

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tuomo Auvinen

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT JA NIIDEN SOVELTUVUUS KO-
TIKÄYTTÖÖN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2014
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä
Tuomo Auvinen

Nimeke
Aurinkosähköjärjestelmät ja niiden soveltuvuus kotikäyttöön
Toimeksiantaja
Karelia ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa sähköenergiaa ja miten hyvin ne soveltuvat Suomen olosuhteisiin. Selvitettävänä oli myös, kuinka paneelien käyttö saadaan kannattavaksi ja kuinka paljon sillä saadaan leikattua omaa sähköenergian kulutusta. Tavoitteena oli tehostaa aurinkopaneelien energian tuottoa erilaisilla menetelmillä, kuten oikeanlaisen asennuspaikan valitsemisella, aurinkoa seuraavalla aurinkopaneelijärjestelmällä ja paneelien jäähdytyksellä.

Työtä varten suoritettiin mittauksia, jotka osoittivat kuinka paljon sähköenergian tuotto vaihtelee erilaisten asennuskulmien ja sääolosuhteiden mukaan. Yllättävänä asiana mittauksissa tuli se, kuinka lumen heijastus ja matala lämpötila vaikuttavat aurinkopaneelin tehoon myönteisesti. Mittausten tuloksena ilmeni myös aurinkoon kohtisuoraan suunnattujen paneelien hyvä energian tuotto, vaikka aurinko paistoi matalalta ja sen säteilyteho oli pieni.


Aurinkopaneelijärjestelmien hinnoissa on suuria eroja, riippuen siitä, mistä ne hankitaan ja kuinka paljon pystyy järjestelmästä toteuttamaan omana työnä, mikä taas vaikuttaa paljon järjestelmän kokonaishintaan ja se puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti järjestelmä maksaa itsensä takaisin.

Kotitalouksiin hankittavat aurinkopaneelit kannattaa asentaa kiinteästi. Ne maksavat itsensä takaisin lyhyimmillään 15 - 20 vuoden aikana. Mikäli halutaan investoida aurinkoa seuraaviin telineisiin, niiden investointi kustannus voi olla 50 % aurinkopaneelien hinnasta, koska ne tuottavat 50% enemmän energiaa auringosta.

Kieli
suomi

Sivuja 32
Liitteet 4
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
aurinkoenergia, aurinkokennot

| | |
|---|--|
|  Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES | THESIS May 2014 Degree Programme in Electrical Engineering Karjalankatu FI 80200 JOENSUU FINLAND +358 (13) 260 6800 |
| Author Tuomo Auvinen | |
| Title Solar Photovoltaic Systems and Their Suitability for Home Use Commissioned by Karelia University of Applied Sciences | |
| <p>The purpose of this thesis was to find out how much electric energy can be produced by using solar cells and how well those cells suit to Finnish circumstances. The aim was also to figure out how to make solar cells profitable in use and how much it is possible to cut own electric energy consumption by using these cells. The goal was to increase energy production by solar cells by using different methods, such as choosing the correct installation location, using a solar tracker system and by cooling the solar cells.</p> <p>For this thesis, measurements were performed, which showed how much the electrical energy yield varies according to different mounting angles and weather conditions. It was surprising how snow reflection and low temperature affect the solar cells power positively. The measurements showed also how much power the panels produced when they were facing the sun, even when the sun shined from low and the radiated power was small.</p> <p>The prices of solar cell systems have big differences, depending on where it is bought and how much one can do by oneself, which affects its total price and which in turn affects how fast the system pays itself back. The thesis clarifies how it is good to install the solar panels and how much the solar tracker system can cost compared to a stationary installation.</p> | |
| Language Finnish | Pages 32 Appendices 4 Pages of Appendices 4 |
| Keywords Solar energy, solar cell | |

Sisältö

Terminologia

| | |
|---|-----------|
| 1 Johdanto | 7 |
| 2 Auringon energia | 8 |
| 2.1 Aurinkoenergia Suomessa..... | 8 |
| 2.2 Aurinkoenergian tuottoon vaikuttavat tekijät..... | 9 |
| 3 Aurinkokenno | 10 |
| 4 Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä | 11 |
| 4.1 Järjestelmän mitoitus..... | 11 |
| 4.2 Verkkoinvertteri..... | 11 |
| 4.3 Suojalaitteet..... | 12 |
| 4.4 Järjestelmän asennus..... | 12 |
| 4.5 Huolto..... | 13 |
| 4.6 Muunneltavuus..... | 13 |
| 5 Aurinkopaneelityypit | 14 |
| 5.1 Yksikidekenno..... | 14 |
| 5.2 Monikidekenno..... | 15 |
| 5.3 Ohutkalvokenno..... | 15 |
| 6 Aurinkosähköjärjestelmän verkkoon liittäminen | 17 |
| 6.1 Verkkoon liittämisen sopimukset..... | 17 |
| 6.2 Verkon soveltuvuus aurinkopaneelikäyttöön..... | 17 |
| 6.3 Sähköverkon kehitys..... | 18 |
| 7 Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset ja kannattavuus | 19 |
| 8 Mittaukset | 21 |
| 8.1 Aurinkopaneelin tuotto käytännön mittauksilla..... | 21 |
| 8.2 Sähkön tuoton vertailu kiinteän ja säätyvän järjestelmän välillä..... | 21 |
| 8.3 Paneelien jäähtytys..... | 22 |
| 9 Pohdinta | 23 |
| Lähteet | 25 |

Liitteet

Liite 1 Aurinkoisen sään mittaustulokset

Liite 2 Pilvisen sään mittaustulokset

Liite 3 Jäähdytetyn paneelin mittaustulokset

Liite 4 Kannattavuus ja takaisinmaksuajat

Terminologia

Aurinkokenno

Aurinkokenno muuttaa auringon säteilyenergian sähköksi valosähköisen ilmiön avulla.

Aurinkokennot ovat tyypillisesti halkaisijaltaan 9-16 cm:n kokoisia levyjä.[1; 2; 3]

Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli koostuu yleensä useista aurinkokennoista, joita on kytketty sarjaan ja rinnan halutun jännitteen ja virran saavuttamiseksi, jolloin myös pinta-ala kasvaa. Aurinkopaneeleissa aurinkokennoja suojaa yleensä metallikehys ja -tausta ja päällä on auringonsäteilyenergiaa hyvin läpäisevä kuori, joka on lasia tai muovia.[4]

Aurinkopaneelin hyötysuhde

Aurinkopaneeleita voi vertailla hyötysuhteella, eli jaetaan nimellisteho paneelin pinta-alan ja säteilytehon 1000 W/m^2 :n tulolla tulos on prosentteina. Hyötysuhde kuvaa sitä, kuinka paljon auringon säteilyenergiasta muuttuu sähköenergiaksi.[5; 4]

Sähkön mikrotuotanto

Mikrotuotannolla tarkoitetaan kiinteistön sähköverkkoon liitettyä sähköntuotantolaitteistoa, kuten aurinkopaneeliryhmää tai tuulivoimalaa, jonka yhteisteho on enintään 50 kVA. Mikrotuotannolle on tyypillistä, että tuotettu sähkö kulutetaan kodin omissa sähkölaitteissa tai sähkölämmityksessä jos sähköntuotanto ylittää kulutuksen, voi sähkön myydä sähköyhtiölle.[7; 8]

