

Hannes Aalam

Maatilan sähköomavaraisuuden kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

28.4.2016

Tekijä(t) Otsikko	Hannes Aalam Maatilan sähköomavaraisuuden kehittäminen
Sivumäärä Aika	56 sivua + 6 liitettä 28.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumis- vaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Osmo Massinen
<p>Maatila on erinomainen paikka hajautetulle sähköntuotannolle. Tilan riittä- vyyden vuoksi luonnollisten energianlähteiden kuten puun, fossiilisten poltto- aineiden, tuulen tai auringonpaisteen hyödyntäminen onnistuu mukavasti. Tärkein kysymys kuuluu, minkälainen sähköntuotanto maatilalla on kannat- tavinta ?</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin tilaajan maatilan sähköomavaraisuuden kehittämisen mahdollisuuksia. Koska siirtyminen uusiutuviin energiantuotantomenetelmiin tarkoittaa samalla omavaraisuuden lisäämistä, hylättiin uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö ja keskityttiin ainoastaan aurinkosäteilyä valjastaviin järjestelmiin.</p> <p>Aurinkofotonien hyötykäyttö valittiin, koska maailman markkinoilla aurinkosähkö- järjestelmien hintakehitys on ollut jatkuvassa laskutrendissä ja saavuttanut laajan kannattavuuden sähkönkuluttajien joukossa.</p> <p>Maatilan omistajalle selvitettiin varastointijärjestelmällä varmennetun aurinkosähkö- järjestelmän hankkimiseen ja asentamiseen liittyvät yksityiskohdat, sekä laskettiin potentiaalisten järjestelmien investointikustannukset ja energian tuotto-odotukset.</p> <p>Selvittelyn tuloksena voidaan varmuudella sanoa, että maatilalle kannattaa hankkia työssä esitetyn suuruinen verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä. Koska ak- kujen kulumisen on varastoitavaan energiamäärään nähden vielä melko kallista, kannattaa varastointijärjestelmän asentaminen harkita huolella tai ehkä siirtää lähi- tulevaisuuteen, jolloin se edelleen onnistuu erittäin hyvin vaihtosähköpuolelta yhdis- tämällä.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä käytettiin laadullista tutkimusprosessia ja tietoa työhön hankittiin erilaisista kirjallisista lähteistä ja tutkimalla alalla toimivien yritysten internet- sivuja.</p> <p>Työtä tehdessä tuli selväksi, että aurinkosähköstä tulee erittäin varteenotettava tekijä energiantuotantosektorissa, joten siihen kannattaa kaikkien keskittyä.</p>	
Avainsanat	Aurinkosähkö, energiantuotanto, akkuvarmistus, mikrotuotanto

Author(s) Title	Hannes Aalam Self- sufficiency development of a Farm
Number of Pages	56 pages + 6 appendices 15 September 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Osmo Massinen, Lecturer
<p>The farm is an excellent place for decentralized electricity production. Due to a lot of space the use of natural energy sources such as wood, fossil fuel, wind or sunshine utilization manages successfully. The big question is that what kind of electricity production on the farm is most profitable.</p> <p>The purpose of this thesis was to clarify the possibilities for the subscriber's electricity self-sufficiency development. Since the transition to renewable energy generation methods means an increase in self-sufficiency, it was decided to reject the use of non-renewable resources, and focus only on solar radiation harness systems.</p> <p>The use of sun photons was chosen because of the world market prices for photovoltaic systems have been on a continuous downward trend and have reached profitability among electricity consumers.</p> <p>For the farm owner, the acquisition of solar backed-up power system and the details of photovoltaic system installation were clarified. Also the investment costs and energy yield expectations of potential systems were calculated. Information for this work was obtained from a variety of literary sources and from companies active in exploring the field.</p> <p>As a result of this study It can be said with certainty that the farm should get the grid-connected photovoltaic system, as presented in this report. Because of the exhaustion of batteries relative to the amount of energy they can store inside, they are still fairly expensive, and the decision of installing a storage system shouldn't be taken lightly. It is possible to postpone it to the near future, this which case it will continue to be successful with AC-coupling.</p> <p>While making this work it became clear that photovoltaics will become a very viable factor in energy sector, so this technology is worth paying attention to.</p>	
Keywords	Photovoltaic, battery backed- up, self-sufficiency, energy production

Sisällys

Tiivistelmä Abstract Sisällys

1 Johdanto	1
2 Aurinkosähkö	2
2.1 Maatilan aurinkosähkö	2
2.2 Valosähköinen ilmiö	2
2.3 Auringon säteilyenergia Suomessa	3
2.4 Aurinkokennot	6
2.4.1 Yksikiteinen piikkenno	7
2.4.2 Monikiteinen piikkenno	8
2.4.3 Ohutkalvokennot	8
2.4.4 Keskittävä aurinkokenno	9
2.5 Aurinkopaneeli	10
2.5.1 Aurinkopaneelien suuntaus ja sijoitus	11
2.5.2 Sijainnin ja vuodenajan vaikutus	11
3 Järjestelmän suojaus ja turvallisuus	14
3.1 Aurinkosähköjärjestelmän kaapelointi	14
3.2 Maadoitus, ylijännitesuojaus ja ukkossuojaus	15
4 Vaihtosuuntaajat	23
4.1 Aurinkosähkö vaihtosuuntaaja	23
4.1.1 Ketjuinvertteri	24
4.1.2 Mikroinvertteri	25
4.1.3 DC-DC sähköenergian tehostaja	27
4.2 Ketjuinvertteri vastaan mikroinvertteri	29
4.3 Markkinat	30
5 Sähkökatkon aikana toimivat järjestelmät	32
5.1 Sähkökatkon aikana toimivat järjestelmät	32
5.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	35
5.3 Sähköenergian sääntely	36
5.4 Energian varastointi	37
6 Maatilan sähköomavaraisuutta lisäävä aurinkosähköjärjestelmä	39

6.1 Akkupankin mitoitus	39
6.2 Aurinkopaneeliston mitoitus	44
6.3 Potentiaalisten järjestelmien esitys	49
6.4 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika	51
7 Yhteenveto	56
Liite 1. Karjatalousrakennuksen kojeluettelo	
Liite 2. Maatilan ilmakehän kuva	
Liite 3. Maatilan asemapiirros 1	
Liite 4. Maatilan asemapiirros 2	
Liite 5. SMA:n akku varmennetun invertterin tekniset tiedot	
Liite 6. ABB Power One -verkkoinvertterin tekniset tiedot	
Liite 7. Winaico monikideaurinkopaneelin tekniset tiedot	

1 Johdanto

Projektin tavoitteena on olemassa olevaa aurinkoteknologiaa käyttäen esittää järjestelmä, jolla voi saada saarekesähkötuotannon omavaraisesti toimimaan, vaikka sähkönsyöttö valtakunnan verkosta katkeaisi. Näin maatilan omistajan sähkönsaanti turvataisiin myös vika- ja huoltotilanteissa. Tarkoitus on tutkia ja suunnitella ratkaisu, jossa ei-vioittunut sähköliittymä ja siihen kytketty tuotanto pystyvät edelleen toimimaan, vaikka valtakunnan verkko ei olisikaan käytössä. Kyseisessä ratkaisussa on haasteellista takasyötön esto, moduulien valinta ja saada aikaan tehotasapaino: kuormaa ei ole enempää kuin mitä on käytettävissä olevaa tuotantoa. Sen lisäksi sähkönsyöttö jakeluverkkoon tulee olla jatkuvasti estetty sähkökatkon aikana.

Painotusalueena on tarkoitus keskittyä uusiutuvaan energiantuotantoon ja erityisesti aurinkosähkösovelluksiin. Aurinkosähkö on erittäin käyttökelpoista kohteissa joissa halutaan lisätä omavaraisuutta. Tavoitteena on siis kehittää aurinkosähköjärjestelmä, jonka jakeluverkkoyhtiö on valmis liittämään jakeluverkkoon ja joka toimii erillisenä saarekkeena sähkökatkojen aikana ja jonka sähkönsyöttö jakeluverkkoon on teknisin keinoin sähkökatkon aikana tehokkaasti estetty. Työssä lasketaan esitettävien vaihtoehtojen investointihinnat, energian tuotto-odotukset ja investointien takaisinmaksuajat sekä esitetään potentiaaliset järjestelmän komponentit ja kytkennät. Järjestelmän kokoluokka tulee olemaan mikrotuotantoa eli alle 50 kVA.

Sähköliittymään kuuluu kaksi erillistä rakennusta, joita syötetään yhteisestä maatilalla olevasta pääkeskuksesta. Toinen on asuinrakennus ja toinen karjatalousrakennus, jossa oleskelee satapäinen lypsylehmälauma. Sähkökatkojen varalta tilan omistaja haluaa varmistaa maidon keräilyn, kuljetuksen, säilytyksen ja turvata lypsykarjan veden saannin. Sähköliittymällä on 3x63A:n liittymäoikeus ja tilalla sähköä vuonna 2015 käytettiin 118 997 kWh. Kohde sijaitsee Etelä-Savossa Suur-Savo Sähkö energiayhtiön alueella. [1.]

2 Aurinkosähkö

Kodinomistajat ja yritykset ovat innostuneet konseptiin hajautetusta sähköntuotannosta asentamalla valosähköjärjestelmiä. On paljon osatekijöitä, jotka ovat aiheuttaneet merkittävää nousua aurinkoenergian tuotannossa, niitä ovat valtion verokannustimet, uusiutuvan energian tuotannon kannustimet, edullisempi valosähkö moduulien hinta, välitön ja ennustettu nousu sähkön kustannuksissa ja yhä vahvempi toive energiaomavaraisuudesta.

Etelä-Afrikan valosähköteollisuusyhdistyksen mukaan valosähkö on nopeimmin kasvava energiantuotantotekniikka maailmassa. Enemmän kuin 35 GW valosähköä on asennettu ja toiminnassa ympäri maailmaa. Se tuottaa enemmän kuin 30 TWh puhdasta energiaa vuodessa. Itse tuotettu sähkö on yleensä edullisempaa sekä tarjoaa korkeamman asteisen riippumattomuuden jakeluverkosta. Aurinkosähköjärjestelmät tulevat olemaan yhtenäinen osa sähköasennuksia tulevaisuudessa. Vuonna 2013 maailmassa asennettiin ensimmäisen kerran enemmän uudistuvaan energiaan perustuvaa sähkön tuotantokapasiteettia kuin perinteisiä sähkövoimaloita. Tämä energia-vallankumous on rantautumassa Suomeenkin. [1;2;3.]

2.1 Maatilan aurinkosähkö

Maatila on erinomainen paikka uusiutuvan, omavaraisen sähkön tuottamiseen aurinkopaneeleilla. Maatiloilla sähkön kulutusta on paljon ja sähköä käytetään ympäri vuorokauden, kattopinta-alaa riittää ja suurehkojen investointien tekeminen on tavallista. Aurinkosähkö on monella tapaa parasta energiaa: ei päästöjä, ei liikkuvia osia, ei melua ja erittäin pieni huollontarve.[4.]

2.2 Valosähköinen ilmiö

Auringon sähköenergian tuotanto perustuu valosähköiseen ilmiöön. Valosähköisellä ilmiöllä tarkoitetaan sähköisiä muutoksia valolle altistetussa kappaleessa. Valosähköisessä ilmiössä lyhytaaltainen sähkömagneettinen säteily irrottaa metallista elektroneja. Ilmiössä foton absorboituu metallin atomiin irrottaen tästä elektronin, jonka seurauksena foton katoaa ja sen koko energia siirtyy elektronille, joka pystytään hyödyntämään esimerkiksi aurinkokennossa rakenteensa ansiosta sähköenergiana.

Valosähköisen ilmiön havaitsi ensimmäisen kerran Heinrich Hertz vuonna 1887. Ilmiölle löydettiin selitys vuosia myöhemmin kun, Albert Einstein oivalsi, että valo on sekä aaltoja että hiukkasia. Einstein osoitti valosähköisen ilmiön vuonna 1905 kvanttiteorian avulla, josta hän vuonna 1921 sai Nobelin fysiikanpalkinnon.[5.]

2.3 Auringon säteilyenergia Suomessa

Aurinkosähkön lyömättömiä etuja ovat päästöttömyys, uusiutuvuus, hyvin alhaiset käyttökustannukset sekä pitkä käyttöikä. Aurinkoenergian ajatellaan kuitenkin olevan kannattamatonta Suomessa pohjoisen sijainnin vuoksi. Pitkä talvi ja lyhyt kesä ei ole paras mahdollinen kombinaatio aurinkosähkön tuotannon kannalta. Maan pinnalle saapuva vuotuinen auringon säteilyenergia on Suomessa kuitenkin likimain yhtä suuri kuin Pohjois-Saksassa. Säteilyintensiteettiolosuhteet eivät siis ole este aurinkosähkön hyödyntämiselle Suomessa.[6.]

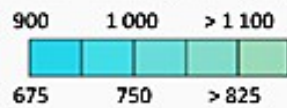
Suomeen saapuvan auringonsäteilyn määrään vaikuttaa merkittävästi Suomen maantieteellinen sijainti. Voimakkainta säteily on touko–heinäkuun välisenä aikana, jolloin Etelä-Suomessa säteilystä saatava energian määrä kuukaudessa on kohtisuoralle pinnalle keskimäärin 160 - 170 kWh/m². Loka- ja helmikuun välisenä aikana säteilyenergian määrä jää alle 30 kWh/m². [7.]

Eteläisimmässä Suomessa lounaisrannikolla auringonsäteilyenergia on vuositasolla noin 1 000 kWh/m², joka on lähes sama kuin Keski-Euroopassa. Helsingissä vuotuinen säteilyenergia on noin 950 kWh/m².

Pohjoiseen mentäessä säteilyn taso kuitenkin heikkenee. Esimerkiksi Keski-Suomen säteilyenergian taso on vuodessa noin 900 kWh/m².



