

Aurinkosähkövoimalan suunnittelu

Janina Kiiveri

Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalan opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Kiitokset Lapin ammattikorkeakoululle ja Aila Petäjäjärvelle mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö. Kiitän myös ohjauksesta ja neuvoista Aila Petäjäjärveä.

Haluan kiittää myös rakasta aviomiestäni kallisarvoisesta tuesta ja siitä, että olet jaksanut kuunnella mietintöjäni.

Kiitos myös hyvälle ystäville, jotka ovat jaksaneet tukea sekä ovat toimineet lapsenvahtina, jotta olen pystynyt edes välillä keskittymään.

Hämeenlinna 12.11.2014

Janina Kiiveri

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Janina Kiiveri
Opinnäytetyön nimi:	Aurinkosähkövoimalan suunnittelu
Sivuja (joistaliitesivuja):	46 (5)
Päiväys:	12.11.2014
Opinnäytetyön ohjaaja:	Insinööri Aila Petäjäjärvi, Lapin AMK
<p>Opinnäytetyön aiheena oli kirjallisuustutkimus aurinkosähkövoimalan suunnittelusta Kemiin. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Lapin ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitysosasto. Työn tavoitteena oli suunnitella voimala, joka toimisi esimerkki voimalana ja jonka tietoja voitaisiin käyttää tutkimustarkoituksiin.</p> <p>Työssä tehtiin taustatutkimus aurinkovoimalalle, jossa selvitettiin aurinkopaneelien soveltuvuus pohjoisen olosuhteisiin sekä tarvittavat lainsäädännöt ja säädökset. Lisäksi voimalaa varten tehtiin aurinkopaneeli- sekä invertterivertailut. Työssä käytiin läpi myös yleisesti aurinkoa energian lähteenä, tarkemmin aurinkosähköä sekä aurinkopaneelien toimintaperiaatetta.</p> <p>Opinnäytetyössä saavutettiin sille annetut tavoitteet jalopputuloksena syntyi selkeästi esitetyt vaatimukset aurinkosähkövoimalalle sekä komponenttilistat paneelien ja inverttereiden osalta.</p>	
Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkopaneelit, aurinkovoimalat, säädökset	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Industry and Natural Resources

Degreeprogramme:	Electrical Engineering
Author:	Janina Kiiveri
Thesistitle:	Design of Photovoltaic Power Plant
Pages (of whichappendixes):	46 (5)
Date:	November 12, 2014
Thesisinstructor:	Aila Petäjäjärvi, BSc (El.Eng.), Lapland UAS
<p>The subject of this thesis was a literature study about a photovoltaic power plant and its deployment in Kemi. The commissioner of the final study was the research and development department at Lapland University of Applied Sciences. The goal was to design a model power plant that would act as an example case for future power plants in northern Finland. The results could be also used in further studies on the subject.</p> <p>A background study for a photovoltaic power plant was carried out. The study included a research and a comparison of different physical components needed for a functioning plant, and their suitability to northern environmental conditions. It also included some general research on sun as a source of energy, and the principal of photovoltaic panels.</p> <p>The result of the study was a clear requirement analysis for a photovoltaic power plant in Kemi, and a component list regarding the photovoltaic panels and inverters.</p>	
Keywords: photovoltaic, solar panels, photovoltaic power plants, acts	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 AURINKOSÄHKÖ	9
2.1 Aurinko.....	9
2.2 Auringosta energiaksi.....	9
2.3 Omavarainen	13
2.4 Verkkokytkenäinen	14
3 AURINKOPANEELIT	15
3.1 Yksikiteinen.....	15
3.2 Monikiteinen	18
3.3 Ohutkalvo	20
4 AURINKOVOIMALA	21
4.1 Lähtötilanne.....	21
4.2 Esiselvitys.....	21
4.3 Paneelivertailu	22
4.4 Invertterivertailu	24
4.5 Asennustapa.....	26
4.6 Huolto ja kunnossapito.....	28
4.7 Kannattavuus ja kustannukset	28
5 VERKKOON KYTKENTÄ	30
5.1 Liittyminen	30
5.2 Sähkön laatu	30
5.3 Suojaus	31
5.4 Enintään 50 kVA	32
5.5 Yli 50 kVA	34
5.6 Yli 500 kVA	36
6 POHDINTA.....	38
LÄHTEET.....	39

LITTEET 41

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

invertteri	vaihtosuuntaaja, muuntaa tasasähkön vaihtosähköksi
VAC	vaihtosähkö
VDC	tasasähkö
W _p	piikkiwatti, huipputeho
STC	Standard Test Conditions, standarditestiolosuhteet
atsimuuttikulma	ilmansuuntien mukaan määriteltävä kulma, asteet lasketaan myötäpäivään niin että etelä on 0°, länsi 90°, itä -90°

1 JOHDANTO

Tällä hetkellä aurinkoenergia ja erityisesti aurinkosähkö on erittäin suosittua ja se tulee kasvattamaan suosiotaan lisää tulevaisuudessa. Omakotitalojen sähköä on erittäin suosittua tuottaa aurinkosähköpaneelilla. Monia myös paljon suurempia aurinkosähköhankkeita on suunnitteluvaiheessa, ja mitä enemmän aurinkosähköstä saadaan positiivisia käyttökokemuksia, sitä enemmän se valtaa alaa uudesti syntyvien energianlähteiden sähkömarkkinoista.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kirjallisuustutkimus aurinkosähkövoimalasta. Lapin ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitysosaston ja opinnäytetyön ohjaajani Aila Petäjäjärven kautta tuli ajatus aurinkosähkövoimalan suunnittelusta Kemiin tai sen lähiseudulle. Sen pohjalta alkoi aurinkosähkövoimalan suunnittelu ja toivottavasti hankkeen toteutuessa tulevaisuudessa, tehtyä suunnittelutyötä hyödynnetään aurinkovoimalan toteutuksessa. Toteutuessaan aurinkosähkövoimala toimii samalla esimerkkinä muille vastaaviin olosuhteisiin suunniteltaville aurinkosähköhankkeille, myös komponenttien kuten paneelien ja inverttereiden käyttökokemuksia saadaan lisää.

Aurinkosähkövoimalan ajatuksena on noin 100 kW suuruinen erillinen voimalaitos, joka syöttää kaiken tuottamansa sähkön suoraan verkkoon. Työssä perehdytään aurinkosähkövoimalaitosta ja ylipäänsä aurinkopaneelilla tuotettua sähköä koskeviin vaatimuksiin, tehdään aurinkopaneeli- ja invertterivertailua, tutkitaan verkonhaltijan kantaa voimalan verkkoon liittämisestä sekä mietitään aurinkosähkövoimalan käyttöolosuhteita ja tuottavuutta Kemin olosuhteissa.

Kyseinen opinnäytetyö keskittyy lähinnä aurinkosähkön tutkimiseen ja suunnitteluun suuremman voimalan näkökannalta. Työssä sivutaan myös aurinkosähkön pienkäyttöä ja mikrotuotantolaitoksia.

2 AURINKOSÄHKÖ

2.1 Aurinko

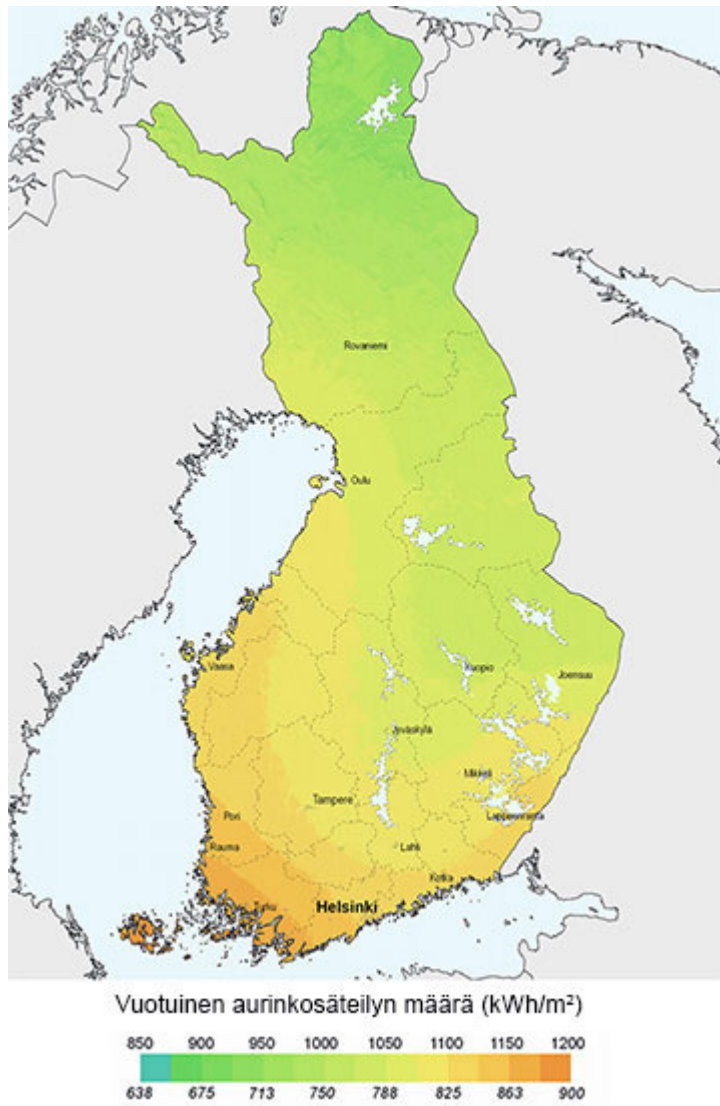
Aurinko on keskikokoinen tähti joka koostuu pääosin vedystä (70 %) ja heliumista (28 %) ja sen halkaisija on 1 390 000 km. Aurinko syntyi noin 5 miljardia vuotta sitten ja loistaa vielä toiset 5 miljardia vuotta. Auringon keskustassa vety muuttuu heliumiksi ja tämä aiheuttaa auringon säteilyn. (Ursa 1999, hakupäivä 12.11.2014; Särkänniemen tähtiakatemia www-sivut 1999, hakupäivä 12.11.2014.)

Auringon säteilyllä on erittäin suuri energiamäärä. Aurinko säteilee maan pinnalla vielä teholla 170 000 TW, joka on 170 000 000 000 000 000 W (Energiateollisuus, hakupäivä 12.11.2014).

2.2 Auringosta energiaksi

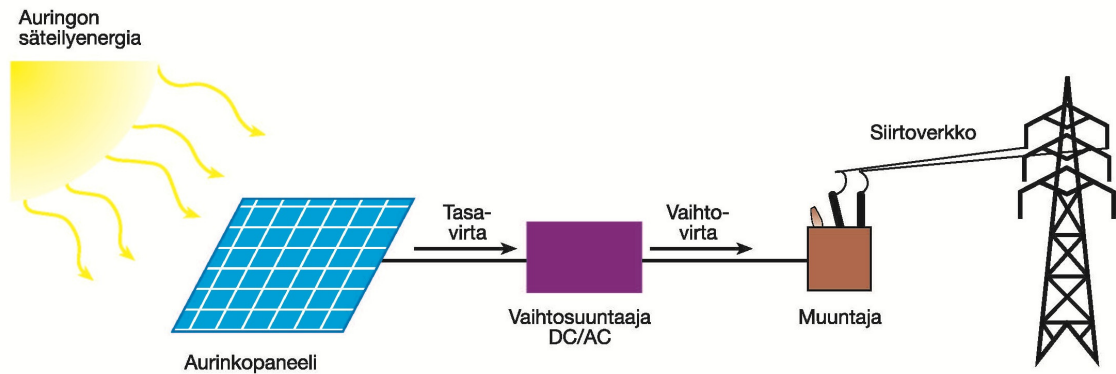
Auringon energiasta puhuttaessa voidaan puhua aurinkosähköstä tai aurinkolämmöstä. Aurinkolämmöllä tarkoitetaan auringon säteilyenergian hyödyntämistä aurinkokeräimillä. Aurinkosähköstä puhuttaessa auringon säteilyenergia muunnetaan sähköksi aurinkopaneeleilla.