Sähkön Pientuotanto

Pientuotannolle on useita eri määritelmiä. Ne pohjautuvat usein voimalan nimellis- tai maksimitehoon. Sähkön pientuotanto sisältää myös sähkön mikrotuotannon. Pienimuotoisen sähköntuotannon teho on tyypillisesti muutamia kymmeniä tai satoja kilowatteja tai korkeintaan muutamia megawatteja. Sähkömarkkinalain pienimuotoisen sähköntuotannon määritelmässä pientuotanto on alle 2 MVA.[7; 9]

Syöttötariffi

Syöttötariffi on takuuhintajärjestelmä, jolla valtion on tarkoitus ohjata sähköntuotantorakennetta lisäämään uusiutuvien energianlähteiden käyttöä, jolloin tuotantotuki maksetaan energian korkeampana hintana. Tuotantotukea maksetaan uusille energiantuottotavoille, että ne saadaan kannattaviksi, ja tukea vähennetään tekniikan kehittyessä. Tällä hetkellä mm. tuulivoimaloille ja biokaasuvoimaloille on oma syöttötariffi olemassa, aurinkovoimaloille ei ainakaan vielä ole Suomessa omaa syöttötariffia.[10]

1 Johdanto

Työssä selvitettiin, kuinka hyvin aurinkoenergialla tuotettu sähkö soveltui kotitalouskäyttöön Suomessa. Tarkoituksena oli mitoitaa aurinkopaneelijärjestelmä omakotitaloon niin, että se olisi mahdollisimman kustannustehokas. Aiheessa käsiteltiin järjestelmän hintaa, takaisinmaksuaikoja, kannattavuutta ja minkä verran aurinkopaneelit tuottavat sähköä, minkälaiseen ympäristöön järjestelmä soveltuu sekä siihen, millaiset tulevaisuuden näkymät järjestelmällä on. Aurinkopaneelit ovat saavuttaneet suosiota mm. Keski-Euroopassa ja Aasiassa, jossa niitä käytetään jo merkittävässä määrin verkkoon kytketyissä järjestelmissä. Aihe on valittu siksi, että aurinkopaneelit ovat yleistymässä vähitellen myös Suomessa.

2 Auringon energia

Aurinko on ihmisen näkökulmasta loppumaton luonnonvara, jonka energia syntyy fuusioreaktiossa, jossa vety muuttuu heliumiksi. Maapallon etäisyydellä auringon säteilyteho on noin 1360 W/m^2 , jota kutsutaan aurinkovakioksi. Säteilyn määrä kuitenkin vaihtelee hieman auringon pilkkujen määrän mukaan, sekä maapallon etäisyyden muuttuessa aurinkoon nähden. Jos aurinkovakion säteilymäärä jaetaan tasaisesti maapallon pinnalle, saadaan auringon säteilytehoa keskimäärin 340 W/m^2 . Maapallon pinnalle ei kuitenkaan saada kyseisiä säteilymääriä, koska osa säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen jo ilmakehästä ja osa tehosta menee ilmassojen lämmittämiseen. Myös auringon säteiden tulokulma vaikuttaa säteilytehon määrään, mikä tarkoittaa auringon kulmaa horisonttiin nähden. Auringon kulmaan taas vaikuttavat leveyspiiri, kellon- ja vuodenaajat. Keski-Suomessa auringon säteilytehoa saadaan noin 900 kWh/m^2 vuodessa, päivän-tasaajan lähistöllä luku on noin 2000 kWh/m^2 vuodessa.[11; 12; 13; 14.]

2.1 Aurinkoenergia Suomessa

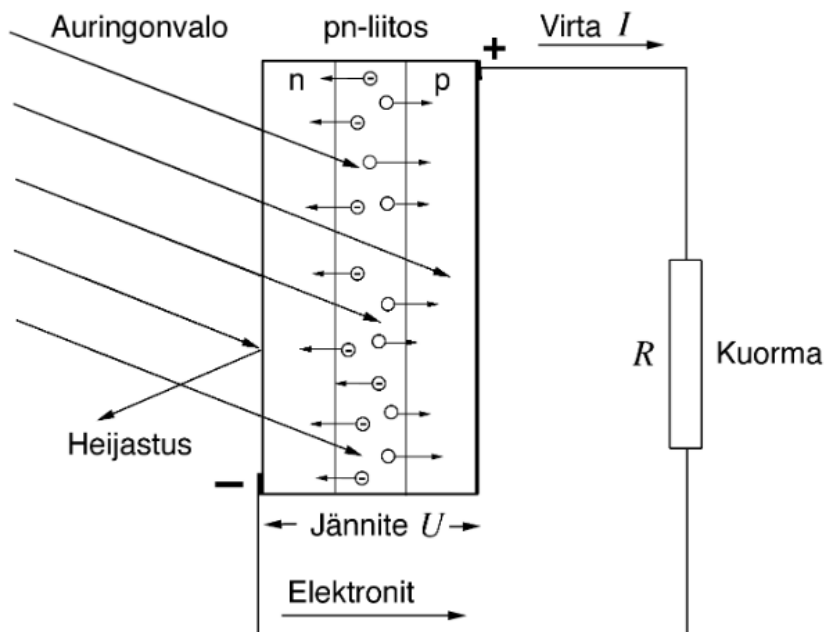
Toisin kuin monesti luullaan, Suomessakin saadaan kohtuullisen paljon auringon säteilyenergiaa. Esimerkiksi Itä-Suomessa saadaan säteilyenergiaa noin $800 - 900 \text{ kWh}$ neliömetrille vuotta kohti. Voimme verratakin Suomea Saksaan, joka on yksi suurimpia aurinkoenergian tuottajia maailmassa ja Saksan pohjoisosissa säteilytuotot ovat noin $1000 - 1200 \text{ kWh}$ neliömetrille/vuosi. Suomen haasteena on kuitenkin aurinkoenergian suuri kausivaihtelu, joka tarkoittaa sitä, että aurinkoenergiasta suurin osa (70 %) saadaan huhti - syyskuun aikana, kun taas suurin kulutus kotitalouksissa ajoittuu talvikausille. Näin ollen verkkoon kytketyllä aurinkopaneelijärjestelmällä ei voi kattaa koko energian kulutusta, vaan kannattaa pyrkiä leikkaamaan verkosta ostettavan energian määrää mahdollisimman vähäiseksi sen mukaan, millaiset aurinko-olosuhteet ovat.[5; 15; 16; 17]

2.2 Aurinkoenergian tuottoon vaikuttavat tekijät

Aurinkopaneelistä saatavaan energian määrään vaikuttavaa on Auringon säteilyteho, joka on Suomessa noin $1000 - 0 \text{ W/m}^2$. Maahan tulevan säteilyn tehoon vaikuttaa suuresti pilvisyys, joka voi rajoittaa säteilytehon kymmenesosaan verrattuna pilvettömän taivaan säteilytehosta pilviverhon ollessa paksu. Myös puiden varjostus vaikuttaa merkittävästi aurinkopaneeleista saatavaan tehoon. Perinteisten aurinkopaneelien rakenteen takia jo pienen osan paneelista ollessa varjossa teho romahtaa pieneksi, johtuen kennojen sarjaan kytkennästä. Sarjaan kytkettyjen kennojen virta määräytyy vähiten virtaa päästävän kennon mukaan. Aurinkopaneelien kulmallakin aurinkoon nähden on suuri merkitys aurinkoenergian saantiin. Auringon säteiden kerääminen mahdollisimman suurelta pinta-alalta tuottaa parhaan paneelitehon, mikä tarkoittaa, että paneelit seuraisivat aurinkoa. Myös aurinkopaneelien hyötysuhteella on suuri merkitys aurinkopaneeleista saatavaan sähkötehoon. Hyötysuhteella tarkoitetaan sitä, kuinka suuren osan auringon säteilyenergiasta aurinkopaneeli pystyy muuttamaan sähköksi. Valmistajat käyttävät ohjearvoina maahan tulevan säteilyn tehoa 1000 W/m^2 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa.[18; 16; 19]