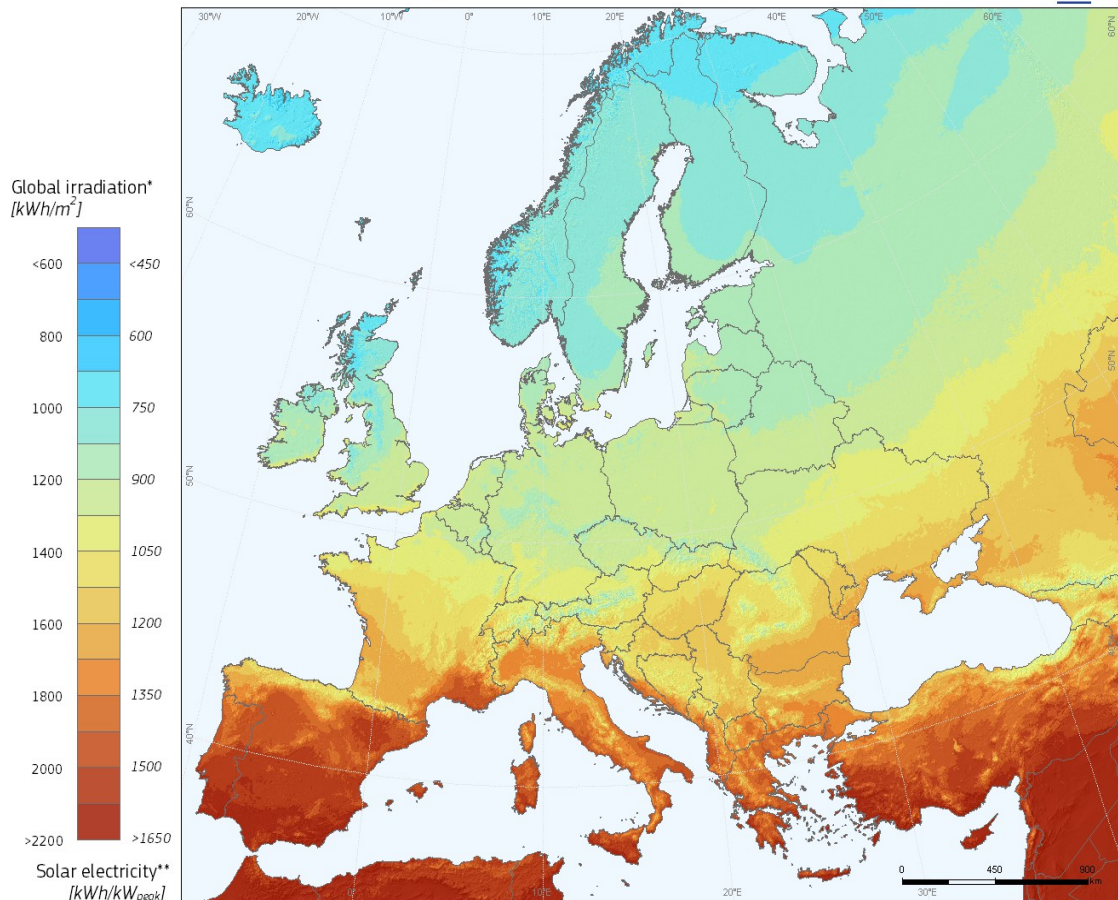
Vuotuinen kokonaissäteily määrä [kWh/m²]



Vuotuinen aurinkosähkön tuotantomäärä 1 kW_p:n järjestelmällä [kWh/v],
performance ratio = 0,75

Kuva 1 havainnollistaa auringon vuotuista säteilyenergian määrää Suomessa ja kuva 2 Euroopassa. [PVGIS.]

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

**Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW_p system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
EC - Joint Research Centre
In collaboration with: CM SAF, www.cmsaf.eu

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

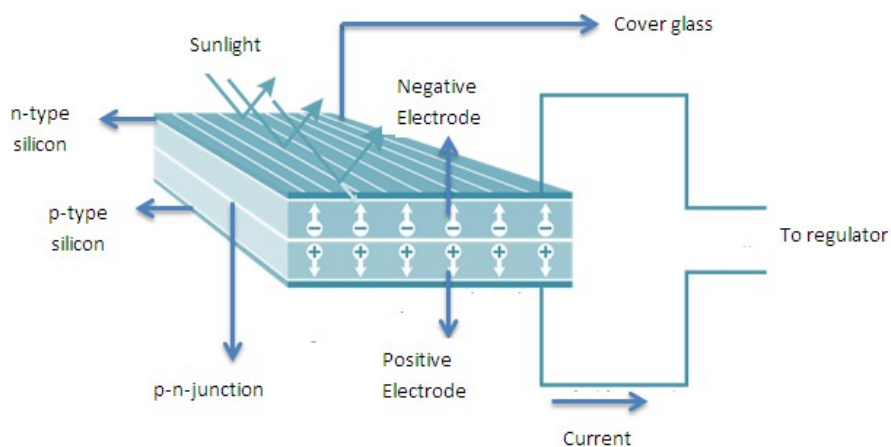
Kuva 2. Auringon keskimääräinen säteilyteho Euroopassa. Säteilytehomittarin lukemat osoittavat vuosittaisen säteilytehon kertymän neliometriä kohden. [PVGIS.]

Kuvasta huomataan, että Euroopan potentiaalisimmat alueet aurinkosähkön tuotantoon ovat Portugali ja Välimeren alue. Vähiten potentiaalia aurinkoenergian tuotantoon on Islannissa, Iso-Britannian pohjoisosissa, Norjan rannikkoalueilla, Pohjois-Ruotsissa sekä Suomen Lapissa joissa auringon säteilyteho on noin 40- 50 % Etelä-Euroopan alueiden säteilytehosta.

2.4 Aurinkokennot

Aurinkokenno on tyypillisesti yksi- tai monikiteisestä seostetusta piistä valmistettu diodin kaltainen puolijohdekomponentti, jolla auringon säteily muunnetaan sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla. Kennon toiminta perustuu kahteen pääperiaatteeseen: saapuvat fotonit synnyttävät absorboivaan puolijohdeeseen varauksen kuljettajia eli elektroniaukkopareja. Elektronit kerätään johtimiin ja ne voidaan viedä kulutuslaitteeseen tai varastoida akkuihin. Yleisimpiä aurinkokennojen materiaaleja ovat yksikiteinen pii, monikiteinen pii, galliumarsenidi ja amorfinen pii.[8.]

Kennojen tyypillinen käyttöikä on noin 30 vuotta. Aurinkokennot voidaan jakaa tasapaksuihin levykennoihin, joissa auringonvalo tuottaa suoraan sähköä sekä keskittäviin aurinkokennoihin, joissa auringonvalo keskitetään tai tiivistetään sähkön tuotantoa varten linseillä tai peileillä. Levykennojen huipputeho on yleensä 5–300 W. Keskitettävien aurinkokennojen huipputeho vaihtelee 0,5–40 kilowattiin. Vuonna 2004 keskitettävien aurinkokennojen huipputeho vaihtelee 0,5–40 kilowattiin. Vuonna 2004 keskitettävien osuus markkinoista oli 1 % 11,96 MW ja vuonna 2014 0,25 % 100 MW.[9.]



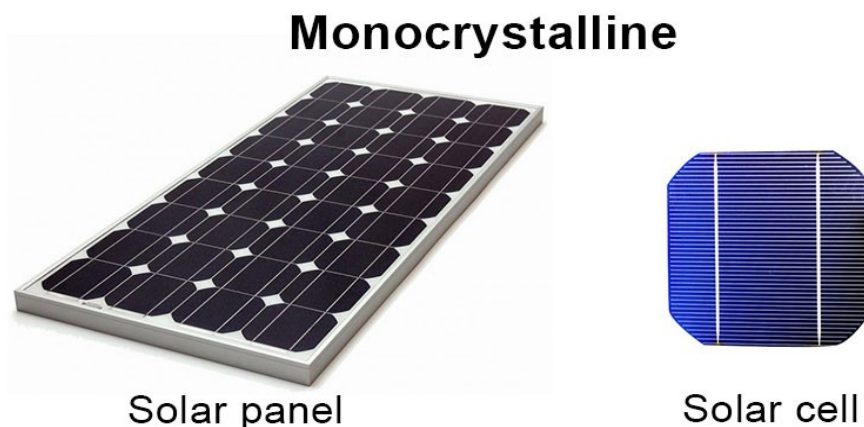
Kuva 3. Kennon rakenne

Laaja valikoima materiaaleja sekä prosesseja tyydyttävät aurinkoenergian konversio vaatimukset, mutta käytännössä lähes kaikki aurinkoenergian konversio laitteet käyttävät hyödyksi pn-liitos puolijohdemateriaaleja.[10.]

2.4.1 Yksikiteinen piikkenno

Seuraavaksi esitetään eri aurinkokennovaihtoehtoja aurinkosähkön tuottamiseen. Aurinkokennoteknologiat jaetaan niin sanottuihin sukupolviin, joista ensimmäisen muodostavat kiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot. Toisen sukupolven aurinkokennot koostuvat ohutkalvoteknologialla valmistetuista aurinkokennoista, kun vastavasti kolmannen sukupolven kennoihin kuuluvat nanoteknologialla valmistetut tulevaisuuden aurinkokennot sekä muut tulevaisuudessa kehitteillä olevat teknologiat. Aurinkokennon yleisin valmistusmateriaali on pii, jota voidaan käyttää joko yksikiteisenä, monikiteisenä tai amorfisena.

Yksikiteiset piikennot ovat hyötysuhteeltaan parempia, mutta niiden huonona puolena on raaka-aineen valmistuksen monimutkaisuus. Raaka-aineen tulee olla erittäin puhdasta, ja sen valmistus on teknisesti erittäin haastavaa ja hidasta, joten valmistuskustannukset ovat suhteellisen suuret. Kun otetaan huomioon koko tuotteen elinkaari, yksikidekenno saattaa kestävyytensä vuoksi kuitenkin olla kilpailukykyinen vaihtoehto. Hyötysuhteet liikkuvat 15 %:n ja 22 %:n välillä. Suurimpia aurinkomoduulien valmistajia maailmanlaajuisesti on Suntech, First Solar, Yingli Solar, Trina Solar, Sharp ja Sunpower.[5.]



Kuva 4. Yksikiteinen piikkenno

2.4.2 Monikiteinen piikkeno

Monikiteisestä piistä valmistettujen paneelien valmistus on helppoa, mutta valmistustekniikasta johtuen hilavirheitä esiintyy huomattavasti yleisemmin. Hilavirheet vaikuttavat sähkövirran kulkuun kennon sisällä heikentäen hyötysuhdetta. Hyötysuhteet liikkuvat 14 %:n ja 18 %:n välillä. Vuonna 2013 kiinalaiset saavuttivat monikiteaurinkokennollaan hyötysuhde-ennätyksen 18,3 %. Ennätys syntyi standardikokoisella 156x156 mm²:n kennolla. Edullisen materiaalin hyötysuhteen parantaminen merkitsee entistä parempia ja laajempia käyttömahdollisuuksia erilaisissa sovelluskohteissa. Uuden tehokennon teollisen mittakaavan tuotanto on jo aloitettu.[5;11.]

Polycrystalline



Solar panel



Solar cell

Kuva 5. Monikiteinen piikkeno

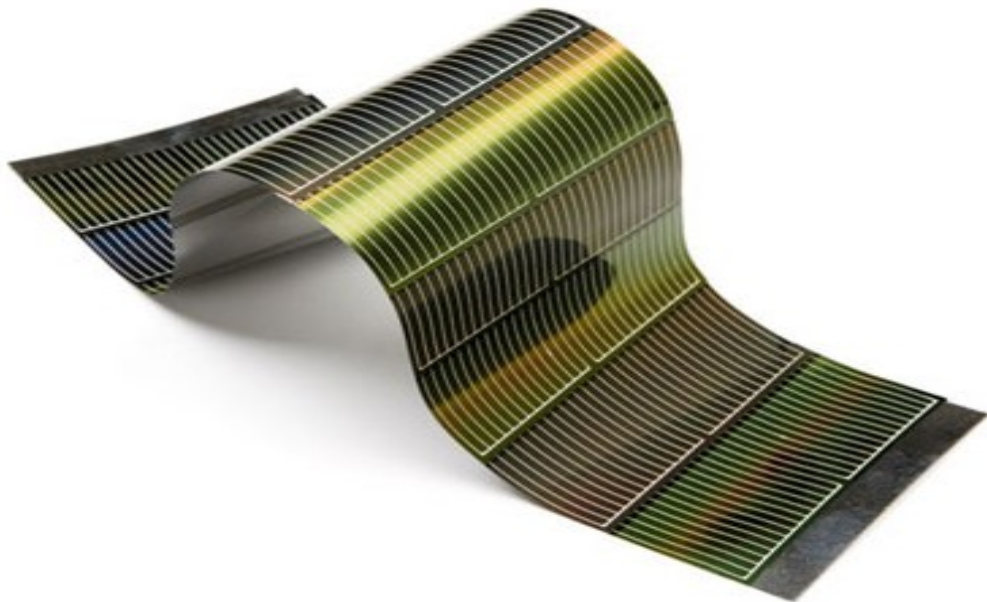
Yhden aurinkokennon antama jännite on 0,5 - 0,6 V. Käyttötarpeen mukaan kennoja kytketään sarjaan paneeleiksi. Aurinkokennosta saatu sähkövirta on verrannollinen muodostuvien elektroniaukkoparien lukumäärään. Sen vuoksi sähkövirta riippuu kennon pinta-alasta ja auringon säteilyn voimakkuudesta. Kennot tuottavat kirkaalla auringonpaisteella sähkövirtaa noin 32 mA/cm². Näin esimerkiksi 90 mm x 120 mm suuruinen kenno tuottaa maksimissaan 3,5 A.[12.]