Auringon säteilymäärä on avainasiassa aurinkosähköä mietittäessä. Säteilymäärät Suomessa näkee kuvasta 1. Kemissä on kartan mukaan yhtä suuri säteilymäärä kuin Jyväskylässä. Vaikka pohjoisessa on talvisin paljon pimeämpää ja auringon säteilyn hyödyntäminen jää silloin hyvin pieneksi, käytännössä katsoen olemattomaksi, niin kesä korvaa sen yön läpi kestäväällä valoisuudellaan. Pohjoisen viileämpi ilmasto on myös parempi aurinkosähkön tuottoa ajatellen, aurinkopaneeleiden hyötysuhde nousee mitä viileämpi ilmasto on ja näin ollen myös laskee lämpötilan kohotessa. Suomen ilmastoa voi verrata Pohjois-Saksaan aurinkosähköstä puhuttaessa. (Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 19.10.2014; Loistovoima 2014, hakupäivä 12.11.2014.)



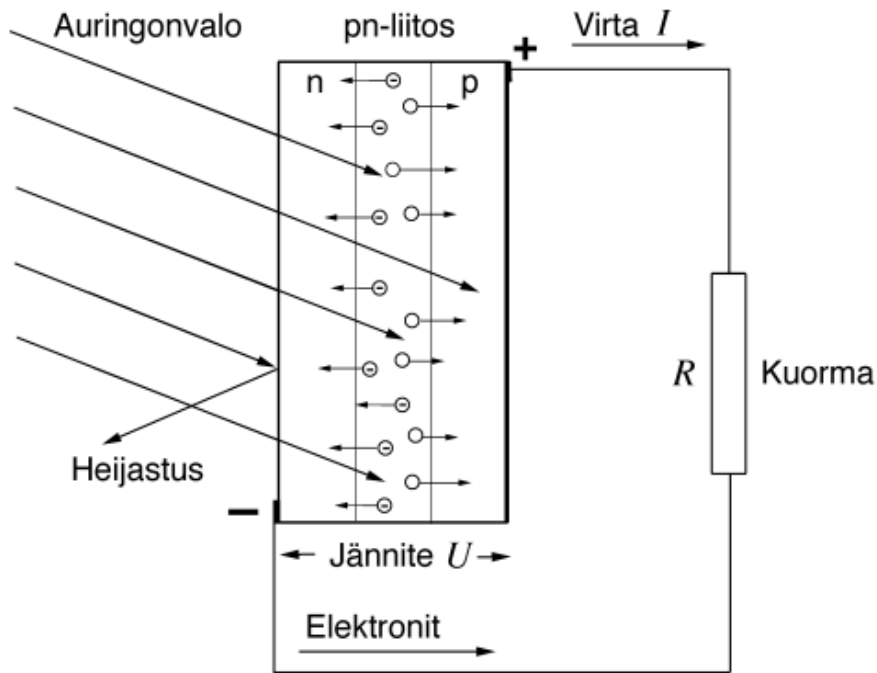
Kuva 1. Auringon säteilyn määrä Suomessa (Helsingin energia, hakupäivä 12.10.2014.)

Auringon säteily muodostaa sähköä osuessaan paneeliin pintaan. Paneelilta tasasähkö siirretään vaihtosuuntaajalle eli invertterille, joka muuntaa tasasähkön vaihtosähköksi. Vaihtosähkö voidaan syöttää verkkoon muuntajan kautta. Tämä on havainnollistettu kuvassa 2.



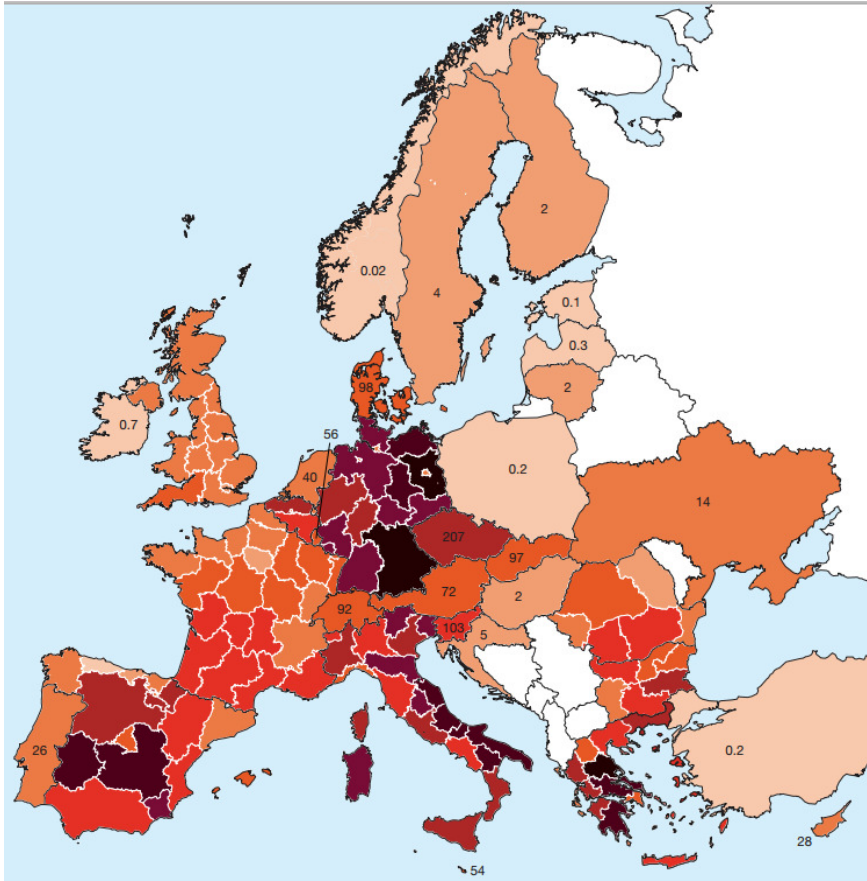
Kuva 2. Auringonsäteily sähköksi (Energiateollisuus 2014, hakupäivä 31.7.2014.)

Kuvassa 3 on havainnollistettu aurinkopaneelin toimintaperiaatetta. Aurinkopaneeli koostuu kahdesta puolijohdemateriaalista, p-tyypin (boorilla seostettu pii) ja n-tyypin (fosforilla seostettu pii), joiden välissä on rajapinta (kuvassa pn-liitos). Molemmiin puolin paneelia ovat myös kytkentäelementit, joita myöten sähkö pääsee kulkemaan. Auringon valon osuessa paneelin pintaan fotonien eli aurinkohiukkasten energia siirtyy elektroneille, jonka seurauksena elektroneja irtoaa atomeiden elektronivöiltä. Elektronit muodostavat irrotessaan aukkoja, ja näin ollen atomeille muodostuu positiivisia ja negatiivisia varauksia. Elektronit ja aukot kulkevat vain tiettyihin suuntiin, elektronit siirtyvät n-tyypin puolijohteeseen ja aukot p-tyypin puolijohteeseen, joten ne eivät pääse pn-liitoksen kautta enää takaisin. Tämä saa aikaan jännite-eron p- ja n-tyypin puolijohteiden välille, ja näin ollen sähkövirta kulkee johtimien kautta p-tyypistä n-tyyppiin. (Suntekno 2010, hakupäivä 10.11.2014; Tampereen teknillinen yliopisto: Sähkömagneetiikan laitos a, hakupäivä 10.11.2014.)



Kuva 3. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno 2010, hakupäivä 10.11.2014.)

Oheisessa kuvassa 4 näkyy Euroopan aurinkosähkön tuotantolaitosten suuruus ihmistä kohti maittain. Mitä tummempi maa, sitä suurempi on aurinkosähkön tuotanto ja mitä vaaleampi maa niin sitä pienempi tuotanto. Valkoisena olevista maista ei ole tietoja. Suomen luku on vain 2 W / henkilö, mikä on erittäin pieni. Saksa on ehdottomasti Euroopan suurin aurinkosähkön tuottaja, Saksassa sama luku on 436 W / henkilö. (EPIA European Photovoltaic Industry Association 2014, hakupäivä 22.10.2014.)



Kuva 4. Euroopan maiden aurinkosähkön tuotanto ihmistä kohden (EPIA EuropeanPhotovoltaic Industry Association 2014, hakupäivä 22.10.2014.)

2.3 Omavarainen

Aurinkosähkön tuotannon voi jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan: omavaraiseen tuotantoon ja verkkokytkenäiseen tuotantoon. Omavaraisella tuotannolla tarkoitetaan lähinnä veneitä ja lomamökkejä sekä muita käyttökohteita, joissa ei ole sähköliittymää.

Omavaraiseen aurinkosähkijärjestelmään kuuluu tarvittava määrä aurinkosähköpaneeleita ja akusto. Paneeliston tuottama sähkö varastoidaan akustoon. Sähköliittymän puuttuessa päivisin tuotettua ylijäämäsähköä ei voi syöttää verkkoon ja pimeän aikana verkosta ei pysty ottamaan tarvittavaa sähköä. Tämän vuoksi esim. mökillä, jossa ei asustella vain päivisin, tarvitsee varastoida tuotettua sähköä päivästä yöhön sekä useimmiten myös viikolta viikonloppuun. Suositeltavaa on, että aurinkosähkijärjestelmän rinnalle otetaan myös muu energianlähde pimeän aikoja ajatellen. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 139.)

Omavarainen aurinkosähköjärjestelmä voi olla esim. 12 VDC, jonka voi käyttää suoraan paneelilta tulevana. Tämä vaatii kulutuslaitteilta tasasähköominaisuuden. Myös omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän voi muuntaa invertterillä 230 VAC – järjestelmäksi, jolloin voidaan tavallisia vaihtosähköisiä kulutuslaitteita käyttää. Tasasähköjärjestelmän huonona puolena mainittakoon suuret jännitehäviöt johtimissa.(Erat ym. 2008,139-140.)