3 Aurinkokenno

Auringon säteily voidaan muuttaa suoraan sähköksi valosähköisen ilmiön perusteella toimivassa aurinkokennossa. Aurinkokenno on suuri läpimittainen diodi. Sen toiminta perustuu puolijohderajapintaan, joka on saatu aikaan rungon ja etupinnan erilaisella seostuksella. Kun auringon valo osuu kennoon, se irrottaa rungon atomeista elektroneja, joista osa hakeutuu rajapinnan sähkökenttään, joka puolestaan vetää ne kennon etupintaan. Elektronin tilalle jää positiivinen aukko. Kun kennon etu- ja takapinnat yhdistetään ulkoiseen kuormitukseen, vaeltavat elektronit kennon etupinnasta kuormituksen kautta takapintaan ja asettuvat vapaisiin elektroniaukkoihin, näin auringon valo on saanut aikaan sähkövirran.[5; 20; 21.] (kuva 1.)



Kuva 1. Aurinkokennon toimintaperiaate [5]

4 Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä

Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä tarkoittaa, että normaaliin verkkosähköliittymään kytketään rinnalle aurinkosähköjärjestelmä, joka käyttää liittymässä ensisijaisesti aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä ja ostaa verkosta lopun sähkön. Jos liittymässä ei kuluteta kaikkea sähköä jonka aurinkopaneelit tuottavat, voidaan ylimääräinen sähkö syöttää verkkoon. Tämä taas vaatii liittymän missä on kaksisuuntainen sähkön kulutuksen mittausta.[22; 23; 24]

4.1 Järjestelmän mitoitus

Aurinkopaneelijärjestelmä kannattaa mitoittaa siten, että se kattaa kotitalouskäytössä oman kulutuksen mahdollisimman hyvin ja että verkkoon syötettävä määrä jäisi kohtuulliseksi. Tämä verkkoon myytävä energia kannattaa jättää kohtuulliseksi siksi, että ostettavan sähkön hinta siirtokustannuksineen on noin 11 - 14 c/kWh ja verkkoon myytävästä sähköstä maksetaan noin 4 c/kWh sopimuksista riippuen.[25; 26]

4.2 Verkkoinvertteri

Verkkoinvertteri, eli verkkomuunnin muuttaa aurinkopaneeleista saatavan tasasähkön verkkosähkökelpoiseksi energiaksi. Aurinkopaneelijärjestelmän verkkomuunninta valittaessa tulee ottaa huomioon, että muunnin tarvitsee verkkoyhtiön hyväksynnän, jotta järjestelmä saadaan kytkettyä verkkoon. Aina kannattaa olla yhteydessä omaan verkkoyhtiöön ennen aurinkosähköjärjestelmän hankkimista, jotta saa varmistettua järjestelmän sopivuuden verkkoon. Sähkönmyyntisopimus tehdään oman sähköyhtiön kanssa, sopimuksessa määritellään ostettavan ja myytävän sähkön hinta, sillä sähkön osto ja myynti tapahtuu tällä hetkellä samalle yhtiölle. Lisäksi tulee ottaa huomioon oma sähkön kulutus, jotta tiedetään, kuinka suurissa teholuokissa ollaan oman sähkön kulutuk-

sen leikkaamisessa ja kuinka paljon sähköenergiaa syötetään verkkoon. Myös verkkomuunninta hankkiessa tulee miettiä, millaisia paneeleita aikoo hankkia, kuinka paljon hankkii ja aikooko myöhemmin lisätä paneelien määrää. Verkkoon liitettävää verkkomuunninta hankkiessa joutuu myös päättämään, investoiko 3-vaiheiseen vai 1-vaiheiseen verkkomuuntimeen, jolloin järjestelmän kokonaisteho voi kasvattaa suuremmaksi, koska yksivaiheisena suurin näennäisteho voi olla 3,7 kVA (ylivirtasuojaja 16A). Valintaan vaikuttaa, kuinka ison järjestelmän aikoo hankkia, haluaako leikata liittymän koko kulutusta, vai vain tietyn vaiheen kulutusta ja että haluaako myydä ylijäämäsähköä verkkoon enemmän.[27; 28; 29; 30]

4.3 Suojalaitteet

Verkkoon kytketyn aurinkopaneelijärjestelmän tulee olla sellainen, että sen sähkönlaatu on verkkoyhtiön hyväksymien standardien rajoissa, jolloin se asettaa verkkoinvertterille tiettyjä vaatimuksia. Vain jännitteiseen verkkoon saa syöttää sähköä ja jos verkosta katkeaa sähkö, on aurinkopaneelijärjestelmän sähkön syötön katkettava automaattisesti. Takaisinsyötön palattua aurinkokennojärjestelmä voi kytkeytyä verkkoon automaattisesti tai manuaalisesti, lisäksi verkkoinvertteri pitää saada kytkettyä irti verkosta turvakytkimellä.

Paneelien suojaus pienjännite puolella toteutetaan sulakkeilla johtojen lähdoista, tällä vältytään ylivirroilta johtimissa ja paneeleissa, jotka on myös pystyttävä kytkemään irti verkkoinvertteristä kytkimellä.[35; 29]

4.4 Järjestelmän asennus

Järjestelmän voi tilata avaimet käteen - periaatteella, jolloin järjestelmän pystyy ostamaan suoraan verkkoyhtiöltä ja tällöin sähköyhtiön toimesta katsotaan sopiva kokonaisuus kohteen mukaan. Jos haluaa itse tehdä mahdollisimman paljon järjestelmän asennuksessa, on huomioitava, että kaapeleiden läpiviennit on mahdollista tehdä. Tulee ottaa myös huomioon, että kaikille asennuksessa tarvittaville komponenteille on katsottu

valmiiksi tilat ja että kyseiset komponentit ovat hankittu etukäteen.[36; 37; 38; 39; 40; 19]

4.5 Huolto

Yleensä järjestelmät pyritään tekemään mahdollisimman huoltovapaiksi, kuitenkin on aina varauduttava, että huoltoja voi joutua tekemään, niinpä laitteisto kannattaa suunnitella niin, että huoltokohteisiin on helppoa päästä. Huollettavia kohteita voi olla paneelit, joita tulee puhdistaa mahdollisista irtoroskista, kuten esimerkiksi puun lehdistä ja kaikesta muusta, mikä estää auringonsäteilyn pääsyn paneelin pinnalle. Suomen oloissa on otettava huomioon myös lumikuorma ja että lumi pääsee myös valumaan paneelien pinnalta pois.[24]

4.6 Muunneltavuus

Verkkoon kytketty piensähköntuotantojärjestelmä kannattaa mitoittaa niin, että myöhemmin voi lisätä kapasiteettia, eli ylimitoitetaan verkkomuunninta hieman, jotta järjestelmään voi lisätä vielä myöhemmin aurinko paneeleita. Myös asennuksissa ja johdotuksissa on huomioitava, että muutoksia pystyisi vielä tekemään.[41]