2.4.3 Ohutkalvokennot

Ohutkalvokennot ovat ohuempia ja halvempia rakentaa kuin perinteiset piikkennot, mutta eivät yllä vielä yhtä hyvään hyötysuhteeseen. Ohutkalvokennoista voidaan valmistaa läpinäkyviä ja taipuisia, jolloin kyseisellä teknologialla on mahdollista päällystää esimerkiksi ikkunat, tai kokonainen lasitettu rakennus. Ohutkalvoteknologialla onkin monia ominaisuuksia, jotka mahdollistavat piikkenoja monipuolisemmat käyttö-

kohteet. Ohutkalvotekniikkaan perustuvat kennot voidaan valmistaa useista eri materiaaleista.[13.]

Kolme yleisintä materiaalia ovat amorfinen pii (a-Si), kadmium-telluuri (CdTe) ja kupari-indium-(gallium)-diselenidi (CIS/CIGS). Koska tämä tekniikka on uutta, ei vielä ole käytännön kokemusta ja tietoa ohutkalvopaneelien todellisesta käyttäisistä. On myös huomattava, että koska ohutkalvopaneelien hyötysuhde on puolet huonompi kuin yksikidekennojen, niin ohutkalvopaneelita täytyy asentaa määrältään kaksinkertainen pinta-ala, jotta paneeleista saadaan ulos vastaava teho kuin yksikidekennoista valmistetuista paneeleista. Hyötysuhteet liikkuvat 5 %:n ja 12 %:n välissä.[5.]



Kuva 6. Ohutkalvokenno

2.4.4 Keskittävä aurinkokenno

Keskittävät aurinkomoduulit perustuvat samaan periaatteeseen kuin muut aurinkokennot, erona aurinkosäteilyn keskittäminen optiikalla aurinkokennoon. Tämä konsentroidi osatekijä vähentää radikaalisti puolijohdemateriaalin määrän tarvetta (<0.1 prosenttia) ja tarjoaa mahdollisuuden kustannustehokkaasti käyttää korkea suoritteisia moniliitos kennoja hyötysuhteeltaan jopa korkeampia kuin 41 %. Toimiakseen tehokkaasti keskitettävien aurinkomoduulien täytyy täsmällisesti kohdata aurinko. Sen seurauksena keskittävien aurinkomoduulien kanssa käytetään suorituskyvyiltään tehokkaita auringon seurantalaitteita.[14.]



Kuva 7. Keskittävä aurinkomoduuli.

Aurinkopaneeli ei ole ainoa tapa muuttaa auringon tuottamaa säteilyenergiaa sähköksi. Auringon emittoima säteily voidaan keskittää peilien ja linssien avulla, jolloin säteilyn sisältämä energia voidaan kohdistaa peiliin tai linssiin polttopisteeseen. Polttopisteeseen keräytynyt energia voidaan varastoida esimerkiksi höyrystämällä vettä. Paineistettu vesihöyry voidaan tarvittaessa muuttaa sähköenergiaksi höyryturbiinin avulla.

2.5 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli muodostetaan kytkemällä käyttötarpeen mukaan riittävä määrä kennoja sarjaan. Yleensä kytketään sarjaan 36 kennoa, jolloin saadaan riittävä jännite esimerkiksi 24 V:n akkujen lataamiseen. Aurinkokennosta saatu sähkövirta on verrannollinen muodostuvien elektroniaukkoparien lukumäärään. Sen vuoksi sähkövirta riippuu kennon pinta-alasta ja auringon säteilyn voimakkuudesta. Jos kennot on kytketty sarjaan, on aurinkopaneelista saatava virta yhtä suuri kuin yhden kennon tuottama virta. Keskenään samanlaisia aurinkopaneeleja voidaan kytkeä sekä sarjaan että rinnakkain. Sarjakytkentä summaa paneelijännitteet ja rinnankytkentä summaa paneelivirrat. Sarjakytkennän etuna on korkeampi siirtojännite ja sen myötä pienemmät sähkönsiirtohäviöt. Rinnankytkennän etuna on, että yhden paneelin varjostus ei haittaa muiden paneelien toimintaa. Sarjaan kytkettyjen paneelien tulee olla saman tehoisia ja samalla tavalla suunnatut, rinnankytkennässä paneelit voivat olla eri asennoissa. Aurinkopaneelien kytkennät tehdään ennen vaihtosuuntaajia liitántärasiasissa. Liitántärasia sisältää tavanomaisesti paneelisarjojen rinnankytkennät ja ylijännitesuojaukset.[12.]

2.5.1 Aurinkopaneelien suuntaus ja sijoitus

Aurinkoenergialaitteen sijainti, kallistuskulma ja suuntaus vaikuttavat merkittävästi sen optimaaliseen toimintaan ja energiatuottoon.

Aurinkopaneeli tulisi suunnata mahdollisuuksien mukaan mieluiten etelään tai siihen suuntaan, josta aurinko paistaa pisimpään päivän aikana. Aurinkopaneelin asennuskulma Suomen leveysasteella vaakatasoon nähden tulisi olla 40-45 asteen välille. Paneelin oikea kallistuskulma on jopa tärkeämpi tuotannon kannalta kuin tarkasti oikea ilmansuunta.

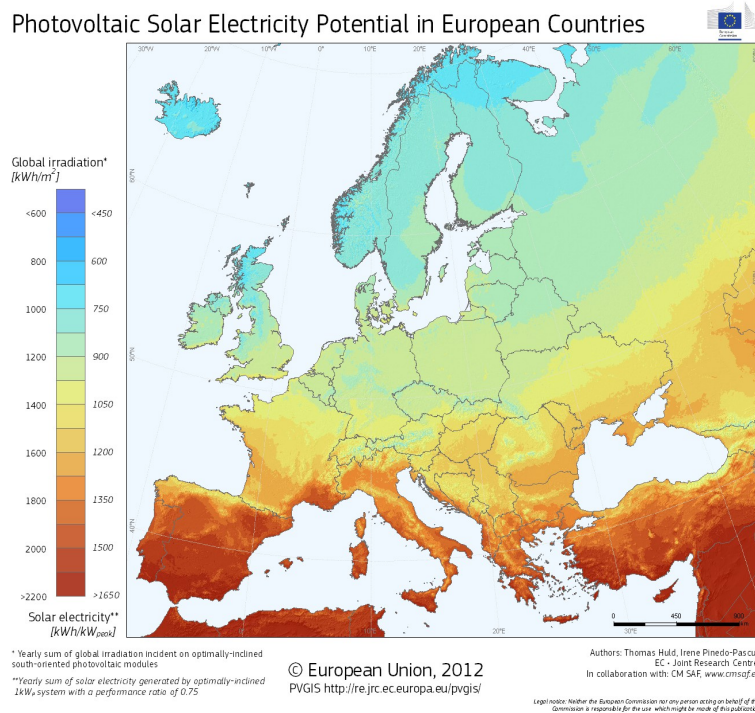
Paneelit asennetaan tavanomaisesti kiinteäkulmaisena, koska asennustapa on luotettava ja taloudellinen. Kiinteän asennustavan miinuspuolena on se, että paneelit eivät pysty hyödyntämään optimaalisesti kaikkea auringosta tulevaa säteilyä, sillä säteilyn tulokulma vaihtelee maapallon pyöriessä akselinsa ympäri. Sarjaan kytkettyjen aurinkopaneelien tulisi olla asennettuna samaan suuntaan ja kulmaan. Eri suuntiin tai kulmiin asentaminen voi aiheuttaa antotehon menetystä, koska auringonvalolle altistuminen muuttuu. Kun muodostetaan aurinkopaneelien lopulliset sijoituspaikat, joista muodostuu valosähköinen järjestelmä, on tärkeää huomioida riittävän hyvä pääsy kohteeseen huolto- ja tarkastustöitä varten.[15.]

Aurinkopaneelit eivät toimi optimaalisesti, mikäli esimerkiksi rakennus, puu tai pilvi varjostaa osaa aurinkopaneeleista. Tämä laskee aurinkopaneelien tuotantoa, eikä kaikkea mahdollista sähköenergiaa saada tuotettua. Osittaisesta varjostuksesta aiheutuu tyypillisesti myös tilanne, jossa paneelien tehokäyrällä on useita paikallisia maksimipisteitä. Silloin kun maksimeja on useita, järjestelmä ei yleensä ole suurimman tehon toimintapisteessä eli tehokäyrän globaalissa maksimissa. Tällöin osa saatavilla olevasta sähköenergiasta menetetään.[15.]

2.5.2 Sijainnin ja vuodenajan vaikutus

Kerättyjen tilastojen avulla voidaan selvittää aurinkosäteilyn saatavuus tietyllä paikkakunnalla. Näin pystytään arvioimaan suhteellisen hyvin, kuinka paljon aurinkosähköjärjestelmä voisi tuottaa sähköä kyseisellä paikkakunnalla. Euroopan komission alainen

Institute for Energy tarjoaa selainpohjaisen laskentaohjelman PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), jolla voidaan arvioida aurinkosähköjärjestelmien sähkötehon ja sähköenergian tuottoa kohteen koordinaattien avulla. Verkkosivun kartat ja selainpohjainen laskentaohjelma esittävät vuotuista maailmanlaajuista säteilytys summaa vaakasuoralle ja optimaalisesti kallistetulle pinnalle. Tietokanta pohjautuu kerättyihin tietoihin aikavälillä 1998-2011. Tilastojen ja laskentaohjelmien avulla on mahdollista vertailla eri toteutustapoja keskenään, esimerkiksi paneelien eri kallistusten ja suuntausten vaikutusta sähkön tuottoon. Kuvasta 8 käy ilmi, että Helsingissä vaakatasolle saadaan vuoden aikana aurinkosäteilyä 950 kWh/m².



Kuva 8. Esittää auringon säteilyintensiteettiä Euroopassa.

Huomattavaa on, että ero esimerkiksi Berliiniin ei ole kovin suuri. Ainoastaan Euroopan Alppien eteläisellä puolella saadaan Helsinkiä huomattavasti suurempia arvoja.

Sijainnin lisäksi paikkakunnille saapuvaan säteilyyn vaikuttaa vuodenaika. Varsinkin Suomessa kesän ja talven ero on suuri. Taulukot 1 ja 2 osoittavat kuukausittaisen aurinkosäteily määrän Helsingissä ja Prahassa. Joulukuussa ja tammikuussa Helsingissä 30° kallistetulle paneelille tulee huomattavasti vähemmän säteilyä kuin Prahassa, sillä aurinko paistaa Helsingissä hyvin matalalta. Kesällä taas päivän pituuden ansiosta Helsingin säteily määrä on korkeampi kuin Prahan.

Taulukko 1. 1 kWp jakeluverkkoon kytketyn järjestelmän tuotto-odotukset 30° kulmassa Helsingissä PVGIS mukaan.

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.42	13.0	0.49	15.3
Feb	1.46	40.8	1.70	47.5
Mar	2.40	74.5	2.88	89.3
Apr	3.64	109	4.54	136
May	4.38	136	5.67	176
Jun	4.34	130	5.79	174
Jul	4.26	132	5.78	179
Aug	3.26	101	4.35	135
Sep	2.19	65.8	2.83	84.8
Oct	1.20	37.3	1.49	46.2
Nov	0.44	13.3	0.54	16.1
Dec	0.23	7.15	0.28	8.52
Yearly average	2.36	71.7	3.03	92.3
Total for year		860		1110

E_d = Annetun järjestelmän keskimääräinen päivittäinen energian tuotanto (kWh).

E_m = Kyseisen järjestelmän keskimääräinen kuukausittainen energian tuotanto (kWh).

H_d = Päivittäinen globaali säteilytys neliometriä kohden.

Taulukko 2. 1 kWp jakeluverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän produktio-odotukset 30° kulmassa Prahassa PVGIS mukaan.

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.90	28.0	1.08	33.6
Feb	1.60	44.8	1.94	54.2
Mar	2.79	86.6	3.48	108
Apr	3.82	115	4.97	149
May	3.91	121	5.23	162
Jun	4.03	121	5.46	164
Jul	3.89	121	5.33	165
Aug	3.64	113	4.93	153
Sep	2.93	87.9	3.84	115
Oct	1.99	61.7	2.52	78.0
Nov	1.03	31.0	1.27	38.2
Dec	0.78	24.1	0.93	28.9
Yearly average	2.61	79.5	3.42	104
Total for year		954		1250

Aurinkosähköjärjestelmän käyttö Helsingissä painottuu siis maalisi-syyskuun väliselle ajanjaksolle, jolloin Etelä-Suomessa koko vuoden auringon säteilyenergiasta saadaan PVGIS:n mukaan 86 %.

3 Järjestelmän suojaus ja turvallisuus

3.1 Aurinkosähköjärjestelmän kaapelointi

Kaapeleiden valinnassa on tärkeää mitoittaa kaapelit vastaamaan oikein järjestelmän kokoa. On erityisen tärkeää, että kohteeseen valittava kaapeli täyttää fyysisiltä ominaisuuksiltaan asennuskohteen vaatimukset, kuten palosuojauksen ja EMC-suojauksen. Koska aurinkopaneelien käyttöikä voi kohota jopa 30 vuoteen on varmistettava, että auringonpaisteelle altistuvilla kaapeleilla on riittävä UV-kestoisuus.

Kaapelin on kestettävä asennuspaikan ulkoisten tekijöiden vaikutukset, kuten ympäristön lämpötila, vesi ja vieraat kiinteät aineet, korroosiota aiheuttavat aineet ja mekaaniset rasitukset. Niiden lisäksi tulee ottaa huomioon myös asennustavan vaikutus. Kaapeleille onkin määrätty suurin taivutussäde, jonka ne kestävät hajoamatta. Tämän lisäksi täytyy ottaa huomioon kaapeleille määritellyt asennuslämpötilat sekä suurin sallittu asennusvetovoima.