2.4 Verkkokytkentäinen

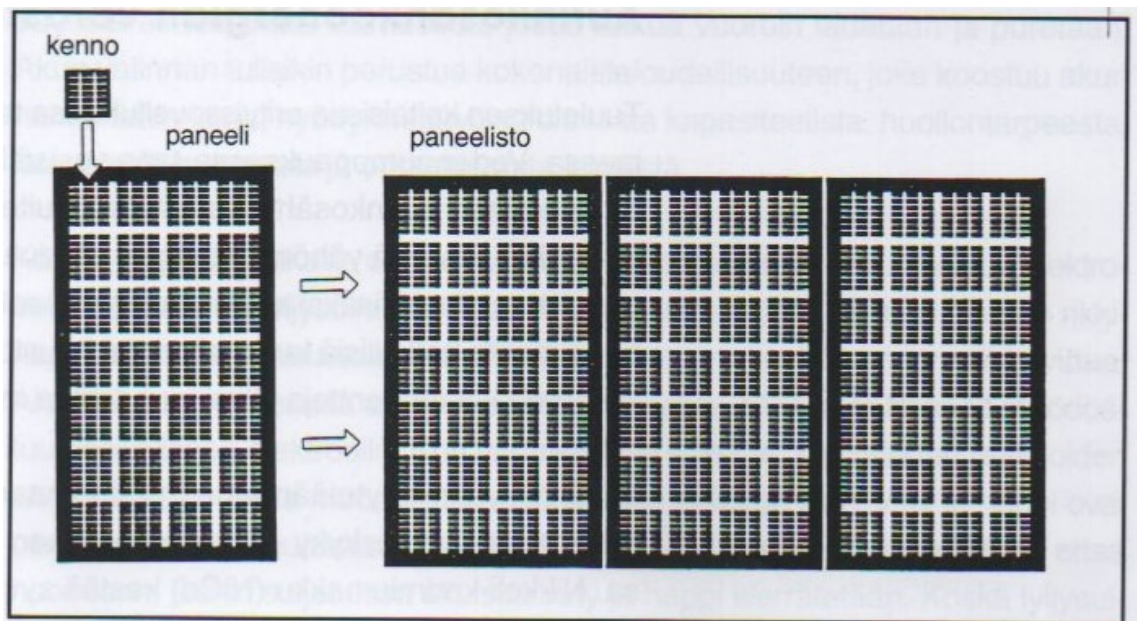
Verkkokytkentäisenkin aurinkosähköjärjestelmän voi jakaa vielä osiin: mikrotuotantolaitos ja voimalaitos. Mikrotuotantolaitoksella tarkoitetaan lähinnä kuluttajan omaa tuotantoa, jolloin kuluttaja käyttää itse tuottamansa sähkön ja verkkoon syötetään vain vähän tai ei ollenkaan sähköä. Yleinen esimerkki mikrotuotantolaitoksesta on omakotitalon katolle asennettu aurinkosähköpaneelisto, jonka tuotanto käytetään omakotitalon omaan sähkönkulutukseen ja näin pienennetään sähkölaskua. Ylijäämä sähkö voidaan syöttää verkkoon.(Energiateollisuus 2011a, hakupäivä 10.11.2014.)

Hyvin pienet aurinkosähköjärjestelmät voidaan liittää sähköverkkoon yksivaiheisesti. Kaikki vähintään 3,7 kW olevat järjestelmät on liitettävä verkkoon aina kolmivaiheisesti. (Sähkötieto 2013, 3.)

Aurinkosähkövoimalaitos taasen on suurempitehoinen ja pelkästään sähkön verkkoon syöttöä varten rakennettu.Suurempaa voimalaitosta koskee hieman eri lait kuin pientä mikrotuotantolaitosta, näistä mainittakoon esim. sähkövero.(Motiva 2012, hakupäivä 22.10.2014.)

3 AURINKOPANEELIT

Kuten kuvassa 5 on esitetty, aurinkopaneeli koostuu monesta pienestä aurinkokennosta. Kun aurinkopaneeleita kytketään yhteen monta kappaletta, muodostuu aurinkopaneelisto. Aurinkopaneeleita on kolmea erilaista yleisesti käytössä olevaa mallia: ensimmäisen sukupolven yksikiteinen jamonikiteinen paneeli sekä toisen sukupolven ohutkalvopaneeli. Kolmannesta sukupolvesta mainittakoon väriaineherkistetyt aurinkopaneelit.

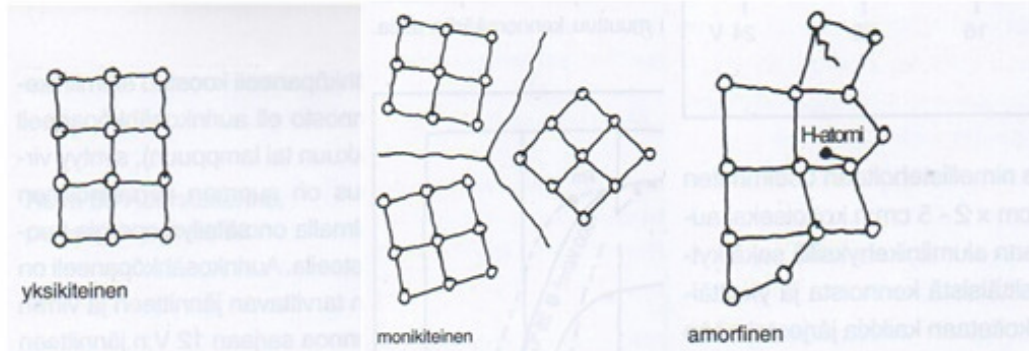


Kuva 5. Paneeliston muodostuminen(Erat ym. 2008, 127.)

3.1 Yksikiteinen

Yksikiteisestä piistä valmistettu paneeli on vanhin yleisesti käytetty paneelityyppi. Yksikiteistä paneelia valmistaessa, aloitetaan erottelemalla pii hiekan seasta ja puhdistamalla pii elektroniikkateollisuudelle kelpaavaksi. Hiekan seasta erotellun piin puhtausaste on 98–99 % ja tämä riittää metalliteollisuudelle hyvin, mutta elektroniikkateollisuus vaatii puhtaampaa piitä. Puhdistetun piin puhtausaste on hyvin lähellä 100 %:a. Eroteltu ja puhdistettu pii on monikiteistä vielä tässä vaiheessa prosessia. (Tampereen teknillinen yliopisto:Sähkömagneetiikan laitos b, hakupäivä 12.11.2014.)

Yksi- ja monikiteisen piin erona on kiderakenne. Yksikiteisen piin kiderakenteessa atomit ovat tietyssä järjestyksessä, kun taas monikiteisessä piissä atomien paikka on epämääräisempi. Amorfisessa piissä, jota käytetään ohutkalvopaneelien valmistukseen, kiderakenteessa vallitsee atomien täysi epäjärjestys. Tämä on nähtävissä kuvassa 6. (Erat ym. 2008, 125.)



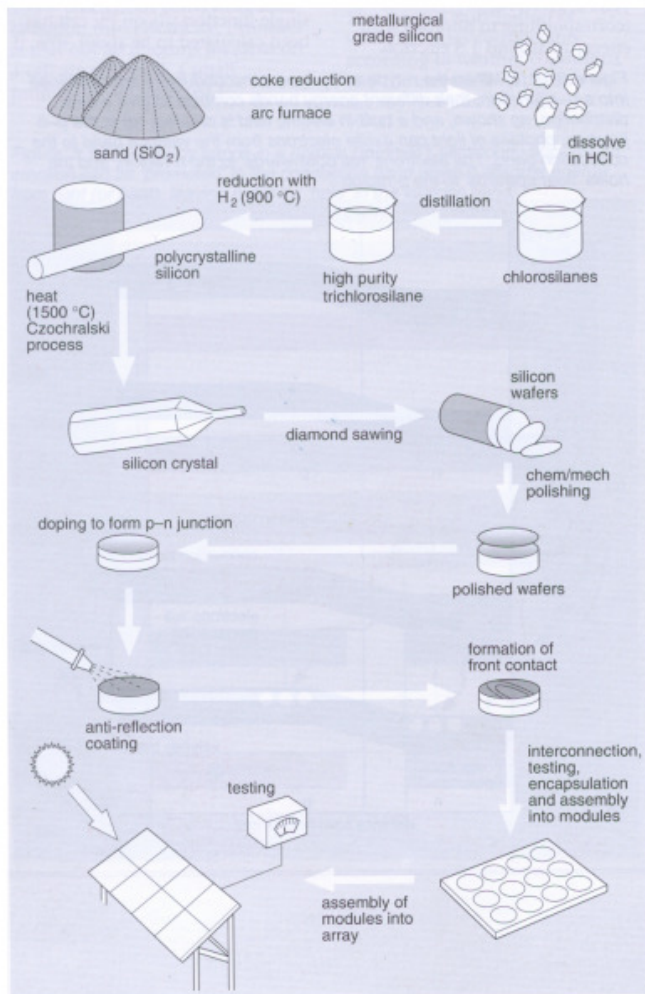
Kuva 6. Yksikiteisen, monikiteisen ja amorfisen piin kiderakenteet (Erat ym. 2008, 124.)

Yksikiteistä aurinkokennoa valmistettaessa monikiteinen pii täytyy saada muutetuksi yksikiteiseksi piiksi. Tämä onnistuu Czochralski-menetelmällä (CZ-menetelmällä), jossa siemenenä käytettävä piikide niin kutsutusti kasvatetaan yksikiteiseksi piitangoksi, kastamalla kidettä esimerkiksi boorilla seostettuun sulatettuun piihin. (Tampereen teknillinen yliopisto:Sähkömagneetiikan laitos b, hakupäivä 12.11.2014; Erat ym. 2008, 124.)

Piitangosta leikataan ohuita kiekkoja timanttisahalla. Kiekon pinnalle muodostetaan toisen tyyppinen puolijohde kerros. Molemmille puolille piikiekkoa laitetaan metallikontaktit sähkönjohtamista varten, takapuolen voi peittää kokonaan mutta etupuolelle voi laittaa vain ristikon, että aurinko pääsee tuottamaan sähköä. Lopuksi kennot kytketään sarjaan ja rinnan sopivan jännitteen saamiseksi ja koteloidaan paneeliksi.(Tampereen teknillinen yliopisto:Sähkömagneetiikan laitos b, hakupäivä 12.11.2014.)

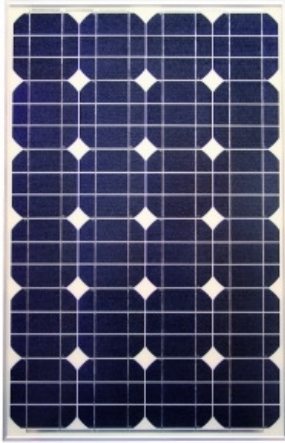
Ennen kennojen kokoamista paneeleiksi, jokainen kenno testataan erikseen. Useat valmistajat valikoivat samanlaatuisia kennoja yhteen paneeliin. Paneelille saadaan paras laatu ja hyötysuhde kun siihen kytketään tasalaatuisia kennoja. Yksikiteisen

aurinkopaneelin valmistus on esitetty melko yksityiskohtaisesti kuvassa 7.
(Aurinkosähkötalo Eurosolar, hakupäivä 12.11.2014.)



Kuva 7. Yksikiteisen aurinkopaneelin valmistus (Tampereen teknillinen yliopisto:Sähkömagneettikan laitos b, hakupäivä 12.11.2014.)