5 Aurinkopaneelityypit

Työssä keskitytään ensimmäisen (yksikide- ja monikide) ja toisen sukupolven aurinkokennoihin (ohutkalvo), koska kolmannen sukupolven kennot ovat vasta kehitysasteella, eikä niitä ole myynnissä kuluttajien käyttöön. Kolmannen sukupolven kennoilla tarkoitetaan uusia erilaisia tekniikoita, kuten muun muassa väriaine herkistettyyn kalvoon perustuvia kennoja [31, s.12]

5.1 Yksikidekenno

Ensimmäisen sukupolven kennoksikin kutsutun yksikiteisen kennon pintaväri on tasainen ja se valmistetaan yksittäisestä piikiteestä. Vanhimpana aurinkokenno –tekniikkana tunnettu yksikidekenno on pitkäikäinen ja sitä on koeteltu paljolti. Huonona puolena tässä tekniikassa on valmistamisen hitaus ja monimutkaisuus. Kaiken kaikkiaan yksikidekennossa hyötysuhde on yleensä 11 - 19 %, mikä on verrattessa paras monikidekennoon ja ohutkalvokennoon nähden. Valmistamisprosessissa leikataan sylinterimäisestä piharkosta pyöreitä ohuita (paksuudeltaan 200 - 300 μm) kiekkoja ja näistä kiekkoista leikkaamalla reunat pois, saadaan kennoista lähes neliön muotoisia ja tämä reunojen leikkaaminen aiheuttaa runsaasti materiaalihukkaa.

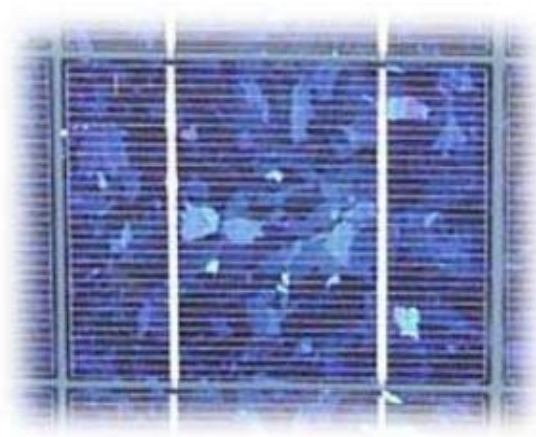
Lämpötilan vaikutus yksikidekennon sähköntuottoon on heikentävä ja määrällisesti sähköntuotto heikentyy ainoastaan noin 0,35 % / $^{\circ}\text{C}$.(Kuva 2)[5]



Kuva 2. Yksikidekenno [5, s. 1]

5.2 Monikidekenno

Tämä monikidekenno on myös ensimmäisen sukupolven kennoihin kuuluva kenno. Yksikidekennoon verrattaessa tämä monikidekenno on huomattavasti edullisempi ja helpompi valmistaa. Valmistus tapahtuu valamalla piimassasta suorakulmainen harkko, joka leikataan samaan tapaan kuin yksikidekennot. Näiden kennojen toiminnallisen osan paksuus on 200 - 300 μm , aivan kuten yksikidekennojenkin. Hyötysuhde monikiteisessä kennossa on 11 - 15 %, joka on hieman huonompi yksikiteiseen verrattuna, koska monikidekennossa on hilavirheitä enemmän. Lämpötilan vaikutus on samaa luokkaa yksikidekennon kanssa tai jopa hieman suurempi. (Kuva 3) [32, s. 21]



Kuva 3. Monikidekenno [5, s. 1]

5.3 Ohutkalvokenno

Ohutkalvokenno on toisen sukupolven kenno -tyyppi. Tällä hetkellä markkinoilla olevissa ohutkalvo – aurinkopaneeleissa hyötysuhde on 5 - 8 %, mikä on huonompi kuin yksi – ja monikidekennoissa. Saman tehon saavuttaakseen ohutkalvokenno tarvitsee noin puolet enemmän pinta-alaa muihin edellä mainittuihin kennoihin nähden. Ohutkalvokennon hyviä puolia on, että se tuottaa sähköä hyvin myös hajavalossa, eikä lämpötila vaikuta sähkön tuottoon niin merkittävästi. Lisäksi ohutkalvotekniikka mahdollistaa ohuet ja taipuisat kennot. Kennojen valmistuksessa kolme käytetyintä materiaalia ovat

amorfinen pii (a-Si), kadmium-telluuri (CdTe) ja kupari-indium- (gallium) -diselenidi (CIS/CIGS). (Kuva 4) [33; 32, s. 6]



Kuva 4. Ohutkalvokenno (CIGS) [33]

6 Aurinkosähköjärjestelmän verkkoon liittäminen

Aurinkosähköjärjestelmän verkkoon liittämiseen vaaditaan oman sähköyhtiön sopimus, sähköyhtiön hyväksymä verkkomuunnin, aurinkopaneelit suojalaitteineen, sekä asennustelineet sekä kaapeloinnit.[29; 24]

6.1 Verkkoon liittämisen sopimukset

Verkkoon liitettävästä aurinkosähköjärjestelmästä on aina tehtävä sopimus oman sähköyhtiön kanssa mutta kaikkien sähköyhtiöiden kanssa ei voi tehdä sähkön pientuotanto sopimusta, joten tässäkin asiassa kannattaa kääntyä oman sähköyhtiön puoleen. Sähkön osto - ja myyntihinnat vaihtelevat yhtiökohtaisesti, eivätkä kaikki yhtiöt maksa verkkoon syötettävästä sähköstä lainkaan. Tällä hetkellä hinnat liittymästä verkkoon syötetylle sähkölle on noin 0 - 5 snt /kWh. Järjestelmän soveltuvuus on neuvoteltava sähköyhtiön kanssa, sillä kaikki verkkomuuntimet eivät ole sähköyhtiöiden hyväksymiä, verkkoon syötettävän jännitteen on täytettävä standardi SFS-EN 50160. [29, s. 6; 42; 43; 44]

6.2 Verkon soveltuvuus aurinkopaneelikäyttöön

Tämänhetkistä sähköverkkoa suunniteltaessa ei ole otettu huomioon, että sähkönsyöttö voisi tapahtua käyttäjältä päin, mikä on selvästi yleistymässä yksityisasumisessa. Sähköverkko on uusien haasteiden edessä siinä, miten verkonsuojaus järjestetään ja kuinka verkon kuormitus muuttuu sähkön pientuotantoa lisättäessä, kun pientuotannon sähköntuotanto muuttuu jatkuvasti olosuhteiden mukaan tuotantotavasta riippuen.[45; 46; 47]

6.3 Sähköverkon kehitys

Tulevaisuudessa sähköverkkojen suunnittelussa on otettava huomioon, että verkon käyttöpisteissä voi olla myös sähköntuotantoa yhä enemmissä määrin ja verkossa sähköenergiaa kulkee molempiin suuntiin, mikä aiheuttaa omat haasteensa verkon suojauksessa ja mitoituksessa. Pientuotannon suuri vaihtelu asettaa myös omat haasteensa sähköverkkoon, jolloin energiayhtiöiden on tämä otettava huomioon lisääntyvänä säätövoiman tarpeena, jolloin energian kulku muuttuu jatkuvasti tuotannon ja käytön mukaan.[45; 47; 48]

7 Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset ja kannattavuus

Verkkoon kytkettävien järjestelmien hinnat vaihtelevat suuresti; riippuen järjestelmän teholuokasta, ostaako sähköyhtiöltä valmiin paketin vai ostaako laitteet erikseen ja asennuttaa järjestelmän. Hintaan vaikuttaa myös se, kuinka suuri on oman työn osuus.