Järjestelmän suurimman kuormituksen määrittelemisen on tärkeää, jotta asennus voidaan suunnitella taloudelliseksi ja luotettavaksi sallittujen lämpenemien ja jännitteenalennemien mukaisesti. Kaapelin poikkipinnan täytyy olla riittävän suuri aurinkopaneelien tuottaman virtasumman johtamiseen. Aurinkosähköjärjestelmän kokonaisyötyosuhteen kannalta on tärkeää, että kaapelointi ja kaikki liitännät suunnitellaan ja toteutetaan erittäin huolellisesti. Johtimien resistanssin tulisi olla mahdollisimman pieni eli johtimien pitäisi olla riittävän paksuja ja hyvin sähköä johtavia. Jännitteiden ollessa pieniä, tehohäviöt järjestelmässä muodostuvat helposti suuriksi. Johtimet on mitoitettava niin, että häviöt pysyisivät mahdollisimman alhaalla. Saksalaisen standardin VDE 0100:n kohdan 712:n mukaan korkeampijännitteisen tasavirtapiirin puolella (>120 V) ei saisi jännitteenalennema olla korkeampi kuin 1 % nimellisestä jännitteestä standardoiduissa testausolosuhteissa. [D1-2012, s. 185-188; SFS 6000 2012 s. 68; Tiainen 2012 s. 62.]

3.2 Maadoitus, ylijännitesuojaus ja ukkossuojaus

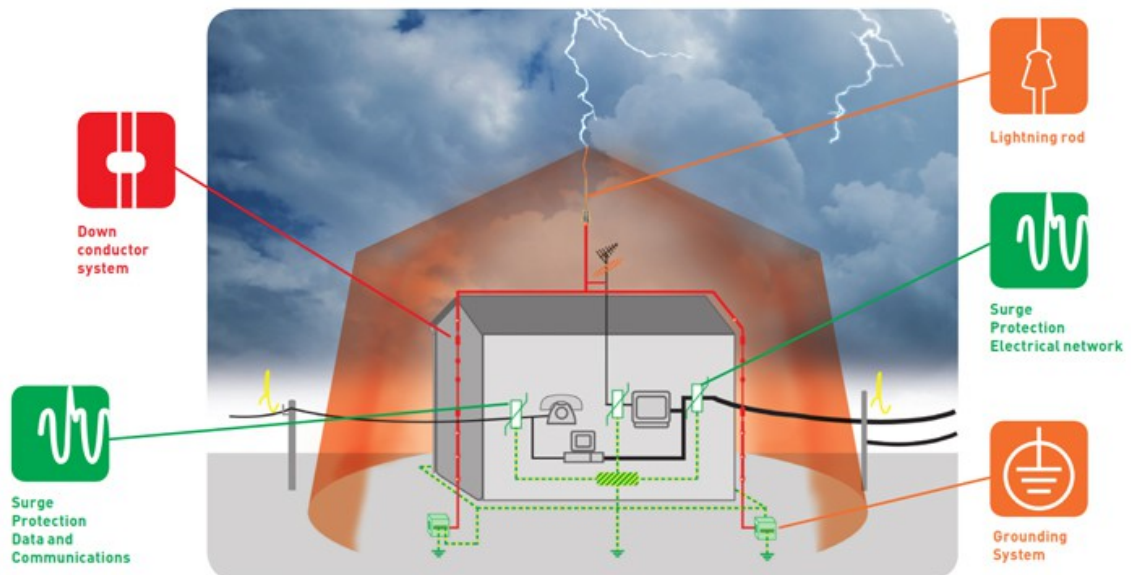
Maadoitukset ja potentiaalintasaukset ovat tärkeä osa sähkölaitteistoa. Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten ensisijaisena tarkoituksena on rajoittaa vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä. [D1-2012]

Vika voi liittyä rakennuksen sähköasennuksiin tai sitä syöttävään järjestelmään, suurjänniteverkko mukaan lukien. Vikaan voidaan rinnastaa myös ukkosen aiheuttamat ylijännitteet.

Ukkossuojaus on enimmäkseen vapaaehtoista. Tarpeellinen ukkossuojaus vaatii talon omistajan omaa valveutuneisuutta. Aurinkosähköjärjestelmän ylijännitesuojaus on kuitenkin yksi tärkeimmistä järjestelmän suunnitteluun liittyvistä tehtävistä. Ylijännitehäiriöt aiheutuvat yleensä ilmastollisista tekijöistä, kuten edellä mainittuna salamoinnista tai keskijännite- että pienjänniteverkoissa tapahtuvista tilapäisistä kytkentätoimenpiteistä. Kaikkien näkyvimmit todisteet jännitteen purkautumisesta ovat silmin nähtävät järjestelmän komponenttien tuhoutumiset. Ei yhtä hyvin havaittavissa ovat toistuvat ylijännitepiikit, jotka ajan mittaan voivat aiheuttaa ennenaikaisia komponenttien rikkoutumisia. Tästä aiheutuu järjestelmän omistajalle ylimääräisiä kustannuksia, laitteiden korjauskustannuksia sekä tulonmenetyksiä järjestelmän ollessa käyttämättömänä. Ukkossuojauksen asentamisen päätökseen yleensä vaikuttaa hankkeen hinta, komponenttien korvaus kustannukset ja järjestelmän maantieteellinen sijainti. [ST 53.16; ST 97.25 Rakennusten ylijännite- ja ukkossuojaus 2005.]

Salamasuojaus järjestelmä tarjoaa aurinkosähköjärjestelmälle suojaavan vyöhykkeen suoria salamaniskuja vastaan. Suojauksessa hyödynnetään perinteisiä ukkosenjohdattimia, ukkosjohtoja, potentiaalintasausta, erotettavia välimatkoja ja pieni-impedanssista maadoituselektrodi järjestelmää. Yksittäiset ukkosenjohdattimet tarjoavat kartiomaisen suojausvyöhykkeen riippuen johdattimen korkeudesta. Käyttäen pallosoojaus menetelmää useat ukkosenjohdattimet luovat laajoja suojausalueita.

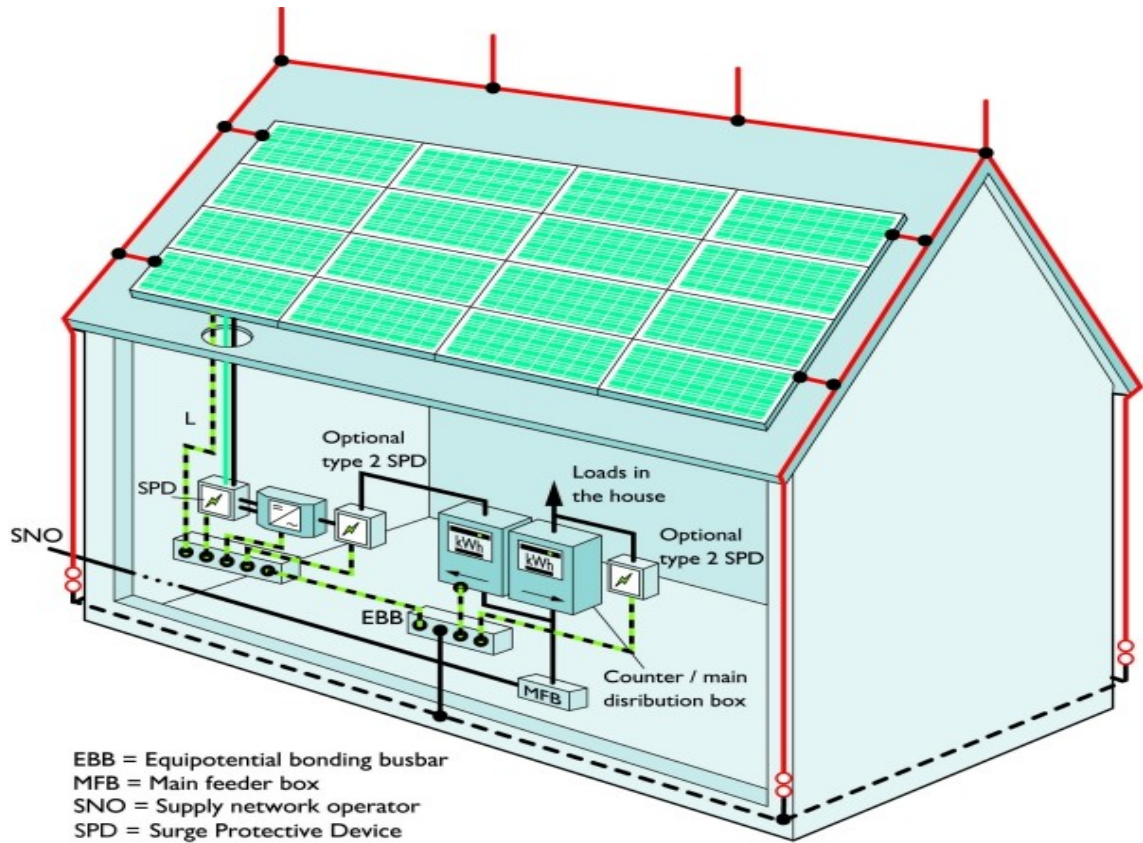
Salamasuojaus järjestelmän funktio on siepata uhkaava salama ja johtaa salaman virta turvallisesti maaperään ja hajottaa se maahan. Useimmat ihmiset luulevat ukkosenjohdattimen ainoastaan houkuttelevan salamaa puoleensa. Todellisuus on päinvastainen. Negatiivisesti varautuneen ukkospilven lähestyessä maa polarisoituu. Positiivisesti varautunut maaperä ja ukkosenjohdatin rupeavat vetämään puoleensa elektroneja. Ilmiössä ukkosenjohdattimen vetäessä puoleensa ja maadoittaessa negatiivisesti varautuneita atomien elektroneja ukkospilvi vetää puoleensa positiivisiä ioneja, jolloin ukkosjohdattimen yläpuolinen ilma ja ukkospilvi neutralisoituvat. Joten ukkosenjohdatin ei ainoastaan houkuttele salamaniskuja, mutta myös estää salaman syntyä. [16;17.]



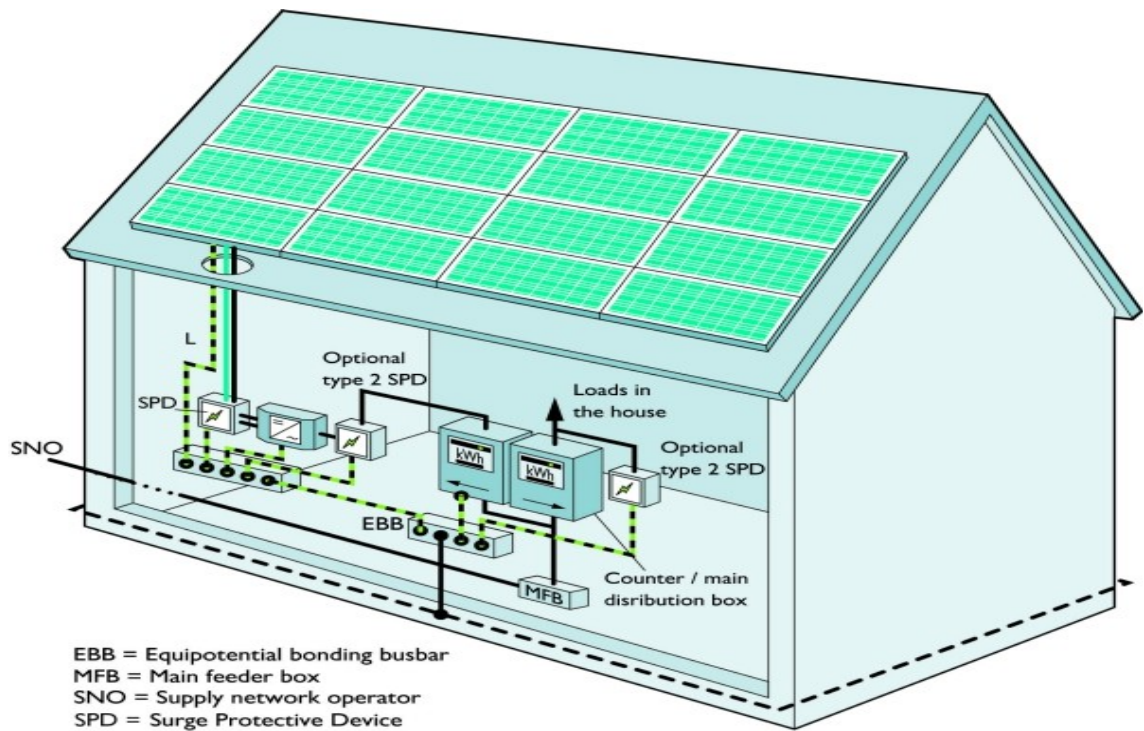
Kuva 9. Ukkosuojausjärjestelmä

Seuraavaksi esitetään aurinkosähköjärjestelmän ja ylijännitesuojaukseen vaadittavia toimenpiteitä, sekä salamasuojaus- ja maadoitusjärjestelmän määräyksiä ja standardeja. Kuten edellä mainittuna Suomessa aurinkosähköjärjestelmien salamasuojaus tai ylipäättään salamasuojaus ei ole pakollinen. Aurinkopaneelit tulee kuitenkin maadoittaa kytkemällä ne vähintään 6 mm²:n kuparijohtimella tai vastaavalla potentiaalintasausjohtimella rakennuksen päämaadoituskiskoon. Potentiaalintasausjohtimen reitityksen pitäisi mennä mahdollisimman rinnakkain ja lähellä AC- ja DC-kaapeleita tai linjoja kuten kuvassa 11 on havainnollistettu.

Mikäli katolle on asennettu ukkossuojausjärjestelmä, paneelisto täyttää lähes koko katopinnan niin ettei, järjestelmien välisiä turvaetäisyyksiä pystytä noudattamaan, paneelisto ja ukkossuojausjärjestelmä tulee kytkeä suojajohtimilla toisiinsa, suojajohtimien poikkipinnan täytyy kyseisessä tapauksessa olla vähintään 16 mm^2 (kuva 10). [SFS 600-1.]



Kuva 10. Salamansuojausjärjestelmä, jossa ei noudateta paneelien varoetäisyyksiä. Tästä johtuen paneelien rungot on kytketty salamansuojausjärjestelmään 16 mm^2 :n kuparikaapeleilla. Toimenpiteen tarkoitus on salaman iskiessä estää valokaarisuojausjärjestelmän ja paneeliston välillä.[18.]