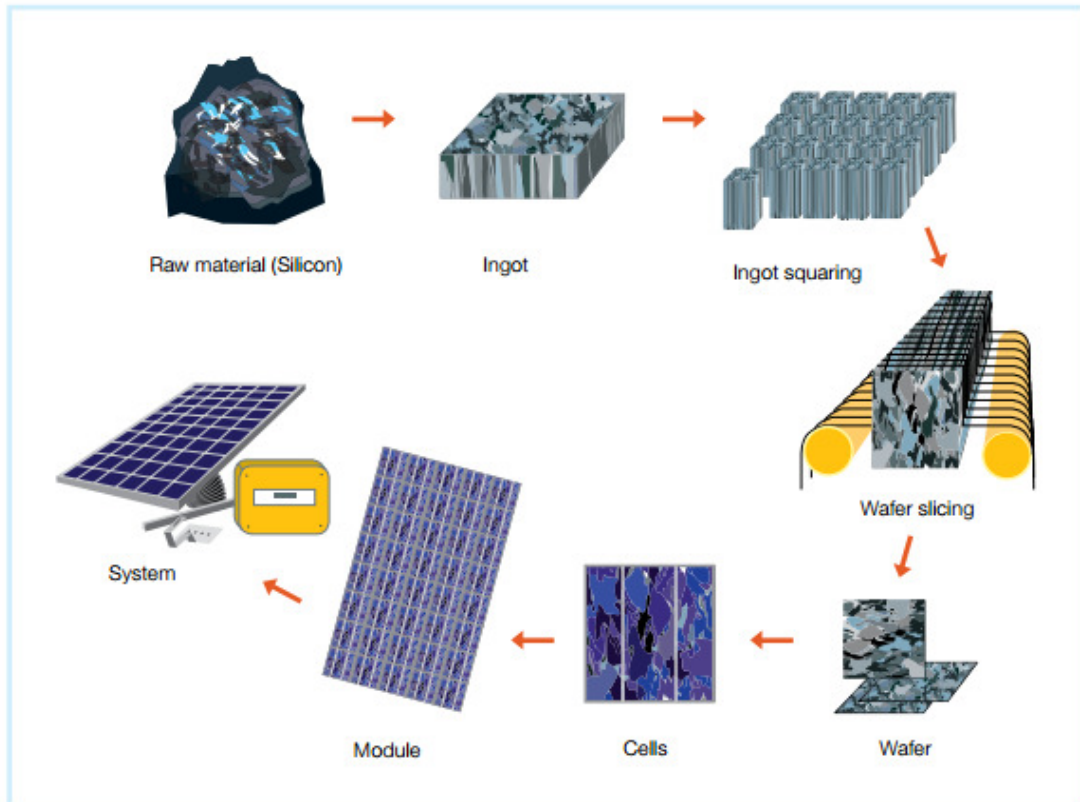
Yksikiteisen kennon tunnistaa pyöristetyistä kulmista (kuva 8), koska kennot on muotoiltu ympyrän muotoisista kiekkoista.



Kuva 8. Yksikiteinen aurinkopaneeli (Wextra 2014, hakupäivä 12.11.2014.)

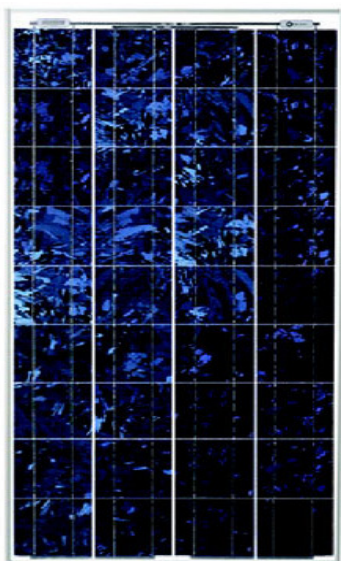
3.2 Monikiteinen

Monikiteisestä piistä valmistettu paneeli ei eroa kovin paljoa yksikiteisestä. Monikiteisen aurinkopaneelin valmistusprosessi on hyvin pitkälti sama kuin yksikiteiselläkin, mutta monikiteistä paneelia ei tarvitse kasvattaa pyöreäksi tangoksi. Monikiteisiä kennoja voidaan valmistaa sulattamalla puhdistettu pii ja jähmettämällä se harkoksi. Piiharkosta leikataan ohuita kiekkoja ja jatkotoimenpiteet tehdään samoin tavoin kuin yksikiteisten kanssa. Tämä on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. Monikiteisen aurinkopaneelin valmistus (EPIA EuropeanPhotovoltaic Industry Association 2009, hakupäivä 12.11.2014.)

Monikiteisen kennon tunnistaa sen neliöstä muodosta ja sinertävästä väristä sekä hiutalemaisesta ulkonäöstä (kuva 10).



Kuva 10. Monikiteinen aurinkopaneeli (Ympäristöenergia, hakupäivä 12.11.2014.)

Yksi- ja monikiteisellä paneelilla on eroavaisuuksia, joita on vertailtu taulukossa 1. Ei voi sanoa, kumpi paneeleista on varsinaisesti parempi, vaan toinen paneeli sopii paremmin toiseen tilanteeseen ja toinen toiseen.

Taulukko 1. Kidepaneeleiden ominaisuuksien vertailu

Yksikiteinen paneeli	Monikiteinen paneeli
+ parempi hyötysuhde – vaikeampi valmistaa – kalliimpi – vain suora säteily	– huonompi hyötysuhde + helpompi valmistaa + halvempi + myös hajasäteily

3.3 Ohutkalvo

Ohutkalvopaneeli on tällä hetkellä vähiten käytetty yleinen paneelityyppi. Ohutkalvopaneeli on paljon monikäyttöisempi kuin ensimmäisen sukupolven paneelit. Ohutkalvopaneeleita voi taivutella, joten niitä voi käyttää kaarevillekin pinnoille. Ohutkalvopaneeli päästää myös valoa lävitseen, joten niitä voi käyttää ikkunoissa. Ohutkalvopaneeleilla on halvat valmistuskustannukset, koska materiaalia tarvitaan paljon vähemmän ja niitä voidaan valmistaa suuremmille pinta-aloille. Huonon hyötysuhteensa takia ohutkalvopaneeleita ei yleensä käytetä voimaloissa. (Helsinki University of Technology, hakupäivä 12.11.2014.)

Ohutkalvopaneeli voidaan valmistaa monista eri materiaaleista, kuten amorfisesta piistä (a-Si), kadmium-telluridista (CdTe) tai kupari-indium-diselenidista (CIS) (Helsinki University of Technology, hakupäivä 12.11.2014).

4 AURINKOVOIMALA

4.1 Lähtötilanne

Työssä paneuduttiin suuritehoisen aurinkosähkövoimalan suunnitteluun ja toteutuksessa huomioitaviin seikkoihin. Hankeajatuksen alulle laittaneen yrittäjän osuudesta hankkeen toteutukseen ei ollut varmuutta. Kaikille ehdotuksille oltiin avoimia ja asiaa mietittiin monelta kannalta.

Nykypäivänä Suomessa suositaan lähinnä sähkön tuottoa pelkkään omaan käyttöön aurinkopaneeleilla. Omaan käyttöön sähköä tuottaessa pystytään pienentämään sähkölaskua, kun ei tule sähköstä tai siirrosta johtuvia kuluja. Aurinkopaneelien suurimman tehontuoton osuessa kesälle hyvä sähkön käyttökohde on esim. jäähdytys. Sähkön syöttö verkkoon on kannattamatonta, ellei ole valmiiksi ostajaa tiedossa. Omaan käyttöön tarkoitetuissa järjestelmissä sähkön verkkoon syöttö on yleensä niin pientä, että se syötetään ylijäämäsihtöön suoraan verkkoon, jolloin verkkoyhtiö ei maksa siitä mitään. (Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 10.11.2014.)

Lähtötilanteessa mietinnässä oli noin 100 kW:n aurinkosähkövoimala, joten aluksi ajateltiin, että paras vaihtoehto olisi ollut teollisuushallin katolle asennettava voimalaitos, jonka tuotanto olisi käytetty kokonaisuudessaan omaan käyttöön. Koska sähkölle ei ollut vielä kuluttajaa, asioita enemmän tutkiessa mielipide kallistui pikku hiljaa erilliseen keskitettyyn aurinkosähkövoimalaan. Ajan kuluessa ja opinnäytetyön edetessä asiat muuttuivat moneen kertaan. Työssä pitäydettiin muutoksista huolimatta 100 kW:n aurinkosähkövoimalan suunnittelussa.

4.2 Esiselvitys

Koko työ alkoi selaamalla ja käymällä läpi lainsäädäntöjä, standardeja ja muita ohjeita ja suosituksia, josko niistä löytyisi jotain aurinkosähköön liittyvää. Tietoja etsittiin standardeista, Internetistä sekä kirjallisuudesta. Liitteenä 1 on lista eräistä ohjeistuksista jotka tulivat vastaan.

Aurinkosähköstä voimalakäytössä löytyy yllättävän vähän lainsäädännöllistä tietoa, ainakin suomen kielellä. Aurinkosähkön vielä yleistyessä voi tietoa tulla enemmän, mutta Suomessa aurinkosähkön käyttö on vielä hyvin vähäistä, varsinkin Saksaan verrattuna. Mikrotuotantolaitoksia koskevia lainsäädäntöjä löytyy enemmän.

Ensimmäisten asioiden joukossa on hyvä olla yhteydessä oman kaupungin/kunnan rakennusviranomaiseen tarvittavien lupien takia. Aina pitää tarkistaa, tarvitaanko rakennuslupa tai toimenpidelupa, käytäntö vaihtelee kuntakohtaisesti. Ilman tarvittavia lupia aurinkosähkövoimalaa ei voi rakentaa. Hankkeen alkuvaiheessa on hyvä olla yhteydessä myös paikalliseen jakeluverkkoon. Paikallinen jakeluverkkoyhtiö määrittää tekniset vaatimukset, jotka pitää ottaa huomioon aurinkosähkövoimalaa suunniteltaessa. Liittymisjohdon rakentaminen saattaa myös tarvita toimenpideluvan, johdon reitin maanomistajien lupien lisäksi. Yli yhden megawatin voimalaitosta suunniteltaessa tulee olla yhteydessä myös Energiamarkkinavirastoon sekä Fingridiin.(Motiva 2012, hakupäivä 22.10.2014.)

Yli 50 kVA:n sähköntuottaja on sähköverovelvollinen ja näin ollen tulee tehdä ilmoitus paikalliseen tullipiiriin. Jokaiselta kuukaudelta pitää tehdä sähköveroilmoitus ja maksaa verot. Sähkövero tulee maksaa siitä itse tuotetusta sähköstä, jonka sähköntuottaja käyttää itse muuhun kuin sähköntuotantoon sähkön tuotannon omakäyttölaitteissa. (Motiva 2012, hakupäivä 22.10.2014.)

4.3 Paneelivertailu

Paneelivertailussa selvitettiin aurinkopaneelien valmistajat. Liitteenä 2 on luettelo paneelivalmistajista, luettelosta löytyy suurimmaksi osaksi valmistajia, joiden tuotteet ovat tunnettuja ja laajemmin käytössä olevia, käyttökokemusten ollessa yleensä hyviä. Mukaan mahtuu myös muutama vähemmän tunnettu paneelivalmistaja, vertailun vuoksi.

Listan valmistuttua oli vuorossa paneelivalmistajien yksi kerrallaan läpi käynti ja niiden tarjontaan tutustuminen. Paneelien tarkastelu rajautui yksi- ja monikidepaneeleihin niiden ominaisuuksien vuoksi. Lopultalähempään paneelitarkasteluun päätyi pelkkiä monikidepaneeleita. Suomen pilvisiin olosuhteisiin ja aurinkovoimaloihin soveltuu

parhaiten monikidepaneelit niiden paremman hajasäteilyn hyödyntämisen takia. Taulukossa 2 näkyy hieman paneelivertailua ja liitteessä 3 on esitetty tarkempi vertailu. Kaikki vertailuissa todetut arvot on suoritettu standardiolosuhteissa (STC), joille on määritelty vaatimuksiksi että auringonsäteilyn ollessa 1000 W/m² ja kennon lämpötilan ollessa 25 °C, 1 W_p antaa tehoa 1 W (Aurinkoteknillinen yhdistys, hakupäivä 19.10.2014).