Takaisinmaksuaika riippuu järjestelmän ja energian hinnasta, sekä sähköntuotto määrästä. Laskelmissa ei oteta huomioon sähkön hinnan kehitystä, sijoitetun pääoman korkoa eikä inflaatiota, koska niitä on vaikea arvioida ja ne kumoavat osittain toisiaan.

Kannattavuuslaskelmissa on käytetty vuotuisena säteily määränä 900 kWh / m² vuodessa ja asennuksissa etelään suunnattuja paneeleita, joiden kallistuskulma on 40°. Valmiilla energialaskurilla energiaa sai 852 Wh/1Wp. Kannattavuuslaskelmissa on vertailtu takaisinmaksuaikoja eri paikoista ostettujen aurinkopaneelijärjestelmien välillä, joissa myös oman työn osuus muuttuu, mikä vaikuttaa järjestelmän lopulliseen hintaan. Vertailussa on myös erikokoisia järjestelmiä, mikä vaikuttaa järjestelmän koon kasvaessa edullisempaan wattihintaan.

Kannattavuus laskelmissa on otettu vertailuun kaksi aurinkosähköjärjestelmää, johon asennus sisältyy, sekä kaksi aurinkosähköjärjestelmää johon ei kuulu asennus. Molemmista ryhmistä on otettu järjestelmät kahdesta eri teho luokasta. Vertailun tuloksena voi arvioida, että aurinkosähköjärjestelmät maksavat itsensä takaisin laskennallisesti 15 - 100 vuodessa. Järjestelmän takaisinmaksuaika riippuu siitä, kuinka suuri osa aurinkopaneeleilla tuotetusta sähköstä kuluu omaan käyttöön ja kuinka suuri osa syötetään verkkoon. Takaisinmaksuajoissa tulee ottaa huomioon myös aurinkosähköjärjestelmien käyttöikä, joka on valmistajien mukaan noin 30 vuotta.(Liite 4) [53; 56; 57; 49; 50; 51; 52; 54; 55]

Aurinkopaneelien tulevaisuuden näkymät ovat hyvät, koska hinnat alkavat olla sillä tasolla tällä hetkellä että niillä kannattaa jo tuottaa sähköä muutenkin kuin vain silloin, kun muuta mahdollisuutta ei ole. Tähän asti esimerkiksi mökki käytössä aurinkopaneelit

ovat todettu kannattaviksi, missä ei ole mahdollisuutta kiinteään verkkosähköliittymään. Aurinkopaneeleiden hinnat ovat tällä hetkellä noin 1 €/W, kun vielä kymmenen vuotta sitten paneeleiden hinnat olivat moninkertaisia tähän verrattuna. Tällä hetkellä kuitenkin hintojen lasku on hidastunut. Myös järjestelmän muissa osissa hinnassa on kehitystä, esimerkiksi verkkomuuntimien hinnat ovat laskeneet huomattavasti ja asennuskiinnikkeitä on vähitellen tullut sarjatuotantoon, kun aikaisemmin niitä on jouduttu tekemään tapauskohtaisesti. Myös aurinkopaneleilla tuotetusta sähköstä saatava korvaus on yksi isoista kysymyksistä, johon on varmasti tulossa muutoksia; muun muassa aurinkopaneleilla tuotetusta sähköstä nettolaskutuksena hyvitetty osuus muuttaisi aurinkopaneelien asemaa taloudellisesti kannattavana investointina paljon.[27; 58; 54; 53; 56]

8 Mittaukset

Mittauksissa vertailtiin vaihtoehtoisia asennustapoja, joilla voisi lisätä sähköntuottoa valmiilla aurinkopaneeleilla ja sitä, kuinka suuri hyöty oli kääntää paneeleita auringon mukaan. Mittauksissa vertailtiin myös sitä, onko hyötyä jäähdyttää paneeleita ja kuinka paljon kyseiset järjestelmät saisivat maksaa enemmän, että niistä olisi hyötyä.

8.1 Aurinkopaneelin tuotto käytännön mittauksilla

Aurinkopaneelien käytännön mittauksia suoritettiin 320 mm * 195 mm:n kokoisilla 5W monikidepaneeleilla, joilla sai kuitenkin vertailukohtaa isompiin järjestelmiin. Aurinkopaneelit tuottavat aina hyvin, kun niihin vain paistaa aurinko. Aurinkoiseen säähän nähden pilvisellä säällä paneelien sähköntuotto putoaa noin neljäsosaan. Lumen heijastus vaikuttaa paneeleista saatavaan tehoon positiivisesti noin 15 % verran. Paneelien oikea suuntaus vaikuttaa enemmän kuin auringon korkeus horisonttiin nähden. On tärkeää, että aurinkopaneeleista on esteetön näkyvyys aurinkoa kohti koko päivän ajan, tämän takia aurinkopaneelit asennetaan yleensä rakennuksien katolle.

8.2 Sähkön tuoton vertailu kiinteän ja säätyvän järjestelmän välillä

Kolmella erilaisella aurinkopaneelin asennustavalla vertailtiin sitä, kuinka suuri ero vuorokauden aikana on sähköntuotossa ja mikä näistä kolmesta asennustavasta olisi kannattavin. Mittaukset suoritettiin sekä pilvisenä päivänä, että aurinkoisena päivänä. Parhaimmat sähköntuottotulokset saatiin aurinkoa seuraavalla paneelilla, joka tuotti 50 % enemmän sähköä kuin kohtisuoraan etelään asennetut paneelit, joiden kallistuskulma oli 50°. Aurinkoa seuraavan aurinkopaneelin sähköntuottoerot voivat kuitenkin olla enemmänkin erityisesti Suomessa keskikesällä, jolloin aurinko paistaa päivän aikana

hyvin eri suunnista. Etelään suunnatut paneelit tuottivat noin puolet enemmän sähköä, kuin kohtisuoraan taivaalle suunnatut aurinkopaneelit. Ensimmäisessä mittauksessa käytettiin paneelia, joka oli kohtisuoraan etelään kallistuskulman ollessa 50°. Pilvisellä säällä erot tasoittuvat ja jäivät alle 20 % kaikkien eri suuntiin asennettujen paneelien välillä, koska auringonsäteilystä suurin osa on hajasäteilyä, jolloin asennussuunnalla ei ole niin paljoa merkitystä. Pilvisellä säällä saatava hyöty auringon mukaan liikkuvasta asennuksesta jää vaatimattomaksi, tosin pilvisellä säällä tuotetun energian määrä oli pieni verrattuna kokonaisenergian tuottoon. (Liite 1) (Liite 2)