Kuva 11. Järjestelmä ilman salamansuojausta.[18.]

SFS-käsikirja 600-1:n standardissa 6000-7-712 on esitetty vaatimuksia aurinkosähköjärjestelmien suojaukselle.

712.433.1 Ylikuormitussuojaus voidaan jättää pois paneeliketjukaapeleista ja paneelisetokaapeleista, jos kaapelin jatkuva kuormitettavuus joka paikassa on vähintään 1,25 kertaa $I_{sc\ STC}$.

712.434.1 Valosähköisen järjestelmän syöttökaapeli on suojattava vaihtosähköpuolella oikosululta vaihtosähköjärjestelmän liitäntäpisteeseen sijoitetulla ylivirtasuojalla.

712.444.4.4 Ukkosen indusoimien jännitteiden pienentämiseksi kaikkien johdin-silmukoiden pinta-alojen pitäisi olla mahdollisimman pieniä.

712.511.1 Jos paneeliketjun $U_{OC\ STC}$ ylittää 120 V, suositellaan käytettäväksi paneeleita, jotka ovat luokan II rakennetta tai joissa on vastaava eristys.

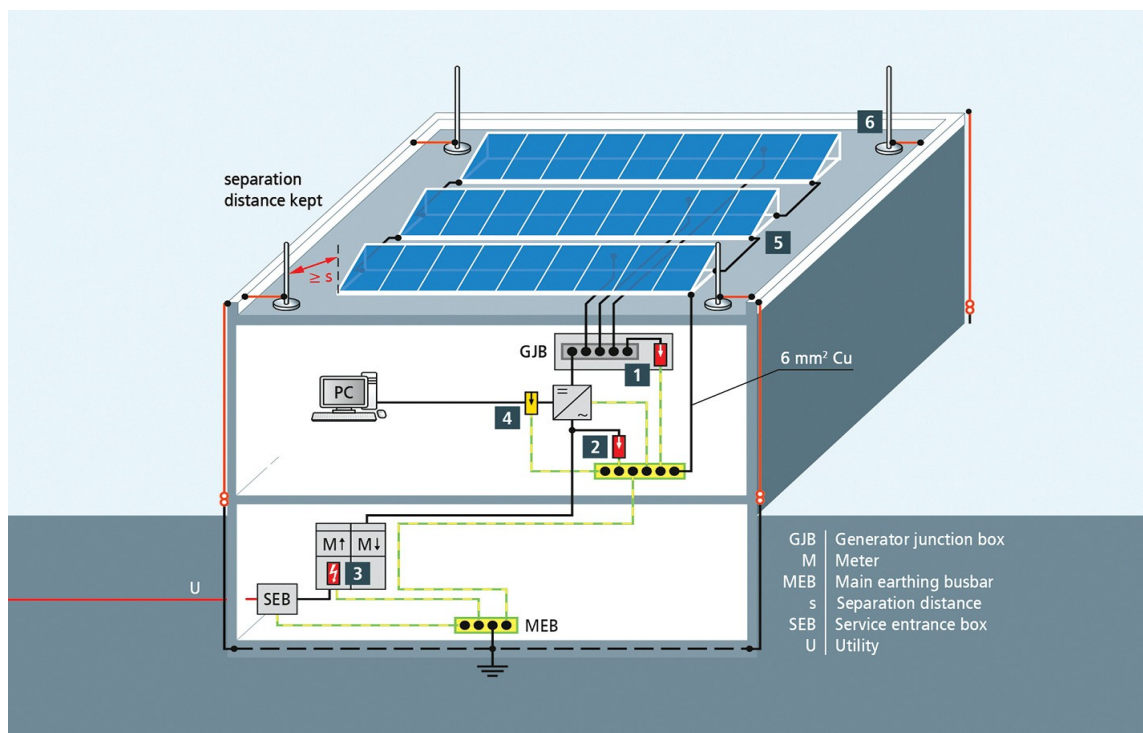
712.537.2.1.1 Valosähköisen vaihtosuuntaajan huollon takia on oltava erotuslaitteet, jolla vaihtosuuntaaja saadaan erotettua tasasähköosasta ja vaihtosähköosasta.

Salamaniskuilta suojaavien potentiaalintasausjohtimien poikkipinnan pitää olla vähintään SFS 6000, kohta 542.3.1 mukaan: - 16 mm² kuparia tai - 50 mm² terästä.

Suomen maadoitusjärjestelmissä 16 mm²:n poikkipinta on kestänyt, mutta tärkeissä kohteissa kannattaa käyttää isompaa, vähintään 25 mm²:n poikkipintaa. Salamasuojauksen takia tehtävän elektrodin poikkipinnan pitää standardin EN 62305-3 mukaan minimissään olla 25 mm²:n kuparia.

Salamasuojauksen yhteydessä maahan on tarpeen asentaa erikseen erillinen pystyrauta, joka on yhteydessä maadoituselektrodista maahan. Pystyrauta varmistaa osaltaan suuren salamavirran kulkeutumisen maahan.

Maadoitusjohtimet on yhdistettävä maadoituselektrodiin huolellisesti ja liitoksien on oltava sähköisesti luotettavia. Maadoituselektrodin on oltava korroosiota kestävä ja mekaanisesti luja. Elektrodi täytyy olla kuparista valmistettu ja pintakäsittelyltään paljas. Maadoituselektrodin laajuudella ja muodolla voidaan vaikuttaa saavutettavaan maadoitusresistanssiin ja potentiaalintasausvaikutukseen. Kaikkiin rakennuksiin suositellaan asennettavaksi renkaan muotoinen perustusmaadoituselektrodi.[SFS 6000-5-54 2007.]



Kuva 12. Perinteinen salamasuojajärjestelmä[19.]

Salaman purkautuessa ylijännitteet voivat indusoitua sähköjohtimiin. Ylijännitteet eivät ainoastaan vahingoita aurinkopaneeleja, inverttereita ja tietojärjestelmiä, mutta myös muita rakennuksen sähköasennuksia. Ylijännitesuojauslaitteet, jotka asennetaan ylävirtaan suojaamaan vaihtosähkö-, tasasähkö- ja tietojärjestelmäpuolta, ovat todistaneet tehokkaasti suojaavan sähköjärjestelmiä destruktiivisiltä jännitepiikeiltä.

Tasavirtapuolelle aurinkosähköjärjestelmään tarvitaan erikoisia ylijännitelaitteita. Aurinkopaneelien virta-jännite-käyrän tunnusomainen käyttäytyminen tasavirtalähteenä eroaa merkittävästi tavanomaisesta tasavirtalähteestä. Sähkölähteenä aurinkojärjestelmän virrassa on ei-lineaarisia ominaisuuksia, jotka voivat aiheuttaa pitkäaikaisia pysyviä sinnikkäitä valokaaria.

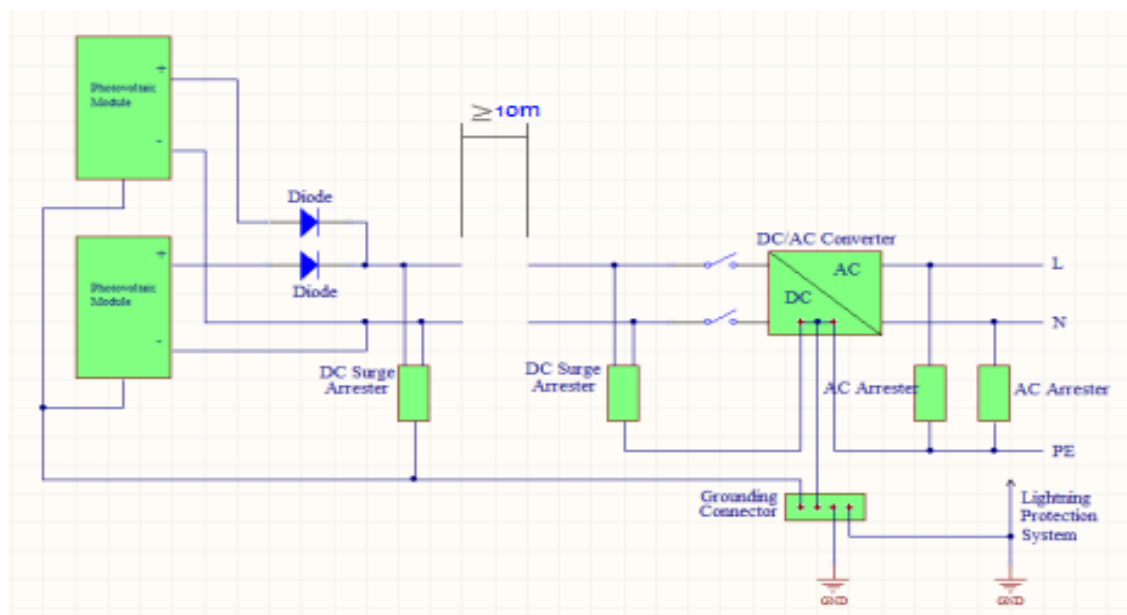
Tämä erikoinen piirre aurinkosähköjärjestelmissä ei ainoastaan vaadi suurempia valosähköisiä katkaisijoita ja sulakkeita, mutta myös erottimen ylijännitesuojausta varten. Ylijännitesuojauslaitteen valinnassa täytyy tämä erikoisuus ottaa huomioon ja varmistua, että se varmasti sopii ja soveltuu kyseisen järjestelmän virtoihin.

Rakennuksessa, jossa ei ole salamansuojajärjestelmää, vaaralliset ylijännitteet induktion välityksellä tai muilla tavoilla voivat päästä aurinkosähköjärjestelmään tai kulutuslaitteisiin. Suojatakseen järjestelmää ylijänniteiltä ylijännitesuojauslaitteet on asennettava seuraaviin sijainteihin: Invertterien ja moduulien DC- puolelle, invertterin AC-lähtöön, pää/ryhmäkeskukseen, langallisiin tiedonvälitys yhteyksiin.



Kuvassa 13 on havainnollistettu ylijännitesuojauksien sijoituspaikat keltaisella [20.]

Rakennukseen johon, on asennettu salamansuojajärjestelmä ja noudatetaan erotusvälimatkoja (0,5 m), primääri tavoite on henkilöiden- sekä omaisuuden suojaus. Kyseisessä tapauksessa on varmistettava salamansuojajärjestelmän ja aurinkosähköjärjestelmän erotusväli, jotta järjestelmien välillä ei tapahtuisi mitään vuorovaikutusta. Ylijännitesuojaus on asennettava liitännärasiaan kaikkiin vaihtosuuntaajan tasavirtapuolen sisään-tuloihin ja, mikäli kaapelin pituus ylijännitesuojauksen ja vaihtosuuntaajan välillä on enemmän kuin 10 m lisäylijännitesuoja on asennettava vaihtosuuntaajan AC-tuloon.

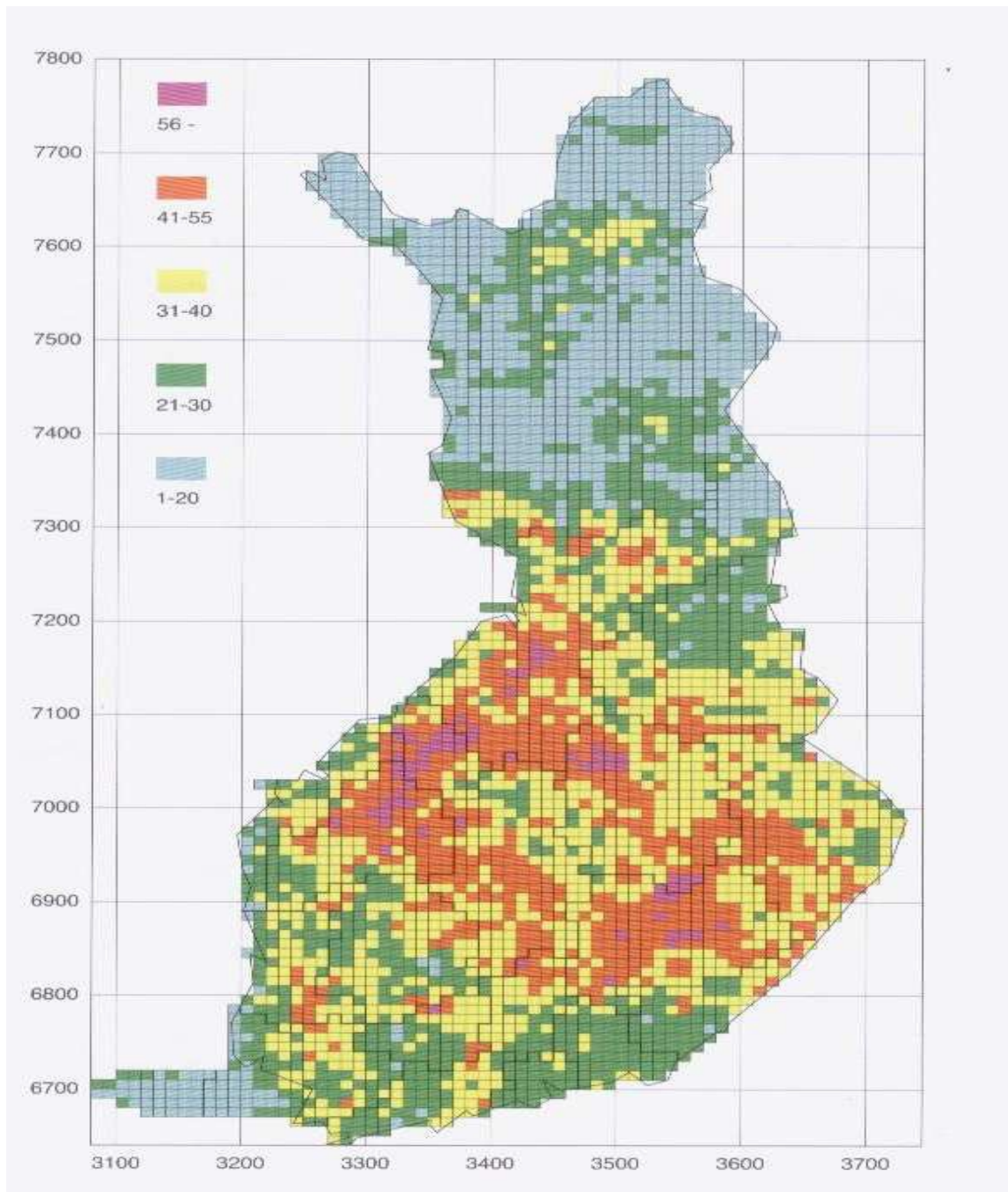


Kuva 14. Oheisessa kuvassa on havainnollistettu järjestelmän ylijännitesuojaus piirikaaviolla.