Taulukko 2. Paneelivertailua

Paneeli	Teho P [W_p]	Teho alaa kohti P/m² [W]	Hinta tehoa kohti €/P [€]	Takuu: tekninen / tehontuotto [v]
Hyundai HiS-M250MG	250	154,6	1,176	10 / 25
SolarWorldSunModule Plus SW250	250	149,1	0,808	10 / 25
KyoceraKD320GX-LFB	320	145,9	0,922	5 / 20
SunriseSR-P660245	245	150,9	1,016	12 / 25
InnotechSolar EcoPlus	260	157,8	1,531	12 / 25

Aurinkosähkövoimalaan tulee noin 400 paneelia, joista osa koe- ja vertailumielessä on eri merkisiä. Tarkoituksena on vertailla hyvän ja laadukkaan valmistajan sekä niin kutsutun halpamerkin paneeleita keskenään samoissa olosuhteissa. Aina ei ole järkevintä maksaa kalliimpaa hintaa laadukkaasta tuotteesta vaan paljon halvemmalla voi saada ihan yhtä hyvää. Tämä tosin selviää vasta käyttövaiheessa, kun tulokset on nähtävillä.

Paneeleita vertaillaessa kaikki kuulostivat melko lailla tasavertaisilta, mitään erityisen suuria eroja ei löytynyt. Ensin ajatuksena oli valita voimalaan toiseksi paneeliksi Kyoceran suuritehoinen ja edullinen paneeli, mutta idea hylättiin, koska paneelin takuu-aika oli muita lyhyempi sekä teho pinta-alaan verrattuna oli melko pieni.

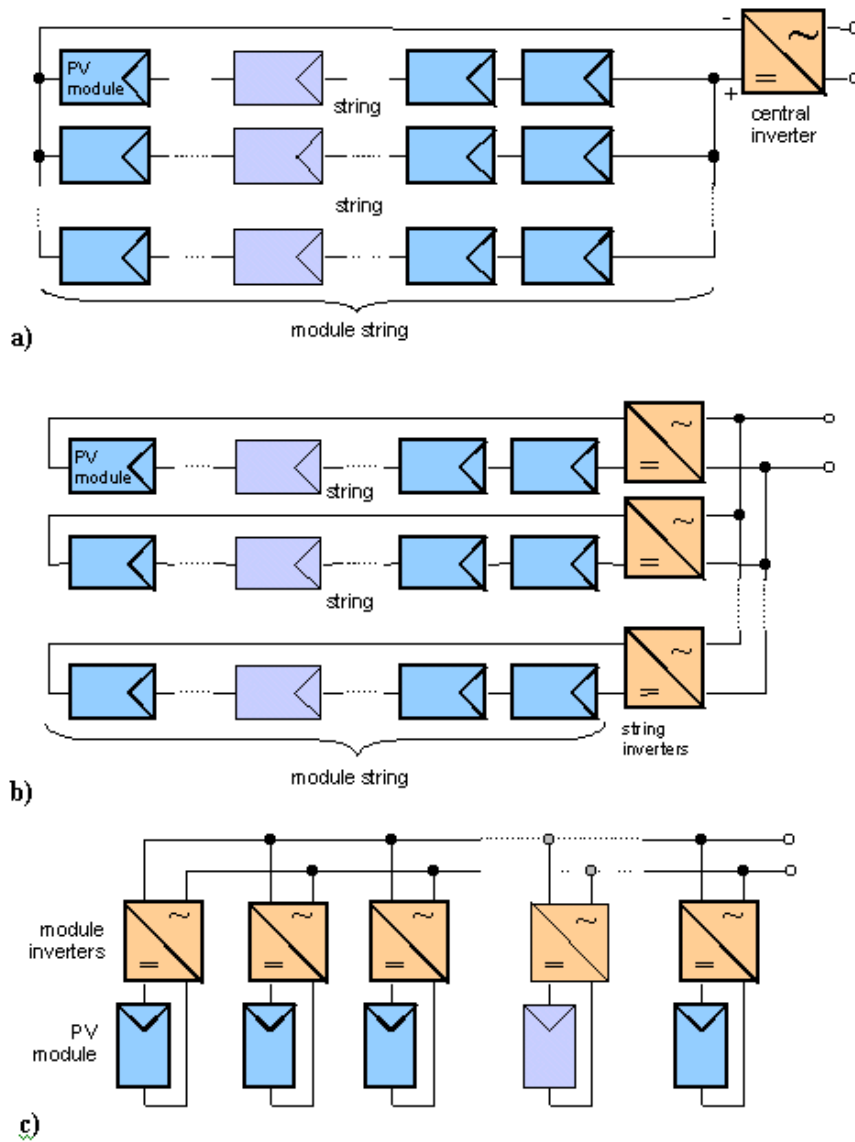
Voimalan paneeleiksi suosittelenlopulta Hyundain HiS-M250MGjaSolarWorldinSunModule Plus SW250, koska molemmat ovat halpoja ja silti laadukkaan kuuloisia. Suosittelisin voimalaan myös pientä määrääInnotechSolarinEcoPlus-paneeleita, jotta saadaanluotettava ja kunnollinen käsitys halvemman ja kalliimman paneelin erosta.

4.4 Invertterivertailu

Seuraavaksi vuorossa oli listata myös invertterivalmistajat, minkä jälkeen ryhdyttiin tutkimaan heidän inverttereitään tarkemmin.Liitteessä 4 on esitetty invertterivalmistajista lista.

Inverttereitä on olemassa pieniä ja isoja. Yleensä on kustannustehokkaampaa käyttää useampaa pientä invertteriä kuin yhtä suurta. Montaa pientä invertteriä käytettäessä voidaan myös vikatilanteessa ottaa pois käytöstä vain viallinen invertteri-paneelistö-yhdistelmä, muut tuottavat normaalisti sähköä sillä välin. Myös varjostustilanteessa on hyötyä useammasta paneeliketjusta. Sähköntuotanto laskee vain paneeliketjussa, jossa paneeli tai paneelit ovat varjostettuna, auringossa olevien paneeliketjujen tuotanto pysyy normaalilla tasolla. Jos kaikki paneelit olisivat kytketty samaan ketjuun ja yhden invertterin perään, koko sähköntuotanto laskisi. (Sähkötieto 2013, 3.)

Kuvassa 11on havainnollistettu eri invertterityyppien erot. Invertterit voidaan jakaa mikroinverttereihin, stringi-inverttereihin ja keskusinverttereihin. Jos jokaisella aurinkopaneelilla on oma invertteri, on kyseessä mikroinvertteri. Jos taas aurinkopaneeleista on tehty ketjuja, joilla jokaisella on oma invertteri, on kyseessä stringi-invertteri. Kun kaikki aurinkopaneelit on kytketty vain yhden invertterin perään useampana ketjuna, käytetään nimitystä keskusinvertteri.Keskusinverttereitä käytetään yleensä vain suurissa aurinkosähkövoimaloissa.



Kuva 11. Invertterityypit a) keskusinvertteri, b) stringi-invertteri ja c) mikroinvertteri (Quaschnig, Volker2004.Hakupäivä 19.10.2014.)

Kävin läpi invertterivalmistajia ja heidän tuotteitaan. Tein samalla invertterivertailua, joka löytyy liitteestä 5.Oheisessa taulukossa 3 muutama esimerkki vertailusta. Tarkempaan vertailuun päätyipelkkiä stringi-inverttereitä.

Taulukko 3. Invertterivertailua

Invertteri	Nimellisteho [W]	Max. hyötysuhde [%]	Max. ulostulovirta [A]
ABB PVI-10.0-TL-OUTD	10 000	97,8	16,6

SolarEdgeSE10K-ER-01	10 000	98	16
SMA STP 10000TL-20	10 000	98	14,5

Vertailun pohjalta suositeltavaan aurinkovoimalaan SolarEdgen SE10K-ER-01 inverttereitä. SolarEdgen inverttereillä on pisin takuu-aika ja paras maksimi hyötysuhde. Toinen hyvä vaihtoehto olisi ollut ABB:n invertteri, jossa olisi ollut suurempi maksimi-ulostulovirta, mutta suosittelen silti SolarEdgea, koska sen arvot ovat tasaisesti hyviä. Muilla vertailussa mukana olleilla inverttereillä osa arvoista oli keskivertoa parempia ja osa taas huonompia.

Aurinkovoimalaan tulee 10 kappaletta inverttereitä ja niiden sijoituspaikan tulisi olla sisätiloissa, koska SolarEdgen SE10K-ER-01 inverttereiden -20°C pakkasraja ei riitä Suomen ulko-olosuhteisiin.

4.5 Asennustapa

Aurinkovoimalan tarkasta sijainnista ei ollut vielä päätetty hankkeen alussa. Harkinnassa olivat teollisuuslaitoksen katto sekä tyhjä maa-alue, riippuen voimalan lopullisesta tarkoituksesta (sähkö kuluttajalle vai verkkoon), sekä hankkeeseen mukaan lähtijöistä.

Suuren aurinkovoimalan paras asennuspaikka yleisesti ottaen on maa, koska rakennuksia ei ole tai kattopinta-alaa ei ole riittävästi, eikä näin ollen tarvitse myöskään miettiä kattojen kuormituksia. Maa-asennuksessa paneelit on helppo pitää puhtaana talvisin lumesta ja syksyisin lehdistä. (Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 19.10.2014.)

Asennustapoja on karkeasti katsottuna kahta erilaista: kiinteä asennus ja kääntyvä asennus. Kiinteässä asennuksessa paneelit on asennettu liikkumattomiin telineisiin ja paneelien kallistuskulmat pysyvät samana koko vuoden ajan.

Kääntyvässä asennuksessa paneelit on asennettu telineisiin, jotka kääntyvät joko yksi- tai kaksiakselisesti seuraten aurinkoa. Tällä tavalla voidaan maksimoida sähkön tuotto, mutta kääntyvä järjestelmä myös kuluttaa sähköä kääntäessään paneeleja. Teoriassa kääntyvällä järjestelmällä voidaan siis lisätä tuottoa 30–60 % mutta käytännössä lisätuotto jää noin 30 %:iin kääntyvän järjestelmän sähkönkulutuksen takia. Toinen kääntyvän järjestelmän olennainen huomio on hajasäteily. Suomessa noin puolet säteilystä on hajasäteilyä ja kääntyvällä järjestelmällä pyritään maksimoimaan nimenomaan suoraa säteilyä, näin ollen Suomen olosuhteissa kääntyvä järjestelmä ei ole pääsääntöisesti kannattava valinta. Tämän vuoksi olen keskittynyt kiinteisiin asennuksiin voimalan suunnittelussa. (Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 19.10.2014;Erat ym. 2008,17.)

Maa-asennuksessa eri vaihtoehtoja kiinteälle asennukselle on suoraan maahan asennettavat telineet sekä erillisen varren päässä olevat telineet. Erillisen varren päässä olevia telineitä käytetään erityisesti, jos tarvitsee varjostuksien takia nostaa paneeleita ylemmäksi. Tasaisilla suurilla maa-alueilla käy hyvin suoraan maahan asennettavat telineet. (Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 19.10.2014.)