8.3 Paneelien jäähdytys

Normaaleilla yksi- ja monikide-aurinkopaneeleilla sähköntuotto heikkenee paneelin lämpötilan kasvaessa valmistajien ohjearvojen mukaan noin 0,35 % / °C. Mittauksessa vertaillaan kuinka paljon käytännössä paneelin jäähdytys vaikuttaa sähköntuottoon. Koeympäristössä paneeleita jäähdytettiin puhaltimilla, mutta kiinteästi asennetuissa laitteistoissa paneeleita voisi jäähdyttää paneelin takana olevalla nestekiertoisella jäähdytyskennolla, josta lämpö voidaan syöttää esim. maalämmön maapiiriin, josta sen voi hyödyntää myöhemmin maalämpöpumpussa. Mittauksien ajankohta oli keväällä lämpötilan ollessa korkeimmillaankin alle 10 °C, jolloin jäähdytetyn ja jäähdyttämättömän paneelin lämpötilaero oli korkeimmillaan noin 20 °C, mikä vaikutti paneelissa yli 10 % eroon tehon tuotossa. Kesällä lämpimällä ilmalla ulkolämpötilan ja säteilytehojen kasvaessa kasvaa myös paneelien jäähdytyksen merkitys suuremmaksi, kun aurinkopaneelit käyvät huomattavasti kuumempina. Aurinkopaneelien jäähdytys onkin merkittävässä roolissa vasta kun auringon säteilyteho on suuri, esimerkiksi aurinkopaneelijärjestelmissä missä säteilyä tehostetaan peileillä. [5, s. 6; 59] (Liite 3)

9 Pohdinta

Tällä hetkellä aurinkopaneelien hinnat ovat jo sillä tasolla, että aurinkosähköjärjestelmän saa kannattavaksi jos voi itse tehdä osan asennuksista, vaikka Suomessa ei tueta pientuotantoa, tosin takaisinmaksuajat ovat pitkiä. Paneelien hinnat ovat kuitenkin pudonneet rajusti viimeisen kymmenen vuoden aikana ja paneelien hinnan kehitys on jo hidastunut huomattavasti, myös järjestelmän muissa osissa tapahtuu hinnan kehitystä jonkin verran, mutta ei niin merkittävästi. Näin ollen järjestelmän hankinta on järkevää jos haluaa sijoittaa puhtaaseen lähellä tuotettuun energiaan, vaikka parempaa tuottoa sijoitetulle rahalle voi olla helppo löytää. Tulevaisuudessa jää nähtäväksi miten halvalla aurinkopaneelita saadaan valmistettua, jolloin se olisi entistä mielenkiintoisempi vaihtoehto tuottaa sähköä.

Mittauksissa huomion arvoisia asioita olivat lumen vaikutus mittaustuloksiin verrattaessa tuloksia lumen ollessa maassa ja kun lumi oli sulanut. Mittauksissa lumen aikaan saadut paneelitehot olivat suurempia kuin myöhemmin keväällä tehdyissä mittauksissa saadut paneelitehot, vaikka auringon säteilytehot olivat suuremmat myöhemmissä mittauksissa. Laskennallisesti parhaillaan lumen vaikutus auringonsäteiden heijastajana oli lisäystä paneelitehoissa noin 20 % mikä kannattaa myös ottaa huomioon.

Työn luotettavuuteen on vaikuttanut useat mittauskerrat ja niiden perusteella saadut yhtenevät tulokset sääolosuhteiden kanssa. Auringon tuottaman sähköenergian määrä muuttui johdonmukaisesti sääolosuhteiden vaihdellessa. Tutustumalla useisiin eri lähteisiin sain hyvän tietopohjan työn suorittamiseen ja tutkimustuloksien arviointiin.

Opinnäytetyön myötä oma tietämys aurinkopaneelitekniikkaan lisääntyi huomattavasti ja aihetta käsitellessä tuli ilmi, että monilla olisi kiinnostusta aurinkopaneelitekniikkaan. Aurinkopaneelijärjestelmän hankintaa on monien mielestä rajoittanut vähäinen tieto aurinkopaneelijärjestelmästä ja aurinkopaneelijärjestelmien asennuspalveluiden vaikea saanti.

Tulevaisuudessa aurinkopaneelien määrä tulee todennäköisesti kasvamaan merkittävästi, jolloin voi odottaa näkevän aurinkopaneeli järjestelmiä talojen katoilla monessa paikassa. Aurinkopaneelijärjestelmien määrän kasvaessa myös alan osaamisesta on kysyntää. Tämän opinnäyte-

työn tarkoitus oli antaa tietoa aurinkopaneelijärjestelmien toteuttamista aikoville. Työ antaa tietoa tämän päivän aurinkopaneelitekniikalla tehdyistä mittauksista ja tekniikasta, niinpä jatkotutkimusaiheita voisi olla vertailla tulevaisuudessa eroja eri tekniikoilla toimivien aurinkopaneelien keskinäisiä eroja.

Lähteet

1. kompo2010.Aurinkokenno. 2010. [Viitattu 24.4.2014].
<http://kompo2010.wikispaces.com/Aurinkokenno>
2. Korpela Aki. SMG-4450 Aurinkosähkö. Sähkömagnetiikka. 9.6.2012. [Viitattu 15.4.2014].
<http://www.aurinkokennot.fi/mika-on-aurinkokenno/>
3. Suntekno.Paneelinrakenne.2012.[Viitattu14.42014].
<http://suntekno.bonsait.fi/paneelin%20rakenne>
4. Suntekno. Aurinkopaneelit. 2012. [Viitattu 17.4.2014].
<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
5. Aurinkopaneeli. Kaikki tieto aurinkopaneeleista. 2014.[Viitattu 4.4.2014].
<http://www.aurinkopaneeli.org/aurinkopaneelin-toimintaperiaate/>
7. Ina Lehto. Motiva. Verkkoon sopivaa piensähköä. 10.11.2011. [Viitattu10.4.2014].
http://www.motiva.fi/files/4736/Verkkoon_sopivaa_piensahkoa_Ina_Lehto.pdf
8. Oulun seudun sähkö. Mikrotuotanto.2014. [Viitattu 10.4.2014].
<https://www.oulunseudunsahko.fi/Sahkoverkko/Asiakkaan-omasahkontuotanto/Mikrotuotanto,-enintaan-50-kVA>
9. Elenia. Sähköntuotanto. 2012. [Viitattu 10.4.2014].
http://www.elenia.fi/sahko/sahkon_tuotanto
10. Motiva. Syöttötariffi. 2014. [Viitattu 17.4.2014].
http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/syottotariffi_eli_takuuhintajarjestelma
11. Astro.utu. Aurinkovakio. 2013. [Viitattu 19.4.2014].
<http://www.astro.utu.fi/zubi/sun/solarc.htm>
12. Korteniemi Jarmo. Oulun Ylipoisto. Aurinko. 2001. [Viitattu 24.4.2014]. <http://www oulu.fi/nrpif/planets/aurinko.html>
13. Ilmatieteen laitos Ilmasto-opas. Auringon lähettämän säteilyn vaihtelut ja ilmastonmuutos. 13.3.2013. [Viitattu 10.3.2014] <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1bcf35ea-9104-47c8-bb37-498e88393997/auringon-sateilyn-vaihtelut.html>
14. aurinkoenergiaa.fi. Aurinkoenergia. 2012. [Viitattu 15.4.2014].
<http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/23/aurinkoenergia>
15. Motiva. Aurinkoenergia. 2014. [Viitattu 20.4.2014].
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia
16. Syke Ilmasto-opas.Tuuli- ja aurinkoenergia energianlähteinä. 2012. [Viitattu 7.4.2014].
<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/83fa215b-3f3d-4b48-9456-ce3a5940e830/tuuli-ja-aurinkoenergia.html>
17. Lundström Petra. Micre. Aurinkosähkö, Teknologia. 2014. [Viitattu 4.4.2014].
<http://www.micre.eu/fi/energiantuotanto/aurinkosaehkoe/>
18. Fortum. Energiayhtiön näkökulma aurinkoenergialiiketoimintaan globaalisti ja Suomessa. 11.2.2013. [Viitattu 5.4.2014].
<https://tapahtumat.tekes.fi/uploads/6cdd6184/Lundstrom-3714.pdf>

