHOLTAAN ENINTÄÄN 50 kVA LAITOKSEN LIITTÄMINEN

Tähän liitteeseen on kerätty teknistä tietoa nimellisteholtaan **enintään 50 kVA** suuruisen tuotantolaitoksen liittämistä jakeluverkkoon. Tämän liitteen on tarkoitus yhdessä ohjeen "Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon" kanssa tarjota kootusti tietoa pienten sähköntuotantolaitosten verkkoonliittämistä ja helpottaa laitosten verkkoonliittämisen prosessia.

MUUTOSTAULUKKO	
Muutospäivämäärä	Kuvaus
12/2011	Alkuperäinen
28.2.2013	Lukua 3 on täydennetty Energiateollisuus ry:n sähköverkon asiakkuustoimikunnan 4.2.2013 tekemän linjauksen mukaisesti. Energiateollisuus ry suosittelee, että luvussa 3 esitetyt suojausasettelut täyttävien laitosten lisäksi jakeluverkkoon hyväksytään myös teknisiltä ominaisuuksiltaan Saksan mikrotuotantonormin VDE-AR-N-4105 täyttävät laitteet.
10.6.2014	Lukuun 5 on lisätty viittaukset standardikohtiin.

1. Yleistä sähköntuotantolaitoksen toiminnasta sähköjakeluverkossa

Liitettäessä tuotantolaitosta yleiseen sähköverkkoon ja käytettäessä sitä rinnan yleisen sähköverkon kanssa, on ensisijaisen tärkeää varmistua siitä, että tuotantolaitos on turvallinen eikä aiheuta häiriöitä verkkoon ja esimerkiksi riko muiden sähkökäyttäjien sähkölaitteita. Näistä syistä tuotantolaitoksia koskevat tietyt tekniset vaatimukset.

Tuotantolaitos ei saa kytkeytyä yleiseen sähköverkkoon, ellei sähköverkon jännite ja taajuus ole sovittujen asettelurajojen sisäpuolella. Tuotantolaitos ei saa jäädä syöttämään sähköverkkoa, kun verkkoa ei syötetä muualta. Kun verkkojännite palautuu, laitos voi kytkeytyä verkkoon automaattisesti, tai se voidaan kytkeä käsin takaisin verkkoon, mikäli verkonhaltijan kanssa näin on sovittu.

Mikäli verkon kanssa rinnankäyvää tuotantolaitosta halutaan käyttää myös varavoimana sähkökatkoissa, tulee järjestelmään asentaa kaksoiskytkentämahdollisuus, jossa toisella kytkennällä tuotantolaitos toimii verkon kanssa rinnan ja toisella kytkennällä täysin verkosta erotetussa saarekkeessa. Tämä vaatii erillisen kytkimen ja lisälaitteiston. Kun sähköverkko on jännitteetön, saarekekäytössä oleva laitos ei saa olla yhteydessä sähköverkkoon. Tämä on ehdottoman välttämätöntä verkon viankorjaus- ja asennustöiden turvallisuuden takia.

Mikään sähköä tuottava laitteisto ei saa aiheuttaa häiriöitä verkkoon eikä muihin sähköasennuksiin. Mikäli tuotantolaitoksessa ilmenee vika, sähköntuottajan vastuulla on kytkeä se irti verkosta mahdollisimman nopeasti vian havaittuaan. Mikäli verkkoon liitetty tuotantolaitos aiheuttaa häiriöitä muualle sähköverkkoon, tulee verkonhaltija puuttumaan tilanteeseen ja ääritapauksessa poistattaa laitteen verkosta.



Tekninen liite 1
Enintään 50 kVA
tuotantolaitoksia
koskevat tekniset
vaatimukset

2

Sähköverkko/Ina Lehto

10.6.2014

Sähköntuotantolaitoksen haltija on vastuussa laitteistonsa tuottaman sähkön aiheuttamista vahingoista muille sähkökäyttäjille ja verkonhaltijalle, mikäli laitteiston tuottama sähkö ei ole standardien ja muiden vaatimusten mukaista.