Kuten jo aiemmin inverttereiden yhteydessä mainittiin, yksikään aurinkopaneeli ei saisi olla edes osittain varjossa. Tähän pitää kiinnittää suurta huomiota paneeleita asennettaessa. Jos edes yksi kenno on varjossa, virran kulku vaikeutuu ja sähköntuotanto laskee koko paneeliketjussa. Pitää huomioida jokaisen vuodenajan sekä vuorokaudenajan tuottamat läheisyydessä olevien rakennusten ja puiden varjot.(Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 19.10.2014.)

Suomen olosuhteissa kannattavin atsimuuttikulma on 0° , eli paneelit suunnataan suoraan etelään. Kallistuskulman olisi hyvä olla välillä $30-60^\circ$. Mitä pienempi kallistuskulma on, sitä enemmän aurinkopaneeli tuottaa sähköä kesällä keskipäivällä auringonsäteilyn kohdatessa paneelin pinnan kohtisuoraan. Kannattaa silti välttää alle 15° kallistuskulmaa, jottei paneelin sähkön tuotto häiriinny lian, pölyn tai lumen kerääntyessä paneelin päälle. Koko vuoden sähköntuotannon maksimoimiseksi kallistuskulman tulisi olla noin $40-45^\circ$. Optimaalisen kallistuskulman voi laskea netistä löytyvällä laskurilla, ja Kemiin suunnitellulle aurinkosähkövoimalalle laskuri antoi kallistuskulmaksi 47° . Laskuri ottaa huomioon kuukausittaisen auringon säteilytehon

valitulle alueelle (JRC, hakupäivä 8.9.2014).(Erat ym. 2008,145-146; Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 19.10.2014.)

Verkkoon kytkettävien aurinkosähköjärjestelmien asennustyöt saa tehdä vain valtuutettu sähköasennusfirma. Asennuksille tulee tehdä käyttöönotto tarkastukset. (Motivan www-sivut 2014, hakupäivä 19.10.2014.)

4.6 Huolto ja kunnossapito

Itse aurinkopaneeleita ei tarvitse erityisesti huoltaa tai kunnossapitää. ST-kortiston mukaan aurinkopaneelit tulisi kerran vuodessa tarkistaa suojalasiensa osalta. Käytännössä silloin aurinkopaneelit on suositeltavaa puhdistaa liasta sekä tarkistaa yleiskunto, ovatko kaikki paneelit ehjiä ja kytkennät sekä johdotukset kunnossa. Hyvä aika tähän on kevät. Lumien poistuttua valmistellaan paneelit kesän parasta tuotantoa varten. Tietenkin paneelien päältä on hyvä syksyisin käydä ottamassa puista pudonneet lehdet pois sekä tarvittaessa talvisinkin poistaa lunta, ettei sähköntuotanto häiriinny. (Sähkötieto 2010, 14.)

4.7 Kannattavuus ja kustannukset

Suunnitellun aurinkosähkövoimalan kustannukset koostuvat paneelien, inverttereiden sekä asennustelineiden hinnasta. Lisäksi tulee asennustyön, suojalaitteiden, tarvittavan johdotuksen, sähköliittymän, tontin ym. hinnat päälle.

Aurinkovoimalaan valitut komponentit jakaantuvat seuraavasti:

- Paneelit
 - SolarWorldSunModule Plus SW250200 kpl
 - Hyundai HiS-M250MG160 kpl
 - InnotechSolarEcoPlus 40 kpl
- Invertterit
 - SolarEdgeSE10K-ER-0110 kpl.

Yllämainituilla aurinkopaneelilyhdistelmillä tuotettava teho on 100,4 kW. Näiden komponenttien yhteenlaskettu hinta ilman toimituskuluja on 123 030 €.

Aurinkopaneelien elinkaareksi voidaan laskea noin 30 vuotta. Kaikille vertailemilleni paneeleille annetaan tehontuottotakuu joka useimmiten on vähintään 80 % paneelin nimellistehosta paneelin ollessa 25 vuotta vanha. Lisäksi paneeleilla on mekaaninen takuu mutta se on hieman lyhyempi. Inverttereiden takuuajat jäävät myös paneelien tehontuottotakuuaikojen lyhyemmiksi.

Aurinkovoimalan perusinvestointikustannuksena voidaan pitää 2900-5000 euroa/kW (Motiva 2012, hakupäivä 22.10.2014). Voimalan takaisinmaksuaikaan vaikuttaa sähköhinnan ja siirtomaksujen hintakehitys tulevaisuudessa, verotuksen mahdollinen kiristyminen ja muut ennakoimattomat tekijät.

5 VERKKOON KYTKENTÄ

5.1 Liittyminen

Sähköntuotantolaitosta liitettäessä verkkoon tulee liittyjän ja jakeluverkon haltijan välille tehdä liittymissopimus sekä sähköntuotannon verkkopalvelusopimus kun sähköntuotantolaitoksessa tuotettu sähkö siirretään kokonaan tai osittain verkkoon, sähkönostosta tehdään erillinen sopimus. (Energiateollisuus 2014b, hakupäivä 7.11.2014.)

Ennen sähköntuotantolaitteiston käyttöönottoa on toimitettava ilmoitus koestus- ja käyttöönottopöytäkirjoineen jakeluverkon haltijalle. Sähköntuotantolaitteistoa ei saa kytkeä verkkoon koestus- eikä käyttötarkoitukseen ennen kuin jakeluverkon haltija on antanut siihen luvan. (Energiateollisuus 2011b, hakupäivä 8.11.2014.)

Sähköntuotantolaitoksia koskevat tietyt vaatimukset. Tuotantolaitos ei missään tapauksessa saa olla haitaksi muulle sähköverkolle, tuottaa häiriöitä tai rikkoa muiden sähkökäyttäjien sähkölaitteita. Vian ilmetessä tuotantolaitoksessa tulee sähköntuottajan kytkeä tuotantolaitos pois verkosta heti vian huomattuaan. Verkonhaltija voi äärimmäisessä tapauksessa jopa poistattaa laitteen verkosta jos tuotantolaitos aiheuttaa häiriöitä muualle sähköverkkoon. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

5.2 Sähkön laatu

Jakelujännitteen ominaisuudet pien- ja keskijänniteverkon normaaleissa käyttöolosuhteissa määritellään standardissa SFS-EN 50160. Sähkön laatutason tulee saavuttaa standardissa esitettyä parempi taso uusilla pienvoimalaitoksilla. (Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Sähkönlaadun varmistamiseksi liittymispisteen ja voimalan tulee täyttää mahdollisesti asetetut ehdot kuten:

- Jännitevaihtelut eivät saa olla liian suuria kytkettäessä tai erotettaessa pienvoimala verkosta
- Jännitetason on pysyttävä standardin rajoissa

- Nopeita jännitteen muutoksia ei saa esiintyä liikaa (välkyntä).

(Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Voimalaitoksen jakeluverkkoon kytkentä suositellaan tekemään niin, että kytkentä- tai käynnistysvirta rajoittuu lähelle nimellisvirran suuruutta.(Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Standardissa EN 50160 on esitetty tarkat rajat yliaaltojännitteille. Voimaloille tulisi asettaa sallittujen yliaaltojännitteiden rajojen lisäksi erikseen sallittujen yliaaltovirtojen raja-arvot. Standardi määrittää myös harmoniselle kokonaissärölle raja-arvon, joka on 5 %. Käytännössä verkonhaltijan on asetettava tiukemmat raja-arvot yliaalloille, koska standardissa esiintyviä rajoja lähestyttäessä ongelmia jo esiintyy.(Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

5.3 Suojaus

Suojausta mietittäessä kolme ehdottomasti tärkeintä asiaa ovat selektiivisyys, aukottomuus ja luotettavuus. Kaikkien näiden täytyy toteutua kaikissa tilanteissa.(Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Tuotantolaitoksen tulee olla kaikin puolin turvallinen. Jakeluverkon jännitteen poistuessa asetteluarvojen rajoista tai kadotessa osittain tai kokonaan, sähköntuotantolaitoksen tulee kytkeytyä pois verkosta. Tätä kutsutaan saarekekäytön estoksi. Tuotantolaitosta ei saa kytkeä takaisin verkkoon, ennen kuin verkon kaikki vaiheet ovat jännitteisiä ja arvot ovat asetteluarvojen rajoissa. Myös taajuuden poiketessa normaaleista raja-arvoista, tulee laitoksen kytkeytyä pois verkosta. Laitteiston vaurioilta suojaaminen ja henkilöturvallisuuden takaaminen ovat tuotantolaitoksen suojausasettelujen ensisijaiset tarkoitukset. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014;Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Voimala ei saa vaikuttaa sähköverkon uudelleen kytkentään, eli sähköverkon uudelleen syöttäminen on voitava aloittaa ilman voimalaan kohdistuvia toimenpiteitä. Voimala ei

myöskään saa pitää valokaarta yllä vikapaikassa ja näin ollen aiheuttaa johdon jälleenkytkennän epäonnistumista. (Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Sähköturvallisuuden varmistamiseksi voimala on voitava erottaa yleisestä jakeluverkosta laitteilla, jotka on voitava lukita auki-asentoon ja joiden on oltava verkonhaltijan käytettävissä. (Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Alla olevassa taulukossa 4 näkyy, mitä eri suojauksia voimalaan tarvitaan ja mihin käyttötarkoitukseen mikäkin suoja on. Jokaiselle vaiheelle tarvitsee oman ylijännitereleen sekä alijännitereleen, tämän lisäksi tarvitsee yksivaiheisen ylitaajuusreleen ja alitaajuusreleen. Oikosulkusuojina voidaan käyttää pienjännitteellä sulakkeita ja keskijännitteellä katkaisijoilla varustettuja vakioaikaylivirtareleitä. Maasulun pystyy havaitsemaan nolajännitereleellä, mutta nolajännitettä ei pystytä mittaamaan pienjännitepuolelta. Verkonhaltija päättää tapauskohtaisesti, tarvitaanko nolajänniterelettä vai ei. (Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Taulukko 4. Voimalan suojat ja käyttötarkoitukset (Sähköenergialiitto 2001, hakupäivä 9.11.2014.)

Suojatyyppi	$3 U <>$	$f <>$	$I >$	$U_0 >$
Yksin syötön esto	x	x		
Oikosulkusuoja verkon oikosulkua vastaan			x	
Maasulkusuoja keskijänniteverkon maasulkua vastaan				lisäsuoja
Oikosulkusuoja liittymispisteen takaisia vikoja vastaan			x	
Vajaanapainen kytkentä	x			
Laitteiden suojaus epänormaalilta jännitteeltä ja taajuudelta	x	x		

5.4 Enintään 50 kVA

Luokan 4 laitteistoja, eli yleiseen jakeluverkkoon sähköä syöttäviä tuotantolaitoksia, jotka myyvät sähköä sähkömarkkinaosapuolelle, koskevat sopimusehdot ovat

liittymisehdot (LE05) tai tuotannon liittymisehdot (TLE11) ja tuotantoa koskeva liite verkkopalveluehtoihin (TVPE14). Luokan 4 laitteistoilta vaaditaan tahdistus samaan tahtiin jakeluverkon kanssa, tuotantolaitoksen ja jakeluverkon sähköinen yhteensopivuus sekä saarekekäytön esto, jolloin tuotantolaitos ei voi syöttää sähköä jännitteettömään verkkoon. (Lehto 2014, hakupäivä 7.11.2014.)