19. Eurosolar. Aurinkopaneelin asentaminen. 2008. [Viitattu 22.4.2014].
<http://www.eurosolar.fi/asentaminen/>
20. Aurinkokennot.fi. Aurinkoenergia. 2012. [Viitattu 19.3.2014].
<http://www.aurinkokennot.fi/mika-on-aurinkokenno/>
21. Eurosolar.2008. [Viitattu 14.4.2014].
<http://www.eurosolar.fi/usein-kysyttya/?kysymys=9>
22. Helsingin energia. Pientuotannonliittäminen. 2013. [Viitattu 13.3.2014].
<http://www.helen.fi/Kotitalouksille/Palvelumme/Liity-sahkoverkkoon/Sahkoliittyman-tilaus/Pientuotannon-liittaminen/>
23. Motiva. Opas sähkön pientuottajille. 4.2012. [Viitattu 28.3.2014].
http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf
24. Paananen Eero. Savon voima. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. 1.3.2013. [Viitattu 16.4.2014].
http://uusiutuvaenergia.savonia.fi/images/1_Liittaminen_jakeluverkkoon.pdf
25. Ilmastoinfo. Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus. 2012. [Viitattu 16.4.2014].
<http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/miten/huomioitavaa/>
26. Bionova consulting. selvitys sähkön pientuotannon nettolaskutuksesta. 15.6.2012. [Viitattu 8.4.2014].
https://www.tem.fi/files/33435/Bionova_selvitys_sahkon_pientuotannon_netтолaskutuksesta.pdf
27. Savon voima. Hajautetun sähköntuotannon liittäminen jakeluverkkoon.9.10.2013.[Viitattu29.4.2014].
http://uusiutuvaenergia.savonia.fi/images/AMK_VRK_9.pdf
28. Finnwind. Hinnasto. 2014. [Viitattu 13.4.2014].
<http://www.verkkokauppa.finnwind.fi/tuotteet.html?id=11/31>
29. Energiateollisuus. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon. 2009. [Viitattu 13.4.2014].
http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_verkostosuositus_lopullinen_2009.pdf
30. Aurinkosähköä Suomeen. Verkkoinvertteri. [Viitattu 15.4.2014].
<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/>
31. Kauranen Joonas. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Valosähköisten aurinkopaneelien hyötysuhteet. 1.12.2012. [Viitattu 16.4.2014].
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/86886/Kandi_Joonas_Kauranen.pdf?sequence=1
32. Viitanen Janne. Aalto-yliopisto. Aurinkosähköjärjestelmän yhdistäminen LED-valaistukseen tasajännitteellä. 1.3.2010. [Viitattu 19.3.2014].
<http://lib.tkk.fi/Dipl/2010/urn100279.pdf>
33. Solarcellcentral. The sun`s energy. 2014. [Viitattu 12.4.2014].
http://solarcellcentral.com/solar_page.html
34. Saarensilta Jukka. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Aurinkosähkön hyödyntäminen. 19.12.2012. [Viitattu 25.3.2014].
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53374/Aurinkos.pdf?sequence=1>

35. Lehto Ina. Energiateollisuus. Ohje verkon suunnittelijoille tuotannon liittämistä. 16.12.2011. [Viitattu 1.4.2014].
http://energia.fi/sites/default/files/ohje_verkon_suunnittelun_tueksi.pdf
36. Fortum. Aurinkopaketti. 2013. [Viitattu 3.4.2014].
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinkoenergiaratkaisut/aurinkopaneeli/sisalto/pages/default.aspx>
37. Finnwind. Aurinkosähköjärjestelmät. 2013. [Viitattu 3.4.2014].
<http://www.finnwind.fi/aurinkosahko>
38. Helsingin energia. Aurinkosähkön pientuotanto. 2013. [Viitattu 5.4.2014].
<https://www.helen.fi/Kotitalouksille/Palvelumme/Tuota-sahkoa/Aurinkosahkon-pientuotanto/>
39. Vattenfall. Omatuotanto. 2013. [Viitattu 5.4.2014].
<http://www.vattenfall.fi/fi/omatuotanto.htm>
40. Suntekno. Aurinkosähköjärjestelmän asentaminen. 2012. [Viitattu 6.4.2014].
<http://suntekno.bonsait.fi/aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20asentaminen>
41. Finnwind. Aurinkopaneelin nimellisteho. 2013. [Viitattu 7.4.2014].
<http://www.finnwind.fi/aurinkovoima/#aurinkopaneelin-nimellisteho>
42. Helsingin energia. Hinnasto. 2013. [Viitattu 1.4.2014].
<http://www.helen.fi/Documents/Hinnasto%20-%20pientuotanto/Pientuotannon%20osto%201.3.2013%20alkaen.pdf>
43. Fortum. Aurinkoenergian liittäminen verkkoon. 2014. [Viitattu 4.4.2014].
https://www.fortum.fi/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinkoenergiaratkaisut/pages/default.aspx?ad=dsa_adwords_aurinkoenergiaratkaisut&gclid=CPSMzbWR9r0CFaPOcgodzFwAsg
44. Fortum. Sopimus omansähkön myynnistä fortumille. 30.8.2013. [Viitattu 18.3.2014].
<https://www.fortum.fi/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/sahkon-pientuotanto/yhteydenottolomake/pages/default.aspx>
45. Energiateollisuus. Hajautettu pientuotanto. 2013. [Viitattu 9.4.2014].
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/pientuotanto>
46. Energiateollisuus. Älykäs verkko eli Smart Grid. 2013. [Viitattu 10.4.2014]. <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/alykas-verkko>
47. Sitra. Aurinkosähkön ja muun uusiutuvan sähkön pientuotannon edistäminen Suomessa. 31.8.2012. [Viitattu 20.3.2014].
http://www.sitra.fi/sites/default/files/u489/sahkon_pientuotanto_keskustelupaperi_2012-9-3.pdf
48. Partanen Jarmo. LUT energy. Smart Grid. 2014. [Viitattu 23.4.2014].
<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/SmartGrids>
49. Fortum. Aurinkopaketti. 2014. [Viitattu 9.4.2014].
https://www.fortum.fi/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinkoenergiaratkaisut/aurinkopaneeli/hinta/pages/default.aspx?ad=dsa_adwords_aurinkopaketti&gclid=CPqmzdOg9r0CFSHecgodc4gA7A