2. Laitteistojen luokittelu

Monet tuotantolaitoksen ominaisuudet vaikuttavat sen toimintaan sähköverkossa. Tuotantolaitoksen nimellisteho on yksi merkittävä asia, mutta myös muut ominaisuudet ovat verkon käytön kannalta olennaisia. Esimerkiksi laitoksen käynnistysvirta voi laitostyyppistä riippuen vaihdella nimellisvirtaa vastaavasta käynnistysvirrasta aina nimellisvirtaa 8 kertaa suurempaan käynnistysvirtaan. Näillä asioilla on merkitystä erityisesti tuotantolaitoksen liittämiskohdan valinnassa.

Tuotantolaitoksen käyttötapa vaikuttaa sähköntuottajan ja verkonhaltijan välisiin sopimuksiin sekä laitoksilta vaadittaviin toiminta- ja suojausominaisuuksiin. Alla esitetyssä taulukossa on havainnollistettu erilaisessa käytössä olevien laitosten luokittelua ja niihin kohdistuvia vaatimuksia. Taulukon sarakkeista näkee mitä ominaisuuksia erilaisilta laitoksilta vaaditaan. Rinnan käynnin esto tarkoittaa, että laitos on mekaanisesti erotettu käymästä rinnan jakeluverkon kanssa. Tahdistus tarkoittaa, että laitos kykenee tahdistumaan samaan tahtiin jakeluverkon kanssa ja pysymään siinä. Yhteensopivuus kuvaa laitoksen ja jakeluverkon sähköistä yhteensopivuutta. Saarekekäytön estolla tarkoitetaan suojausta, joka estää tuotantolaitosta syöttämästä sähköä jännitteettömään verkkoon. Sopimusehdoilla tarkoitetaan laitoksen haltijan ja verkonhaltijan välisiä sopimuksia. Lyhenteet viittaavat laitoksen liittämiseen ja käyttöön sovellettaviin Energiateollisuus ry:n suosittelemiin sopimusehtoihin Verkkopalveluehdot (VPE10), Tuotantoa koskeva liite verkkopalveluehtoihin (TVPE11), Liittymisehdot (LE05) ja Tuotannon liittymisehdot (TLE11).

Taulukko 1. Tuotantolaitosten luokittelu laitosten käyttötavan ja -tarkoituksen mukaan.

		Luokka	Rinnan- käynnin esto	Tahdistus	Yhteen- sopivuus	Saareke- käytön esto	Sopimus- ehdot
Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvät tuotanto- laitokset	Rinnan käyttö estetty mekaanisesti	1	X				LE05 ja VPE10
	Sähkön siirto jakeluverkkoon estetty	2		X			LE05 ja VPE10
Yleiseen jakeluverkkoon syöttävät tuotanto- laitokset	Tuotetulle sähkölle ei ole ostajaa	3		X	X	X	LE05 ja TVPE11
	Tuottaja myy sähköä sähkömarkkina- osapuolelle	4		X	X	X	LE05 tai TLE11 ja TVPE11

3. Voimalaitoksen suojausasettelu

Tuotantolaitokset tulee varustaa soveltuvilla suojauslaitteilla. Suojauksen on tarkoitus varmistaa, ettei tuotantolaitos rikkoonnu sähköverkon mahdollisissa häiriötilanteissa. Lisäksi suojaus varmistaa sen, ettei tuotantolaitos syötä verkkoon huonolaatuista sähköä, joka voi rikkoa muiden verkonkäyttäjien laitteita ja pahimmillaan aiheuttaa vakavia turvallisuusriskejä ihmisille ja omaisuudelle.

Enintään 50 kVA:n suuruiset tuotantolaitokset on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät tuotantolaitoksen tai tuotantolaitoksen syöttämän saarekkeen irti yleisestä



verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa tai jännite tai taajuus laitteiston liitännäkohdassa poikkeaa sähköverkon normaaleista ilmoitetuista arvoista. Suojauksen asetteluarvot on esitetty taulukossa 2, joissa U_n tarkoittaa jakeluverkon normaalia nimellijännitettä.

Taulukko 2. Tuotantolaitteiston suojauslaitteiden asetteluarvot

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

Taulukon arvot poikkeavat Suomelle asetetuista maakohtaisista arvoista standardissa EN 50438. Taulukon arvot on määritelty ottaen huomioon laitosten koko ja ominaisuudet sekä olemassa olevista asennuksista saadut kokemukset. Verkonhaltija voi poiketa arvoista tapauskohtaisesti.