Oheisessa taulukossa 5 on määritelty tuotantolaitteistojen suojauslaitteiden asetteluarvot, U_n on jakeluverkon normaali nimellisjännite. Kyseiset arvot poikkeavat standardin EN 50438 Suomelle asettamista maakohtaisista arvoista. Verkon haltija voi poiketa taulukon arvoista tapauskohtaisesti. Kyseisiä arvoja määriteltäessä on otettu huomioon laitosten ominaisuudet ja koko sekä kokemukset olemassa olevista asennuksista. (Lehto 2014, hakupäivä 7.11.2014.)

Taulukko 5. Tuotantolaitteistojen suojauslaitteiden asetteluarvot (Lehto 2014, hakupäivä 7.11.2014.)

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

Tuotantolaitoksen irrotessa verkosta suojalaitteen toiminnan johdosta, laitos saa kytkeytyä takaisin verkkoon vasta, kun verkon arvot ovat palautuneet asetteluarvojen sallimiin rajoihin ja pysyneet niissä tietyn ajan. Vaihtosuuntaajan kautta verkkoon kytketyillä laitoksilla kyseinen aika on 20 sekuntia ja muilla laitoksilla 3 minuuttia. (Lehto 2014, hakupäivä 7.11.2014.)

Verkonhaltijalle tulee toimittaa riittävät dokumentit ennen tuotantolaitoksen verkkoon kytkentää. Suositeltavaa on, että dokumentit toimitetaan jo ennen tuotantolaitoksen hankintaa. (Lehto 2014, hakupäivä 7.11.2014.)

Verkonhaltijalle toimitettavat dokumentit ovat:

- tuotantolaitoksen tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta

- liitäntälaitteen (vaihtosuuntaajan) tyyppitiedot
- suojausten asetteluarvot ja toimintarajat ja
- tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika).

(Lehto 2014, hakupäivä 7.11.2014.)

5.5 Yli 50 kVA

Yli 50 kVA:n laitteistoilla on sama luokitus kuin enintään 50 kVA:n laitteistoilla. Yli 50 kVA:n luokan 4 laitteistoa koskee samat sopimusehdot kuin enintään 50 kVA:n laitteistoja, ja niillä on samat vaatimukset. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Esimerkiksi verkon rakenne, tuotantolaitoksen liittämiskohta sekä tuotantolaitoksen tyyppi ja käyttötapa vaikuttavat suojausten asetteluarvoihin. Näin ollen tuotantolaitosten suojausten asetteluarvot määritellään aina tapauskohtaisesti. Suojausasettelut eivät kuitenkaan saa olla ristiriidassa muiden vaatimusten kanssa. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Tuotantolaitoksen jännite- ja taajuussuojauksen toimintaviiveiden tulee pohjautua laitoksen kykyyn toimia ali- ja ylijännitteellä sekä ali- ja ylitaajuudella ja toimintaviiveistä tulee sopia yhdessä verkonhaltijan kanssa. Myös saarekekäytön estävän suojausten asetteluista tulee sopia yhdessä verkonhaltijan kanssa. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Standardissa mainittujen jännitteen raja-arvojen hetkellinen ylittyminen liityntäpisteessä ei saa vaikuttaa tuotantolaitoksen toimintaan merkittävästi. Tuotantolaitokselle määritetään sallitun häiriötason kriteerit verkonhaltijan toimesta niin, ettei jännitteen laatu merkittävästi heikkene laitoksen liityntäpisteessä. Tuotantolaitoksen kytkentöjen vaikutukset liityntäpisteeseen tulee jäädä mahdollisimman pieneksi, mikä voidaan todentaa esimerkiksi koeajojen yhteydessä. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Taulukossa 6 on esitetty esimerkki sähköverkonhaltijalle toimitettavista dokumenteista, joita sovelletaan voimalaitosprojektin luonteen mukaan. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Taulukko 6. Esimerkki voimalaitoksesta toimitettavista tiedoista (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Voimalaitoksesta sähköverkonhaltijalle toimitettavat tiedot	
1 Voimalaitoksen rakenne ja sijainti	
1,1	Pääkaavio
1,2	Rakenne
	Voimalaitoksen tyyppi (esim. tuulivoima, aurinkovoima, biomassa, kaasutus)
	Perustiedot (esim. tuulivoimalaitoksesta tornin korkeus, roottorin halkaisija yms.)
1,3	Sijaintitieto
2 Voimalaitoksen muuntajan/muuntajien tekniset tiedot:	
2,1	Voimalaitoksen muuntajien lukumäärä(t)
2,2	Voimalaitoksen muuntajien nimellisarvot
	Teho [MVA], Virta [A], Jännite [V]
	Muuntosuhde (ensio/toisio)
	Käämikytkimien säätöalue ja -askel [%,%]
	Käämikytkimien askeleiden määrä ja valittu askel [kpl, asematieto]
3 Voimalaitoksen voimajärjestelmätekniset tiedot:	
3,1	Generaattoriyksiköiden lukumäärä(t)
3,2	Generaattoriyksiköiden toimittaja/toimittajat
3,3	Generaattoriyksiköiden tyyppi/tyypit
3,4	Generaattoriyksiköiden nimellisarvot
	Teho [näennäisteho (MVA) ja suurin tuotantoteho (MW)]
	Virta [A], Jännite [V], Taajuus [Hz]
	Tahtikoneista sähköiset parametrit (resistanssit, reaktanssit ja niihin liittyvät aikavakiot)
3,5	Tuotantotehon riippuvuus käyttöolosuhteista (esim. tuulen voimakkuus, lämpötila)
3,6	Mahdollisesti käytössä olevat kompensointi- ja/tai tehokertoimen korjaamisessa käytettävät laitteet
	Tyyppi/tyypit ja lukumäärä(t)
	Nimellisarvot (teho, virta, jännite, taajuus)
	Mikäli hyödynnetään yliaaltojen suodatukseen, tiedot rakenteesta ja viritystaaajuudesta
4 Voimalaitoksen ominaisuudet:	
Seuraavat kohdat voidaan korvata esim. valmistajan laitedokumenteilla, IEC61400-21 standardin mukaisella testausdokumentaatiolla tai muulla testausdokumentaatiolla	
4,1	Kuvaus loistehotuotantokapasiteetista (esim. generaattoreiden nk. PQ-digrammit)
4,2	Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja ylijännitteellä
4,3	Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja ylitaajuudella
4,4	Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia jännitehäiriöiden yhteydessä (nk. FRT-toiminta)
4,5	Kuvaus voimalaitoksen mahdollisista säätöominaisuuksista
4,6	Kuvaus voimalaitoksen vaikutuksesta sähkön laatuun
5 Voimalaitoksen suojaustiedot:	
5,1	Voimalaitoksen relesuojauskaavio
5,2	Voimalaitoksen relesuojasasettelut
5,3	Kuvaus saarekesuojan toimintaperiaatteesta
6 Käyttöönodokumentit:	
6,1	Käyttöönottopöytäkirjat
6,2	Loistehosäädön lopulliset asetteluarvot ja toimintatila
6,3	Voimalaitoksen lopulliset relesuojasasettelut
7 Muu dokumentaatio:	
7,1	Laskentamallit

Alla oleva taulukko 7 on luotu taulukon 6 rinnalle havainnollistamaan sitä, missä vaiheessa projektia täytyy toimittaa mitäkin dokumentaatiota sähköverkon haltijalle. Taulukossa 7 näkyvät numerot viittaavat yllä olevan taulukon 6 numeroihin. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2011.)

Taulukko 7. Toimitettavat tiedot projektin vaiheittain (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

	1	2	3	4	5	6	7
Esisuunnittelu	X						
Suunnittelu		X	X	X			
Rakentaminen	P	P	P	P			
Ennen koekäyttöjen alkamista					X		X
Normaalikäyttö (koekäyttöjen jälkeen)	P	P	P	P	P	X	P
X = toimitettavat tiedot							
P = päivitys aiemmin toimitettuihin tietoihin							

5.6 Yli 500 kVA

Suuret tuotantolaitokset saattavat vaikuttaa paikallisiin sähköverkkoihin merkittävästi. Sen vuoksi yli 500 kVA:n tuotantolaitoksia koskee erilliset lisävaatimukset yli 50 kVA:n tuotantolaitosten vaatimusten lisäksi. Vaadittavat dokumentit ovat samat kuin yli 50 kVA:n laitoksilla. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Tuotantolaitoksen tulee tuottaa tai kuluttaa loistehoa verkon jännite- ja kuormitustasosta riippuen ja näin osallistua sähköverkon jännitteen ylläpitämiseen käyttövarmuuden ylläpitämiseksi ja sähköverkon siirtokapasiteetin hyödyntämisen parantamiseksi. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Tuotantolaitosten tulee pystyä toimimaan vaikka sähkövoimajärjestelmässä, joka muodostuu sähköverkosta ja siihen kytkeytyvistä sähkön käyttäjistä ja sähköntuotantolaitoksista, esiintyy taajuus- ja jännitehäiriöitä. Näin tuotantolaitokset voivat tarvittaessa tukea häiriöiden aikana sähköverkkoa sekä niiden jälkeen. Yli 500 kVA:n tuotantolaitoksen tulee pystyä toimimaan 47,5–53 Hz:n jännitteellä sekä 85–110 %:n nimellisjännitteellä. Suojauksen toimintaviiveistä sovitaan liityntapisteen verkonhaltijan kanssa. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Tuotantolaitoksessa pitää suorittaa seuraavat mittaukset koekäytön ja/tai käynnistyksen yhteydessä:

- Tuotantolaitoksen käynnistyksen ja pysäyttämisen vaikutus hetkellisesti jännitetasoon

- Tuotantolaitoksen suurimman tuotantotehon todentaminen
- Vaatimusten mukainen loistehokapasiteetti
- Tuotantolaitoksen kyky ylläpitää pitää loisteho vakiona
- Loisteho- ja mahdollisen vakiojännitesäädön toiminta ja toimintapisteen muutos ilman merkittäviä, äkillisiä muutoksia
- Sähkön laatu.

(Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Yli 10 000 kVA:n laitoksia koskevat Fingridin Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. (Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

Fingrid edellyttää tuntiakohtaisen energiatiedon toimittamista yli 1000 kVA:n laitoksilta. Muilta laitoksilta riittää liityntapisteen verkonhaltijan määrittämän mittaustiedot.(Lehto 2011, hakupäivä 8.11.2014.)

6 POHDINTA

Kaikki aurinkosähköön perehtyvät ja alaan sijoittavat ovat ajan hermolla. Aurinkosähkö tulee valtaamaan markkinoita koko ajan lisää. Sähkön hinnan kasvaessa ja öljyn vähentyessä aurinkosähkö on erittäin varteenotettava kilpailija muille vaihtoehdoille, varsinkin maaliskuun ja syyskuun välissä.

Jos kyseinen voimala aiotaan toteuttaa, kannattaa se tehdä mahdollisimman pian. Aurinkosähkö on alana tällä hetkellä niin nopeasti kehittyvä, että nyt todetut ja hyväksi havaitut asiat voi olla jo parin vuoden päästä täysin vanhanaikaisia. Jos voimalan toteutus lykkääntyy vaikka viidellä vuodella, saattaa lisääntyneiden kokemusten perusteella jopa säädöksiin olla tehty muutoksia, komponenttien väistämättömän vanhenemisen lisäksi. Tosin viiden vuoden päästä saattaa markkinoilla olla jo paljon kannattavampia valintoja voimalan komponenteiksi.