Järjestelmässä jossa ei ole pystytty noudattamaan suojaus etäisyyksiä. Aurinkosähköjärjestelmän metallikomponentit täytyy kytkeä salamansuojajärjestelmään niin, että ne voivat johtaa salaman virtoja (vähintään 16mm² kupari kaapeleilla). Tämä tarkoittaa myös, että salamansuojajärjestelmän yhteyksien ja kaikkien aurinkosähköjärjestelmän yhteyksien välillä jotka ovat rakennuksen ulkopuolella, täytyy tehdä yhteinen potentiaalintasaus.

Sen lisäksi mikäli sähköntuotantojärjestelmän invertteri sijaitsee kauempana kuin 10 metriä tyyppi yhden ylijännitesuojalaitteesta asennettuna jakeluverkon liityntä kohtaan, täytyy asentaa lisäsuoja invertterin AC puolelle.

Kuvasta voidaan havaita salamoiden esiintymistiheyden Suomessa. Maantieteellisesti aktiivisin salamointialue on Etelä- ja Keski-Suomi. Kuviosta voidaan päätellä Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen eroavaisuudet.



Kuva 15. Vuosittainen salamatiheys 1998-2007

Maatila sijaitsee alueella, jossa esiintyy vuosikeskiarvona 31-40 salamaa 10x10 km:n alueella.

4 Vaihtosuuntaajat

4.1 Aurinkosähkö vaihtosuuntaaja

Aurinkoinvertteri muuntaa vaihtelevan aurinkopaneelien tuottaman tasavirran käyttökelpoiseksi vaihtovirraksi, mikä voidaan joko syöttää suoraan yleiseen sähköjakeluverkkoon tai käyttää paikallisessa yleisestä jakelujärjestelmästä erillään olevassa verkossa. Vaihtosuuntaaja on kriittinen aurinkosähköjärjestelmän komponentti, mikä mahdollistaa tavallisten vaihtosähkökäyttöisten laitteistojen käytön.

Aurinkoinvertterit ovat adaptoineet omalaatuisia funktioita valosähköjärjestelmien käytössä, kuten esimerkiksi maksimienergiahuipun seurannan (mppt) ja saarekesuojauksen.

Aurinkoinvertterit pystyy luokittelemaan karkeasti kolmeen eri luokkaan:

1.) Jakeluverkosta erossa olevaa invertteriä käytetään eristäytyneessä järjestelmässä, jossa invertteri vetää tasasähkön akustosta, jota ladataan aurinkosähköllä käyttäen laturia. Yleensä järjestelmällä ei ole rajapintaa yleisen jakeluverkon kanssa, joten invertteriltä ei edellytetä saarekesuojausta.

2.) Verkkoinvertteri on virtalähde invertteri, ja se perustuu synkronointiin yleisen jakeluverkon kanssa, eli invertterin on tarkoitus tahdistua valtakunnan jakeluverkon arvoihin. Turvallisuussyistä verkkoon sidottu vaihtosuuntaaja on suunniteltu niin, että jakeluverkon sähkökatkon sattuessa invertteri lopettaa heti toimintansa. Tämä on yleinen vaatimus, jonka tarkoitus on suojella verkkolinjan työläisiä. Yksistään verkkoon sidotulla invertterillä ei ole mahdollista tuottaa varavoimaa sähkökatkon aikana. Tällä hetkellä markkinoilla olevat verkkoon sidotut invertterit perustuvat lukumäärällisesti moniin tekniikoihin. Invertterit voivat käyttää uudempia korkeataajuisia muuntajia, tavanomaisia matalataajuisia muuntajia tai ei ollenkaan muuntajia. Historiallisesti oltiin huolissaan muuntajattomien järjestelmien syötettäessä jakeluverkkoa. Huoli on herännyt faktasta, että tasa- ja vaihtovirtapiirit eivät ole toisistaan galvaanisesti erotettu, jonka seurauksena vaarallisia tasavirtapuolen häiriöitä voi kantautua vaihtovirtajärjestelmän puolelle. Vuodesta 2005 NFPA's NEC (National electrical code) salli muuntajattomien (ei galvaanisesti erotettu) invertterien käytön.

3.) Akustolla varmennettu erikoisinvertteri on suunniteltu ottamaan tulotehonsa akustosta. Invertteri hallitsee akuston latausta laitteessa mukana olevalla laturilla ja pystyy kuljettamaan ylijäämäsihköön yleiseen jakeluverkkoon. Kyseinen ratkaisu lisää merkittävästi omavaraisuutta sekä tarjoaa mahdollisuuden käyttää aurinkovoimalla tuotettua sähköä sähkökatkon aikana. Akustolla varmennettuihin inverttereihin on asennettu saarekesuojaus.

Aurinkosähkön tuottamiseen on kehitetty ja on kehitteillään monia vaihtosuuntaajien vaihtoehtoja. Läpimurtoja on tapahtunut viimeisen vuosikymmenen aikana runsaasti, seuraavaksi esitellään markkinoilla olevia ratkaisuja, joilla voidaan toteuttaa tasavirran muutos vaihtovirraksi.

4.1.1 Ketjuinvertteri

Perinteinen aurinkosähkövaihtosuuntaaja ketju-invertteri on kustannustehokkain tuote markkinoilla. Aurinkosähkövaihtosuuntaajan eroavaisuus perinteiseen vaihtosuuntaajaan on pieni, enimmäkseen se riippuu tilanteesta sekä järjestelystä minkälaisia lisäominaisuuksia tarvitaan. Ketju-invertterin nimi johtaa itsensä siitä, että järjestelmän aurinkopaneelit asennetaan sarjaan, jonka jälkeen kytketään ketjuna invertteriin, jolloin invertteri havaitsee ketjun yhtenä suurena paneelina.

Kansainvälisesti löytyy laajasti yhtiöitä, jotka valmistavat ketju-inverttereita ja ketju-invertteri on nykyään eniten tuotettu ja asennettu moduuli aurinkosähkö-järjestelmissä. Ketju-invertterien pitkän todistetun elinkaaren johdosta aurinkosähköasennuksia tarjoavat yritykset suosittelvat usein asiakkailleen järjestelmää, joka perustuu ketju-invertteriin.

Laitteet on tunnettuja luotettavuudesta, helppokäyttöisyydestä ja korkeasta hyötysuhteesta. Huippuhyötysuhteet vaihtelevat 96 %:n ja 98 %:n välillä. Ne sopivat hyvin useimpiin asuin- ja pienkaupallisiin järjestelmiin. Korkean suorituskyvyn ansiosta luoton tuottaminen ylimääräisestä sähköstä omistajilleen lisää moduulin houkuttelevuutta.

Esitteen Yaskawan muuntajattomassa kolmivaiheinvertterissä on kaksi integroitua maksimienergiahuipun seurantalaitetta.

PVI 14TL/20TL Features

- ✓ 600 VDC
- ✓ Best-in-class efficiency
- ✓ Touch-safe fuses
- ✓ Quick and easy installation
- ✓ Dual MPP tracking zones
- ✓ Wide MPPT range
- ✓ Lightweight, compact design
- ✓ Modbus communications
- ✓ User-interactive LCD
- ✓ Integrated DC fused string combiner
- ✓ DC arc-fault protection



PVI 14TL/20TL Options

- ✓ Shade cover and DC/AC disconnects
- ✓ Web-based monitoring

Safety Listings & Certifications

- ✓ Certification Agency: ETL
- ✓ Certification Agency: TUV
- ✓ CSA C22.2#107.1
- ✓ FCC part 15 B
- ✓ IEEE 1547.1
- ✓ UL 1741/IEEE 1547

Kuten edellä mainittu ketju-invertterin käyttö ei ole menestyksekkäs kaikissa olosuhteissa kuten esimerkiksi kohteissa, joissa aurinkopaneelistöön kohdistuu päivän aikana varjostusta, käytetään eri valmistajien paneeleja tai aurinkopaneelit osoittavat eri suuntiin. Näiden ongelmakohtien seurauksena on kehitetty uudemman muotoisia moduuleita, joita esitetään ja verrataan toisiinsa seuraavissa luvuissa.

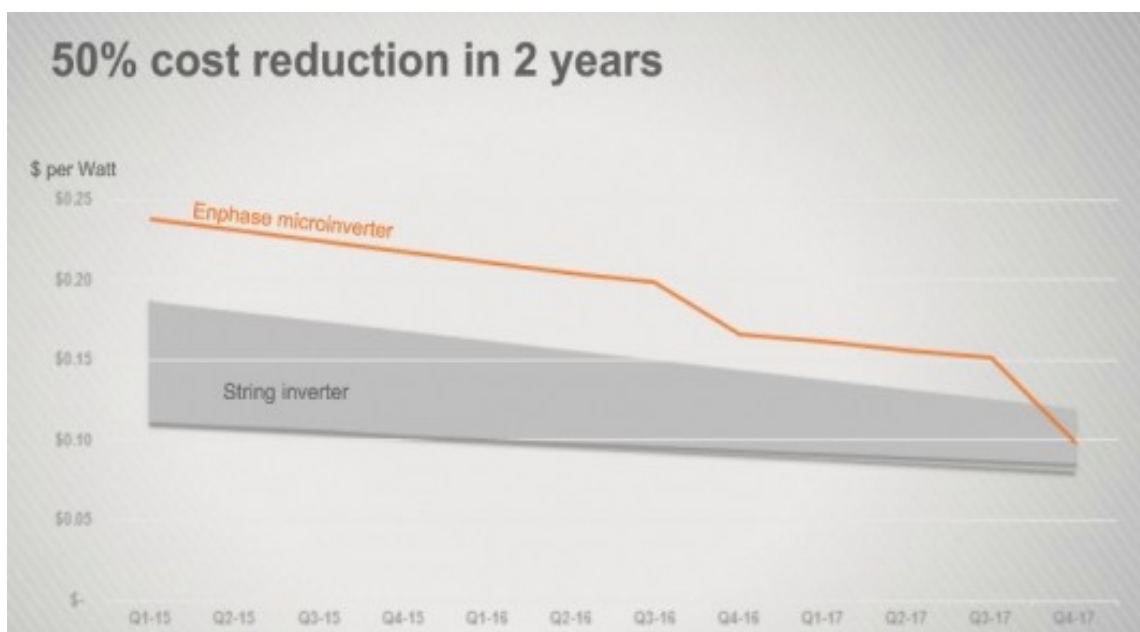
4.1.2 Mikroinvertteri

Perinteisten ketjuinvertterien joukkoon vuonna 2008 liittyi menestyksekkäästi Enphase Energyn uudentyypinen invertteri nimeltään mikroinvertteri, jonka suurin eroavaisuus tavanomaisiin inverttereihin verrattuna on, että se toimii paneelikohtaisesti. Aurinkovoimalan jokaisen aurinkopaneelin yhteyteen asennetaan yksi mikroinvertteri, joka toimii paneelikohtaisesti muuttaen tasasähkön suoraan vaihtosähköksi ja jonka voi suoraan syöttää keskuksen kautta kulutuslaitteisiin. Sen muotoilu mahdollistaa moninkertaisia rinnakkaisia yhteyksiä, jotka kaikki toimivat omatoimisina yksiköinä modulaarisella tavalla.

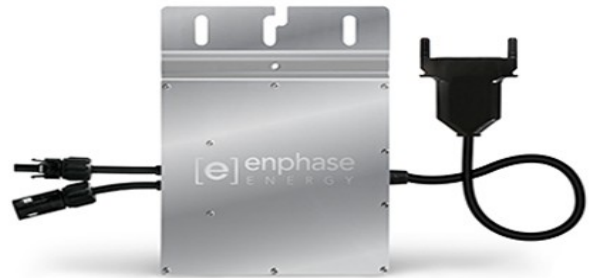
Mikroinverterin etuja on paneelikohtainen optimointi, seuranta ja operointi, skaalautuvuus, paranneltu asennus ja palonsuojaus sekä minimoitu järjestelmän suunnittelukustannus.

Vuoden 2011 Appalachian Yliopiston tutkimuksessa raportoitiin 20 % paremmasta tehontuotannosta varjottomissa oloissa ja 27 % paremmasta tehon tuotannosta varjostuneissa oloissa verrattuna tavanomaiseen yhteen ketju-aurinkoinvertertiin. Mikroinverterien valmistajat itse lupaavat 5- 25 % korotusta kokonaistehon tuotantoon verrattuna tavanomaisiin keskitettyihin inverttereihin.

Ensisijainen haittapuoli nykypäivänä mikroinverterien kohdalla on korkeampi kustannus verrattuna tavanomaiseen yhteen keskitettyyn invertteriin sekä korkeampiin asennuksiin ja huoltoon menevä aika. Mikroinverterien valmistaja Enphase julkaisi 18. marraskuuta 2015 tiedotustilaisuudessaan, että tavoittelee kahdessa vuodessa 50 % hinnan alennusta kaikkiin tuotteisiin. Pyrkimys tarkoittaisi tuotteen kohdalla 0.10 €/Wp, eli samantasoista hintaa kuin ketjuinverttereillä. Yhtiön tavoite on erittäin kunnianhimoinen, ja lausunto on saanut sijoittajien huomion. Mikäli yhtiö pysyy tavoitteissaan eikä sen johdosta moduulien luotettavuus eikä elinkaari kärsi on markkinoilla kohta erinomainen tuote, jonka kanssa on vaikea kilpailla niin teknisesti kuin taloudellisesti. [21;22;23.]