Mikäli tuotantolaitos irtoaa verkosta suojauslaitteiston toiminnan johdosta, saa se kytkeytyä takaisin verkkoon vasta, kun verkon jännite- ja taajuus ovat palautuneet suojausasetteluarvojen sallimiin rajoihin ja ne ovat pysyneet rajojen sisäpuolella tietyn minimiajan. Tämä minimiaika on vaihtosuuntaajan välityksellä verkkoon liitetyille laitoksille 20 sekuntia ja muille tuotantolaitoksille 3 minuuttia.

Tämän luvun suojausasettelut täyttävien laitosten lisäksi myös teknisiltä ominaisuuksiltaan Saksan mikrotuotantonormin [VDE-AR-N-4105](#) mukaiset laitteet soveltuvat jakeluverkkoon Suomessa.

4. Sähkön laatu

Sähköverkonhaltijan tehtävä on toimittaa laadukasta sähköä asiakkailleen. Tästä syystä sähkön laadun hallinta on erittäin keskeistä myös sähkön pientuotantoon liittyvissä kysymyksissä. Sähkön laatua tulee katsoa sekä liityntäpisteen sähkön laadun että voimalaitoksen laatuvaikutusten näkökulmasta.

Liittymään liitetty tuotantolaitos ei saa huonontaa sähkön laatua eikä merkittävästi vaikuttaa jännitteen laatuun liittämiskohdassa. Tuotantolaitosten tulee toteuttaa vähintään sitä koskevissa kansallisissa (SFS-) ja kansainvälisissä (IEC- ja CENELEC-) standardeissa asetetut sähkön laatua koskevat vaatimukset.

5. Sähköturvallisuus

Yleisten sähköturvallisuusmääräysten mukaan tuotantolaitos on varustettava erotuslaitteella, jossa on asennonosoitus tai näkyvä avausväli ja johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy. Kytkimessä on oltava myös lukitusmahdollisuus. Erotuslaite tarvitaan sähkötyöturvallisuuden varmistamiseksi.

Lisätietoja löytyy esimerkiksi standardeista SFS 6000-5-55 (kohta 551.7.6), SFS-EN 61140 + A1 (kohta 8.3.1) sekä SFS 6002 (kohdat 6.2.1 ja 6.2.2).



Tekninen liite 1
Enintään 50 kVA
tuotantolaitoksia
koskevat tekniset
vaatimukset

4

Sähköverkko/Ina Lehto

10.6.2014

6. Laitoksesta verkonhaltijalle toimitettavat dokumentit

Ennen tuotantolaitoksen liittämistä verkkoon tulee verkonhaltijalle toimittaa keskeiset laitosta koskevat dokumentit ja tiedot. Verkonhaltija tarvitsee ainakin perustiedot laitteistosta (generaattorityyppi, nimellisteho, nimellisvirta) sekä tiedot liitäntälaitteena käytettävästä vaihtosuuntaajasta (suuntaajan tyyppitiedot ja asetteluarvot). Nämä tiedot kannattaa toimittaa verkonhaltijalle riittävän aikaisessa vaiheessa, mieluiten ennen tuotantolaitoksen hankkimista.

Toimitettavat tiedot:

- Laitoksen tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta
- Liitäntälaitteen (vaihtosuuntaajan) tyyppitiedot
- Suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat
- Tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika)

Energieateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellisteholtaan enintään 50 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle tai asiakas voi tarvittaessa täyttää lomakkeen myös itse. Sähköntuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

1. YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkönsiitolaskulta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	Puhelinnumero

2. TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

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

3. TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

3.1. Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehtoista)

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

<input type="checkbox"/> Energieateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1	<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimuskirje VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)	<input type="checkbox"/> Jokin muu
HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä	HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytä myös lomakkeen kohta 7.

3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen

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

4. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT

(tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

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

5. LISÄTIEDOT

Lisätietoja

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

6. ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi	
Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvitys

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

7. Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat*HUOM! Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3. vaihtoehdon Jokin muu*

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