Alkuun opinnäytetyö tuntui hetkittäin miltei mahdottomuudelta, sillä aurinkosähköstä ei ollut minkäänlaista käsitystä tai edes perustietoja. Työn edetessä kiinnostus aurinkosähköä kohtaan kasvoi koko ajan ja tietotaso kasvoi valtavasti. Työssä tuli opittua tiedonhakua ja lähdekriittisyyttä lisää.

LÄHTEET

- Aurinkosähkötalo Eurosolar. Aurinkosähkö. Hakupäivä 12.11.2014.
<<http://www.eurosolar.fi/aurinkosahko/>>
- Aurinkoteknillinen yhdistys. Aurinkoteknologiasanasto. Hakupäivä 19.10.2014.
<<http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/sanasto.pdf>>
- Energiateollisuus. Aurinkoenergia. Hakupäivä 12.11.2014.
<<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/aurinkoenergia>>
- Energiateollisuus 2011a. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon, Verkostosuositus YA9:09. Hakupäivä 10.11.2014.
<http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_verkostosuositus_lopullinen_2009.pdf>
- Energiateollisuus 2011b. Sähköntuotannon verkkopalveluehdot TVPE11. Hakupäivä 8.11.2014.
<http://energia.fi/sites/default/files/tuotannon_verkkopalveluehdot_tvpe11.pdf>
- Energiateollisuus 2014a. Hakupäivä 31.7.2014.
<<http://energia.fi/sites/default/files/images/aurinkovoima.jpg>>
- Energiateollisuus 2014b. Sähköntuotannon liittymisehdot TLE2014. Hakupäivä 7.11.2014.
<http://energia.fi/sites/default/files/tuotannon_liittymisehdot_tle_2014_1.pdf>
- EPIA European Photovoltaic Industry Association 2009. Photovoltaic energy, Electricity from the sun. Hakupäivä 12.11.2014.
<http://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic_Energy_Electricity_from_the_Sun_EPIA.pdf>
- EPIA European Photovoltaic Industry Association 2014. Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. Hakupäivä 22.10.2014.
<http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf>
- Erat, Bruno & Erkkilä, Vesa & Nyman, Christer & Peippo, Kimmo & Peltola, Seppo & Suokivi, Hannu 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä.
- Helsingin Energia. Hakupäivä 12.10.2014.
<<https://www.helen.fi/Kotitalouksille/Palvelumme/Tuota-sahkoa/Aurinkosahkon-pientuotanto/>>
- Helsinki University of Technology. Aurinkosähkötöknologiat. Hakupäivä 12.11.2014.
<<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>>
- Ilmatieteen laitos 2012. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä III (Jyväskylä). Hakupäivä 10.11.2014.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c42ffaa5-1d7d-4222-bdef-4ad21f3b943b&groupId=30106>
- JRC. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. Hakupäivä 8.9.2014.
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>
- Lehto, Ina 2011. Tekninen liite 2 Yli 50 kVA tuotantolaitoksia koskevat tekniset vaatimukset. Hakupäivä 7.11.2014.
<http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_2_-_yli_50_kva.pdf>
- Lehto, Ina 2014. Tekninen liite 1 Enintään 50 kVA tuotantolaitoksia koskevat tekniset vaatimukset. Hakupäivä 7.11.2014.
<http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_1_-_enintaan_50_kva_paivitetty_20140610.pdf>
- Loistovoima 2014. Aurinkoenergia. Hakupäivä 12.11.2014.
<<http://www.loistovoima.fi/aurinkoenergia/>>

- Motiva 2012. Opas sähkön pientuottajalle. Hakupäivä 22.10.2014.
< http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf>
- Motivan www-sivut 2014. Hakupäivä 10.11.2014. <www.motiva.fi>
- Suntekno 2010. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. Hakupäivä 10.11.2014.
<<http://suntekno.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>>
- Sähköenergialiitto 2001. Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon. Hakupäivä 9.11.2014.
< <http://energia.fi/sites/default/files/10930.pdf>>
- Sähkötieto 2010. ST 98.50 Energiatohokkuusvaatimusten huomioiminen rakennusten sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien käytössä ja kunnossapidossa. Espoo: Sähköinfo.
- Sähkötieto 2013. ST 55.33 Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. Espoo: Sähköinfo.
- Särkänniemen tähtiakatemian www-sivut 1999. Hakupäivä 12.11.2014.
<<http://www.sarkanniemi.fi/akatemia/tahtiakatemia/>>
- Tampereen teknillinen yliopisto:Sähkömagneetiikan laitos a. SMG-4300 Aurinkosähkö ja Tuulivoima, Aurinkosähkön 2. luento. Hakupäivä 10.11.2014.
<<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4300/luennot/luento2.pdf>>
- Tampereen teknillinen yliopisto:Sähkömagneetiikan laitos b. SMG-4300 Aurinkosähkö ja Tuulivoima, Aurinkosähkön 5. luento. Hakupäivä 12.11.2014.
< <http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4300/luennot/luento5.pdf>>
- Ursa 1999. Aurinko. Hakupäivä 12.11.2014
< <http://www.ursa.fi/extra/kosmos/a/aurinko.html>>
- Ympäristöenergia. Monikiteinen aurinkopaneeli BP 380. Hakupäivä 12.11.2014.
< http://www.y-energia.com/aurinkosahko/paneeli_BP_380/paneeli_bp_380.html>
- Quaschnig, Volker 2004. Hakupäivä 19.10.2014.
<http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals3/index_e.php>
- Wextra 2014. Aurinkopaneeli 140 W. Hakupäivä 12.11.2014.
< <http://www.swextra.fi/aurinkopaneeli-140w-p-786.html>>

LIITTEET

- Liite 1. Tietoa aurinkosähköstä
- Liite 2. Paneelivalmistajia
- Liite 3. Paneelivertailu
- Liite 4. Invertterivalmistajia
- Liite 5. Invertterivertailu

Liite 1. Tietoa aurinkosähköstä

SFS-EN 60439-1

SFS-EN 61439-1

SFS-EN 61215

SFS-EN 62446

ST 98.50

ST 55.33

SFS 6000-5-55

SFS 6000-7-712

SFS-EN 50160

EN 61215

EN 60904-3

EN 50438

IEC/TR 60755

TVPE 11

TLE 11

Energiateollisuuden ohje: Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, 2011.

Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin, 2008.

Motivan opas: Opas sähkön pientuottajalle, 2012.

Liite 2. Paneelivalmistajia

NAPS

Hyundai

Solarwatt

InnotechSolar

Solarworld

Sunrise

SolarXon

Istar

Suntech

Sunowe

Recom

Yingli

Heckert

Centrosolar

BlueSolar

Kyocera

Sanoy

Sunwind

BPSolar

AEN

Gytech-Solar

Xunzel

ZN Shine Solar

Martifer Solar

Ulica Solar

KIOTO Photovoltaics

SolarPark

Panasonic

Liite 3. Paneelivertailu

	Merkki	SolarWatt Blue 60P	Innotech Solar EcoPlus	Sunowe SF156X156-72-P	SolarWorld SunModule Plus SW250	SolarWorld SunModule Protect SW255	Kyocera KD320GX-LFB	Naps Saana 245 P3 PBW	Sunrise SR-P660245	Sunrise SR-P660220	Hyundai HIS-M250MG
Teho P [W _p]		255	260	305	250	255	320	245	245	220	250
Virta Imppp [A]		8,39	8,49	8,2	8,27	8,32	7,99	8,41	8,17	7,44	7,44
Jännite Umpp [V]		30,4	31,2	37,2	30,5	30,9	40,1	29,1	29,99	29,59	30,9
Oikosuikuvirta Isc [A]		8,77	8,89	8,87	8,81	8,88	8,6	9,01	8,78	8,03	8,6
Avoimen piirin jännite Uop [V]		37,8	37,8	45,36	37,6	38	49,5	37,4	37,12	36,68	38,2
Leveys [mm]		990	991	992	1001	1001	1320	986	992	992	983
Korkeus [mm]		1680	1665	1966	1675	1675	1662	1623	1637	1637	1645
Paksuus [mm]		40	35	50	31	31	46	35	40	40	35
Massa [kg]		19	19	23	21,2	21,2	27,5	21,1	19,2	19,2	18,5
Kennojen lukumäärä [kpl]		60 poly	60 poly	72 poly	60 poly	60 poly	80 poly	60 poly	60 poly	60 poly	60 poly
Kuorma [Pa]		2400/5400	2400/8000	5400	2400/5400	2400/5400	25mm @ 23m/s	5400	2400/5400	2400/5400	5400
Takuu (tuote/tuottavuus) [V]		10/25	12/25	10/25	10/25	10/30	5/20	5/25	12/25	12/25	10/25
Valmistusmaa		Saksa	Ruotsi	-	Saksa	Saksa	-	Viro	-	-	Korea
Hinta [€]		397	398	-	202	295	295	249	249	247	294
Minimi lämpötila [°C]		-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
Maksimi lämpötila [°C]		80	80	85	85	85	90	85	85	85	85
€/m ² [€]		238,6964887	241,2099284	0	120,4765384	0	134,4674179	0	153,3341872	152,1025873	181,8142464
€/W _p [€]		1,556862745	1,530769231	0	0,808	0	0,921875	0	1,016326531	1,122727273	1,176
W _p /m ² [W _p]		153,3189033	157,5743251	156,3884422	149,1046267	152,0867193	145,8629617	153,0983992	150,8709874	135,4759887	154,6039511
Paneelia/100 kW [kpl]		392,1568627	384,6153846	327,8688525	400	392,1568627	312,5	408,1632653	408,1632653	454,5454545	400
Pinta-ala /100 kW [m ²]		652,2352941	634,6211538	639,4334426	670,67	657,5196078	685,575	653,1746939	662,8179592	738,1381818	646,814
Hinta/ 100 kW [€]		155686,2745	153076,9231	0	80800	0	92187,5	0	101632,6531	112272,73	117600

Liite 4. Invertterivalmistaja

SMA

Vacon

ABB

The Switch

Fronius

Enphase

SolarMax

Delta

GDIGGER

AEG

Steca

SolarEdge

Liite 5.Invertterivertailu

Merkki	Steca	ABB	SolarEdge	Gdigger	Vacon	SMA
Malli	StecaGrid 5503x	PVI-10.0-TL-OUTD	SE10K-ER-01	EST10KTP-TL	NXV00104A2L	STP 10000TL-20
Teho [W]	5500	10000	10000	10000	10000	10000
Max. input jännite [V]	1000	900	900	1000	900	1000
Start input jännite [V]	250	360		250	-	188
Max. input virta [A]	11	34/17	16,5	16	29	18/10
Max. Hyötysuhde [%]	98,7	97,8	98	97,7	94,9	98
Käyttö lämpötila [C°]	-15-60	-25-60	-20-60	-20-60	-10-40	-25-60
IP	65	65	65	65	21	65
Paino [kg]	12	41	33,2	50	220	37
Takuu [v]	7	10	12	5		5
Max. output virta [A]	10	16,6	16	16	14,4	14,5
Output jännite [V]	400	400	400	400	400	400
Hinta [€]	-	1980	1967	-	-	-
Number of MPPT [kpl]	1	2	-	2	1	2