Kuva 16. Enphasen kahden vuoden tavoite.[21.]



Kuva 17 ja 18. Mikroinverttereitä, joiden koko on pienempi kuin iPadin.

4.1.3 DC-DC sähköenergian tehostaja

Toinen innovatiivinen ja perinteisiä markkinoita väristävä teknologia valosähköteollisuudessa on DC-DC-tehon optimoija. Israelilaisen yhtiön SolarEdgen DC-DC-tehon optimoija on aurinkopaneeliin integroitava tasasähkön tehoduuli, mikä asennetaan korvaamaan liitoskotelo. Sähköenergian tehostajassa on hallinta silmukka suorittamassa paneelikohtaista maksimi tehon seuranta (MPPT) samalla mahdollistaen yksilöllisen paneelikohtaisen suorituskyvyn seurannan. Itsenäisessä prosessissa sähköenergian tehostaja mahdollistaa ketju-invertterin ylläpitää automaattisesti ketjukohtaista optimaalista vakiotulojännitettä arvossa jossa DC-AC- muunnossuhde on korkeimmillaan, riippumatta ketjun pituudesta tai yksittäisen paneelin suorituksesta.

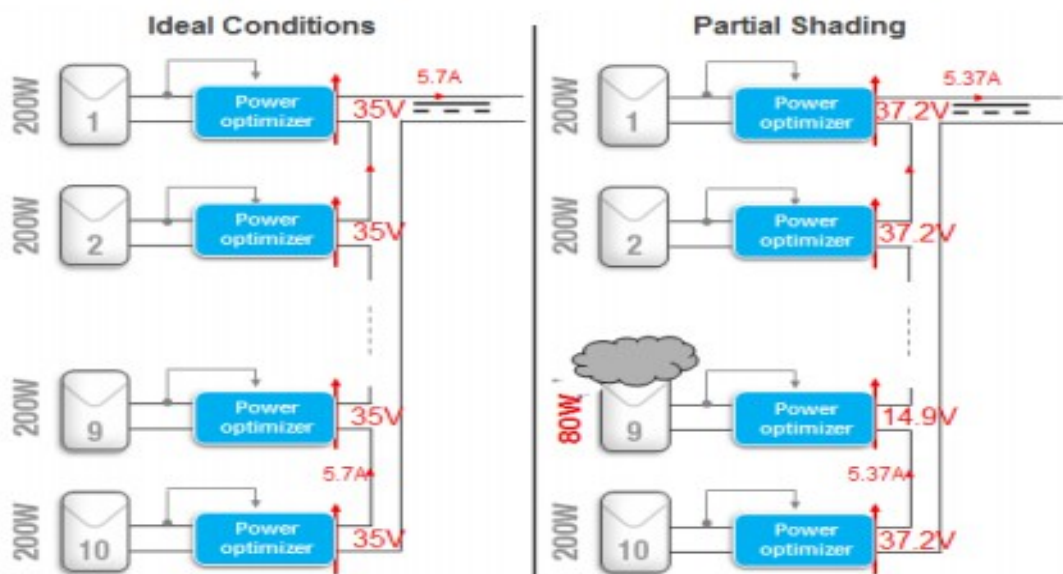
Sähköenergian tehostaja on periaatteessa 2/3 osaa vaihtosuuntaajasta, jossa on DC/DC buck-boost-konvertteri yhdessä maksimitehon seurannan (MPPT) kanssa. Järjestelmän asennus tapahtuu niin, että tehostajat kytketään sarjaan muodostaen ketjun. Mikäli ketjuja on useampia, ne voidaan kytkeä rinnan invertterin syöttöön. Koska vaihtosuuntaajan muuntotehokkuus riippuu erilaisista parametreista ja syöttötehon heilahteluksista. Parhaan hyötysuhteen kokonaisuudelle mahdollistaa ketju-invertteri, jonka hyötysuhde on optimaalisin tietyllä määritellyllä syöttöjännitteellä, jota sähköenergian tehostajat omalta osaltaan ja invertteri ylläpitävät.

SolarEdge on kehittänyt juuri siihen soveltuvan yksinkertaisen ja edullisen invertterin, mutta sähköenergian tehostaja toimii lähes kaikkien markkinoilla olevien ketjuinvertterien kanssa ilman mitään lisäkalustoa tai ohjelmistoa. SolarEdgen

sähköenergian tehostajalla on todella korkea hyötysuhde. Keskimääräisesti se pitää yllä 98,8 % hyötysuhdetta vaihtelevissa olosuhteissa.



Sähköenergian tehostaja vakuutetaan 25 vuodeksi.



Kuva 20. Skenaario vertailu. [25.]

Kuvassa on esimerkki sähköenergian tehostajan toiminnasta, jossa ensimmäinen paneeliketju ihanneolosuhteissa ja toinen osittaisessa varjostuksessa. Kuvasta huomataan, että osittaisessa varjostuksessa täydessä tehossa toimivat aurinkopaneeleihin integroidut sähköenergian tehostajat nostavat automaattisesti ketjun jännitteen samaan arvoon (350 Vdc) kuin ideaaliolosuhteissa, jonka seurauksena invertterin hyötysuhde pysyy korkealla. Vakiojännitteen syöttäminen invertteriin mahdollistaa myös vaihtosuuntaajan yksinkertaisemman rakenteen.

4.2 Ketjuinvertteri vastaan mikroinvertteri

Suunnittelun mukaan mikroinvertteri palvelee samaa tarkoitusta kuin keskitetty invertteri. Tehon muuntaminen sivuutettuna, molemmissa on maksimitehopisteen seurantaalgoritmit laskemassa optimaalista ulostulotehoa ja tekemässä tarvittavia muutoksia varmistaakseen korkeimman sähköntuotannon. Mikroinvertteri suorittaa tehon seuranta paneelikohtaisesti. Ratkaiseva eroavaisuus mikä estää ”Joulukuusivaloefektin” paneelistossa jossa on keskitetty vaihtosuuntaaja eli mikroinvertteri toisaalta varmistaa jokaisen paneelin huipputoimivuuden ilman, että vähiten tuottava paneeli vaikuttaisi siihen mitenkään.[26.]

Aurinkopaneelit ovat yleensä kytkettynä sarjaan, joten yhden aurinkopaneelin heikko suorituskyky voi laskea koko järjestelmän tuotantoa. Keskitetty vaihtosuuntaaja määrittelee maksimitehopisteen koko järjestelmän tasolla. Sen seurauksena varjostus tai runsas pöly voivat vahingoittaa sähköntuotantoa järjestelmissä, joissa käytetään keskitettyä vaihtosuuntaajaa.

Mikroinvertteri mahdollistaa paneelikohtaisen suorituskyvyn seurannan tietokone-ohjelmalla. Seurantaohjelman avulla toimintahäiriöt järjestelmässä löytyvät helposti. Järjestelmän laajennettavuus tulevaisuudessa on mikroinvertterin tapauksessa merkittävästi helpompi kuin keskitetyn invertterin.

Käytettäessä mikroinverttereitä järjestelmän hinta verrattuna ketju-invertteriin kohoaa helposti kaksinkertaiseksi, ja hintahaarukka laajenee järjestelmän tehon kasvaessa.

Vaikka hyötysuhteet ovat vertailukelpoisia, varsinainen mikroinvertterien suorituskyky kentällä voi laskea niiden hyötysuhteen keskitettyjen invertterien alapuolelle. Kuten sähkövoimamuuntolaitteet, kaikki suuntaajat tuottavat lämpöä. Keskitetyt vaihtosuuntaajat asennetaan erilleen paneeleista, kun taas mikroinvertterit ovat suoraan paneelin takana, ollessaan katolla, ovat enemmän altistettuna sääelementteihin.

Yksi suuri hyöty paneelikohtaisella moduulilla on alhaisempi jännite. Kytkettäessä paneeleja sarjaan tasajännite voi kohota todella korkeaksi, mikä voi johtaa vaaralliseen tilanteeseen tai valokaareen.

Hyötysuhteet yksin eivät ole tarpeeksi vakuuttamaan kuluttajia ja sijoittajia antamaan mikroinverttereille mahdollisuutta. Mikroinvertterien kohdalla nousee esiin pitkän aika-

välin kenttätieto, mikä puuttuu kokonaan. Tiedon puute voi johtaa siihen, että asentaja voi joutua useasti vaihtamaan rikkoutuneita moduuleja uusiin. Kun taas ketju-invertterit ovat todistaneet luotettavalla historiallaan paikkansa aurinkoenergiamarkkinoilla.

Mikroinvertterien tuottajat itse kuitenkin luottavat omiin moduuleihin ja usein tarjoavat pitkiä takuuajkoja 15- 25 vuoden pituisia. Keskitettyjen vaihtosuuntaajien tuottajat vakuuttavat laitteensa 7–10 vuodeksi.

Molemmilla moduuleilla on omat hyvät ja huonot puolensa, parhaan vaihtosuuntaajan valinta riippuu täysin kohteen olosuhteista ja tilanteesta. Mikroinverttien houkuttelevuus tulevaisuudessa tulee varmasti kasvamaan samassa suhteessa kun moduulin kustannukset laskee ja kenttätieto lisääntyy.[27.]

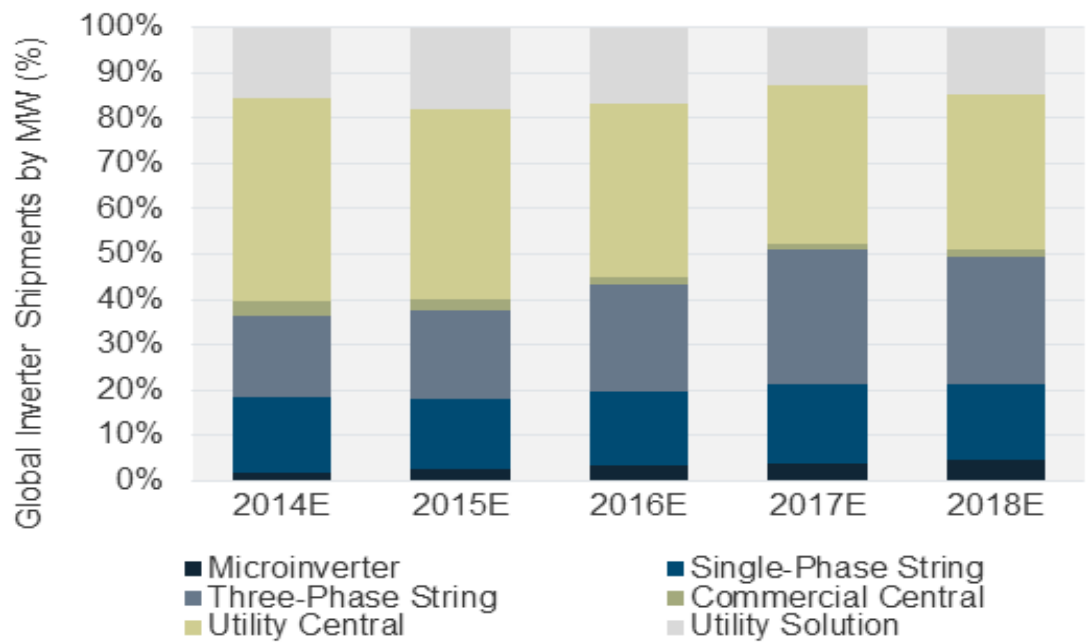
4.3 Markkinat

Kaupallisesti ketjukohtaisia inverttereitä käytetään asuin- ja keskikokoisissa järjestelmissä. Keskusinvertterit kattavat isot kaupalliset ja laajat sähköntuotantolaitosmarkkinat. Markkinaosuus ketjukohtaisilla ja keskusinverttereillä on 50 prosenttia ja 48 prosenttia. Vastaavasti mikroinvertterien osuus on kaksi prosenttia.

Taulukko 3. Invertterien ja konvertterien markkinaosuudet 2014

Tyyppi	Teho	Hyötysuhde	Markkinaosuus	Huomautuksia
Ketjuinvertteri	Korkeintaan 100 kWp	98%	50 %	Hinta 0,15 € Wp. Helppo vaihtaa.
Keskusinvertteri	Yli 100 kWp	98.5%	48%	0.10 € Wp. Korkea luotettavuus.
Mikroinvertteri	Aurinkopaneeli tehojen vaihteluväli	90%-95%	1.5 %	0.40 € Wp. Vaivaton vaihto.
DC/DC konvertteri	Aurinkopaneeli tehojen vaihteluväli	98.8%	0,5 %	0.30 € Wp. Vaivaton vaihto. Vaatii invertterin. Noin 0,75 GWp asennettu vuoteen 2013.

Lähde: Photovoltaics Report, tieto IHS 2014, Huomautus Fraunhofer ISE 2014



Kuva 21. Maailmanlaajuinen invertterien kysynnän jako, 2014 -2018

5 Sähkökatkon aikana toimivat järjestelmät

5.1 Sähkökatkon aikana toimivat järjestelmät

Perinteinen verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä ainoastaan sähköverkon ollessaan saatavilla. Sähkökatkon aikana valosähkön käyttö tai tuotanto ei ole mahdollista. Jotta aurinkosähkön hyödyntäminen onnistuisi sähkökatkon aikana, järjestelmä vaatii energianvarastointijärjestelmän ja siihen tarkoitetun invertterin.

Yleiskatsaus

Hajautetun sähköntuotannon konsepti valosähköjärjestelmillä on jyrkässä nousussa. Monet vaikutteet yhdessä ovat mahdollistaneet tämän kasvun, valtion tason kannustimista, uusiutuvan energian palkkioista, valosähköjärjestelmien komponenttien hinnan laskuun ja samalla sähkön hinnan nousun heijastus sekä lisääntynyt toive omavaraisuudesta.