50. Suomen tuontiliike. Aurinkopaneelit. 2014 [Viitattu 25.3.2014].
<http://tuontiliike.fi/aurinkosahko/aurinkopaneeli.html?gclid=CJyOudag9r0CFeHDcgodtLYAhw>
51. Eurosolar. Hinnasto. 2013. [Viitattu 25.3.2014].
<http://www.eurosolar.fi/hinnasto/?kategoria=16>
52. Solarpower. Hinnasto. 2014. [Viitattu 25.3.2014].
<http://www.solarpower.fi/Hinnasto.php>
53. Fortum. Tuotanto mahdollisuudet. 27.5.2013.[Viitattu 5.4.2014].
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinkoenergiaratkaisut/aurinkopaneeli/tilaaminen/pages/default.aspx>
54. Sunshine development Oy. Hinnasto. 2014. [Viitattu 25.3.2014].
<http://www.ssd.fi/Tuotteet/>
55. Finnwind. Hinnasto. 2014.[Viitattu 25.3.2014].
<http://www.verkkokauppa.finnwind.fi/>
56. Aurinkosähkö.net. Aurinkopaneelit. 2013. [Viitattu 25.3.2014].
<http://aurinkosahko.mycashflow.fi/product/61/>
57. Thermosuneco. Aurinkopaneelijärjestelmät. 2014. [Viitattu 25.3.2014].
http://www.thermosun.fi/epages/Kaupat.sf/fi_FI?ObjectPath=/Shops/Kuvaus/Categories/50/Grid_power_230_V_jaerjestelmaet
58. Hämäläinen Veli-Pekka. Yle uutiset. Aurinkosähköstä voi tulla olkiluoto joka kotiin. 2.11.2012. [Viitattu 2.4.2014].
http://yle.fi/uutiset/aurinkosahkosta_voi_tulla_olkiluoto_joka_kotiin/6362314
59. Juuti Petteri Yle uutiset. Piensähkön myynti helpottuu ja hinta nousee. 17.7.2012. [Viitattu 2.4.2014].
http://yle.fi/uutiset/piensahkon_myynti_helpottuu_ja_hinta_nousee/6220735
60. Suntekno. Tietopankki. 2012. [Viitattu 25.3.2014].
http://suntekno.bonsait.fi/tiesitko_taman
61. Foreca. Sääpalvelut. 2014.
<http://www.foreca.fi/Finland/Joensuu>
62. Weather. Sääpalvelut. 2014.
<http://weather.jns.fi/>
63. FinWX. Sääpalvelut. 2014.
<http://www.finwx.net/stations/Lehmo-71/>

Jäähdytetyn paneelin mittaustulokset

| Jäähdytetty paneeli | | | | | | | | | | |
|--|-----------|--------------------|----------------------|--|--|--------------------|---------------------------|-------------|---------------------------|----------------------|
| Paneelin nimellisteho W | 5 | | | | | | | | | |
| Paneelin pinta-ala m ² | 0,062 | | | | | | | | | |
| Nimellisteho m ² | 80,1 | | | | | | | | | |
| Mittauksien sijainti | Joensuu | | | | | | | | | |
| Mittauksien ajankohta | 9.4.2014 | | | | | | | | | |
| Auringon mukaan liikuva asennus (kohtisuoraan aurinkoon) | | | | | | | | | | |
| Kellonaika | Lämpötila | Auringon kulma (°) | Auringon korkeus (°) | Maaan tulevan säteilyn teho W/m ² | Maaan tulevan säteilyn teho W/m ² | Normaali lämpötila | Paneelin pinta- lämpötila | Jäähdytetty | Paneelin pinta- lämpötila | Jäähdytetty tuotto % |
| 6:00 | -6°C | 73 | 0 | 5 | 0,312 | 0 | -6°C | 0 | -6°C | ##### |
| 6:30 | -6°C | 79 | 3 | 21 | 1,310 | 0 | -6°C | 0 | -6°C | ##### |
| 7:00 | -6°C | 86 | 6 | 62 | 3,869 | 0,32 | -6°C | 0,32 | -6°C | 100 % |
| 7:30 | -6°C | 93 | 10 | 134 | 8,362 | 0 | -6°C | 0 | -6°C | ##### |
| 8:00 | -5°C | 99 | 13 | 190 | 11,856 | 0,34 | -5°C | 0,34 | -5°C | 100 % |
| 8:30 | -5°C | 106 | 17 | 250 | 15,600 | 1,98 | +3°C | 1,98 | +3°C | 100 % |
| 9:00 | -4°C | 114 | 20 | 311 | 19,406 | 5,58 | +8°C | 5,62 | +5°C | 101 % |
| 9:30 | -4°C | 121 | 23 | 369 | 23,026 | 5,94 | +25°C | 6,3 | +8°C | 106 % |
| 10:00 | -3°C | 128 | 26 | 420 | 26,208 | 5,94 | +29°C | 6,48 | +9°C | 109 % |
| 10:30 | -2°C | 136 | 28 | 469 | 29,266 | 6,12 | +28°C | 6,66 | +10°C | 109 % |
| 11:00 | -2°C | 144 | 30 | 512 | 31,949 | 6,12 | +28°C | 6,66 | +10°C | 109 % |
| 11:30 | -2°C | 153 | 32 | 561 | 35,006 | 6,48 | +28°C | 7,02 | +10°C | 108 % |
| 12:00 | -2°C | 161 | 34 | 573 | 35,755 | 6,48 | +28°C | 7,02 | +11°C | 108 % |
| 12:30 | -1°C | 170 | 35 | 598 | 37,315 | 6,3 | +31°C | 7,2 | +8°C | 114 % |
| 13:00 | -1°C | 179 | 35 | 601 | 37,502 | 6,3 | +32°C | 7,2 | +10°C | 114 % |
| 13:30 | -1°C | 188 | 35 | 589 | 36,754 | 6,12 | +33°C | 7,02 | +9°C | 115 % |
| 14:00 | -1°C | 197 | 34 | 578 | 36,067 | 6,12 | +32°C | 7,2 | +10°C | 118 % |
| 14:30 | -1°C | 206 | 33 | 570 | 35,568 | 6,12 | +33°C | 7,2 | +10°C | 118 % |
| 15:00 | 0°C | 215 | 31 | 527 | 32,885 | 6,12 | +32°C | 7,2 | +10°C | 118 % |
| 15:30 | 0°C | 223 | 29 | 485 | 30,264 | 5,94 | +31°C | 6,84 | +10°C | 115 % |
| 16:00 | 0°C | 231 | 26 | 439 | 27,394 | 5,94 | +31°C | 6,66 | +14°C | 112 % |
| 16:30 | 0°C | 238 | 23 | 387 | 24,149 | 5,94 | +30°C | 6,48 | +9°C | 109 % |
| 17:00 | 0°C | 246 | 20 | 336 | 20,966 | 5,76 | +29°C | 6,48 | +8°C | 113 % |
| 17:30 | 0°C | 253 | 17 | 276 | 17,222 | 5,4 | +28°C | 5,94 | +9°C | 110 % |
| 18:00 | 0°C | 259 | 14 | 214 | 13,354 | 5,22 | +27°C | 5,58 | +8°C | 107 % |
| 18:30 | 0°C | 266 | 10 | 156 | 9,734 | 4,86 | +24°C | 5,04 | +9°C | 104 % |
| 19:00 | 0°C | 273 | 7 | 98 | 6,115 | 3,96 | +19°C | 4,14 | +6°C | 105 % |
| 19:30 | 0°C | 280 | 3 | 46 | 2,870 | 0,18 | +2°C | 0,18 | +2°C | 100 % |
| 20:00 | -1°C | 286 | 0 | 12 | 0,749 | 0 | 0°C | 0 | 0°C | ##### |
| Päivän aikana Wh | | | | 4894,5 | 305,417 | 62,79 | 69,38 | | | |
| Verrattuna kiinteään asennukseen (180°,50°) | | | | | | 100 % | 110 % | | | |
| Energiaa verrattuna paneelin pinta-alan alueelle säteilevästä energiasta | | | | | | 20,6 % | 22,7 % | | | |