Lisääntynyt valosähkön tunkeutuminen jakelujärjestelmiin on johtanut energianvarastoinnin tarpeeseen, tavoitteena omavaraisuuden lisääminen ja samalla jakelujärjestelmän vakauden nostaminen, koska aurinkosähköjärjestelmän ominaisuutena on epäsäännöllinen sähköntuotanto ja sähkön syöttö verkkoon. Energiavarastoinnin lisääminen järjestelmiin onnistuu joko AC- tai DC- puolelta yhdistetyllä kytkennällä.

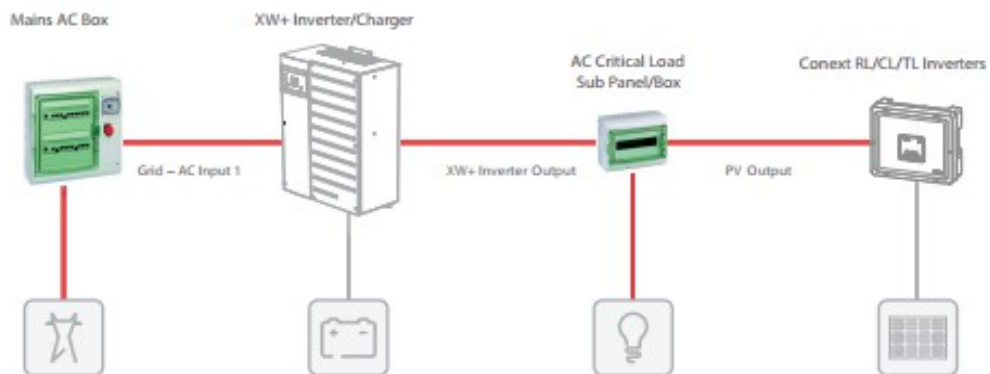


Figure 1 AC-Coupled System Diagram

Kuva

22. AC-yhdistetty järjestelmä.[28.]

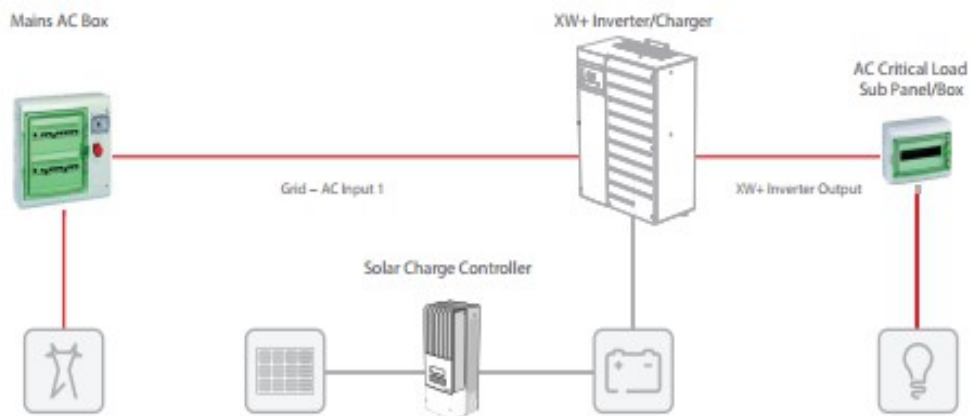


Figure 2 DC-Coupled System Diagram

Kuva 23. DC-yhdistetty järjestelmä.[28.]

Pohjimmiltaan ac-yhdistetty järjestelmä eroaa tavanomaisesta dc-yhdistetystä järjestelmästä yhdessä perimmäisessä mielessä – sähköenergia tuotettu uusiutuvalla energianlähteellä, mukaan lukien aurinko, tuuli- tai aalto, prosessoidaan verkkoon kytketyllä vaihtosuuntaajalla kytkettynä akkuvarmennetun invertterin ac-lähdön väylään. Jotkut rajoitukset huomioon ottaen tällaiseen järjestelmään on mahdollista integroida myös varageneraattori. Vaihtosähkö yhdistetyssä järjestelmässä, verkkoon kytketty vaihtosuuntaaja periaatteessa korvaa tasasähkölataussäätimen sekä usein valosähkölähddevirtapiirin liitinrasian.

SMA Solar Technology alkoi kehittää ac-puolelta akkupankin yhdistämistä omilla tuotteillaan 1990-luvulla. Kaupallisesti markkinoille nousi luotettava omavarainen järjestelmä vuonna 2005.

Järjestelmän tarkempi kuvaus

Suoraan verkkoon kytketyt vaihtosuuntaajat ovat virtalähdeinverttereitä. Ne muuntavat aurinkopaneeleilla tuotetun tasasähkön vaihtosähköksi, mutta toimiakseen turvautuvat ulkopuoliseen vaihtosähkölähteeseen, koska eivät pysty luomaan itsenäistä vaihtojännitteen aaltomuotoa. Vastakohtaisesti akkupankilla varmennetut suuntaajat ovat jännitelähdinverttereitä. Itsenäisessä tilassa ne tuottavat vaihtojännitteen ja taajuuden riippumatta ulkopuolisesta vaihtosähkölähteestä. Jotkut moduulit pystyvät operoimaan myös vuorovaikutteisesti jakeluverkon kanssa ja syöttämään ylimääräisen sähkön verkkoon kuten verkkoon kytketty invertterikin. Jakeluverkon kanssa vuorovaikutteiset

järjestelmät perustuvat verkkoon kytkettyihin ja jakeluverkosta erossa oleviin vastinkappaleisiin. Akkupohjaiset jännitelähdinvertterit toimittavat vakaan vaihtojännitteen ja taajuuden referenssin, mikä mahdollistaa verkkoon kytketyn virtalähdeinvertterin toiminnan, kun verkko ei ole läsnä. Tässä tilassa, verkkoon kytketyn invertterin syöttämä vaihtosähkö synkronisoituu akustolla varmennetun invertterin lähdön kanssa kriittisten kuormien ryhmäkeskuksen välityksellä ja sähkö kulutetaan ensin paikallisissa kuormissa, mukaan lukien akkupankin latauksessa. Mikäli kuormitus ylittää tuotannon, järjestelmä kohtaa energiavajauksen, jolloin sähköä vedetään varastosta.

Scneider Electricin esimerkkiratkaisun kuvaus [Lähde: Schneider Electric]

Toiminta, kun jakelujärjestelmä on läsnä.

Scneider Electric Conext XW akkupohjaisella suuntaajalla, kumpikin kahdesta ac-tulosta on varustettu tuloreleellä, mikä sulkeutuu vasta kun vaihtosähkölähde on pätevä ja on asiakkaan säädetyin jännitteen ja taajuuden parametrien vaihteluvälillä. Tuloreleen sulkeutuessa vaihtosähkölähde kytkeytyy suoraan taajuusmuuttajan vaihtosähkö lähtöliittimiin, tässä läpisiirtotilassa XW käyttäytyy kuten mikä tahansa muu kuormitus, varatessaan akkupankkia käyttäen monivaiheista algoritmia. Tämä latausominaisuus antaa hyvän akun suorituskyvyn ja käyttöiän. Vaihtosähkö yhdistetyissä järjestelmissä, jos jakeluverkon vaihtojännite ja taajuus ovat UL 1741:n ja CSA C22.2 Nro.107.1 rajoissa, Scneider Electricin Conext TX-verkkoon kytketty invertteri synkronisoituu verkon referenssin kanssa ja prosessoi aurinkosähköjärjestelmän sähkön aurinkopaneeleista. Paikalliset kuormat kuluttavat energian paneelistosta, mukaan lukien XW-laturi, ladataessaan akkupankkia ja kaikki ylimääräinen sähkö siirretään suoraan jakeluverkkoon.

Toiminta, kun jakeluverkko ei ole läsnä.

Akku-pohjainen Conext XW invertteri seuraa jatkuvasti sähköjakelujärjestelmän tulojännitettä ja taajuutta. Jos jännite tai taajuus siirtyy hyväksyttävissä olevien arvojen ulkopuolelle – esimerkiksi, sähkökatkon tai virtapiikin aikana – XW avaa tuloreleen, ja irrottaa kaikki suuntaajat verkosta. Heti kun rele aukeaa, XW siirtyy lataustilasta kääntötilaan syöttämään sähköenergiaa kriittisille kuormille ryhmäkeskuksessa. Tällöin käytetään akkupankkiin varattua sähköenergiaa. Sähköverkkoon kytketty TX- vaihtosuuntaaja voi tämän siirron aikana havaita väliaikaisen vaihtosähkön menetyksen ja

mennä pois päältä, kunnes havaitsee vakaan vaihtosähkö lähteen XW:ltä vähintään viideksi minuutiksi. Sähköverkon vian aikana XW toimii jännitelähteenä verkkoon kytkettyä TX-invertteriä varten. Samalla huolehditaan verkon jännitteensäädöstä ja tehotasapainon ylläpidosta. TX-invertteri tahdistuu XW:n toimittaman vaihtojännitteen kanssa aivan samalla tavalla, kuin sähköverkko olisi läsnä. XW:n saarekesuojaustoiminto estää sähkön viennin AC 1-yhteyden kautta sähkökatkon aikana. Samaan aikaan XW- sekä TX-suuntaajat jatkavat kriittisten kuormien sähkönsyöttöä. Kaikki ylimääräinen teho TX-invertteristä varaa akkupankkia päälataustilassa (Bulk Mode).

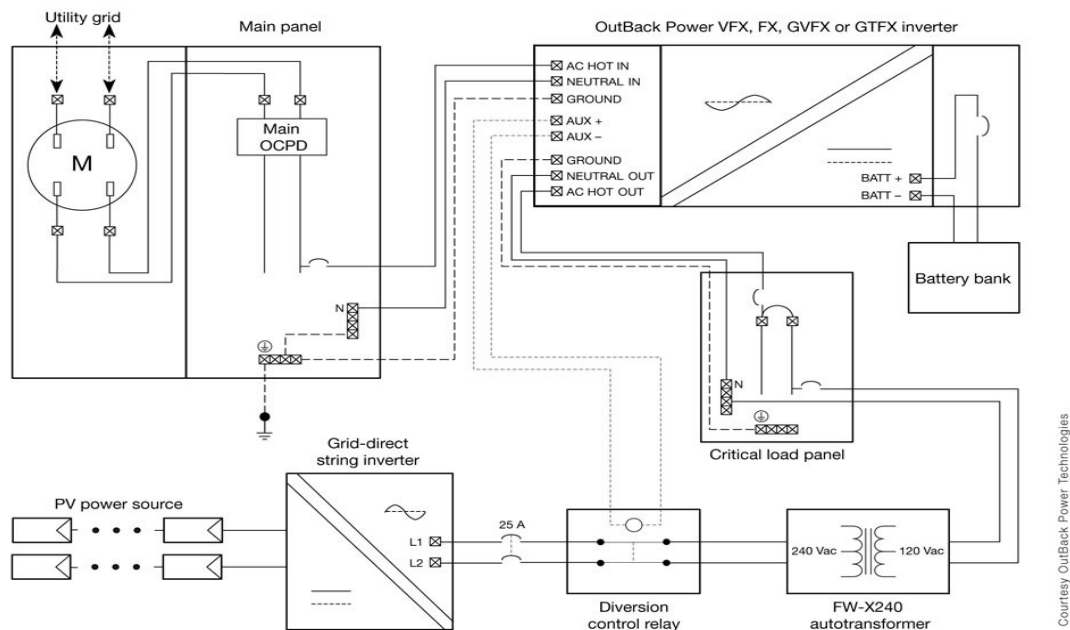


Figure 3 OutBack Power Technologies manufactures the Radian inverter/charger, which features 120/240 Vac split-phase output. In ac-coupled systems that utilize a single OutBack FX series inverter/charger with a 120 Vac single-phase output, an autotransformer can be used to integrate 240 Vac grid-direct inverters with the system.

Kuva 24. Outback Power Technologies-yhtiön Yhdysvalloissa käytettävä kytkentäkaavio vaihtosähköpuolelta yhdistetystä järjestelmästä.

5.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Järjestelmästä saatavan hyödyn maksimoimiseksi on paneelien mitoitus tehtävä huolella. Suurin hyöty saadaan, kun aurinkosähköllä korvataan ostosähköä ja kaikki tuotettu sähköenergia kulutetaan itse. Tämän vuoksi järjestelmän ylityömittaminen ei kannata. Ylityömittaminen kasvattaa takaisinmaksuaikaa, koska ylijäämä sähkö joudutaan syöttämään yleiseen sähköverkkoon, joko ilmaiseksi tai markkinahintaista korvausta vastaan. Markkinahintainen korvaus on noin kolmasosa ostosähkön hinnasta, koska ostosähkön hinta koostuu sähkön lisäksi sähkön siirtomaksusta sekä veroista.

Sähkön ostajat tarjoavat aurinkosähköstä yleensä joko pohjoismaisen sähköpörssin Suomen alueen tuntihintaa mahdollisesti vähennettynä esim. 0,3 snt/kWh provisiolla tai kiinteää sähkönhintaa. Sähkön tuntihinta vuonna 2015 aurinkosähkön tuotannon aikaan vaihteli välillä 4-5 snt/kWh.[5.]

Energian optimoinnin kannalta mitoitus kannattaa suorittaa kiinteistön pohjakuorman mukaan, jolloin aurinkopaneelien tehtävänä on tasoittaa kiinteistön sähkönkulutusta. Jos aurinkosähköjärjestelmä rakennetaan jälkikäteen kohteeseen, on hyödyllistä selvittää kiinteistön tuntitehotiedot kesäkuukausilta. Kiinteistön tuntitehotiedoista selviää pohjakuorman suuruus. Arkkitehtoniset seikat voivat myös vaikuttaa järjestelmän mitoitukseen, koska rakennuksissa on aina rajallinen määrä asennuspinta-alaa paneeleille. Järjestelmän mitoituksessa on ehdottomasti otettava huomioon myös järjestelmässä tapahtuvat häviöt paneeleissa, kaapeloinnissa, suuntaajissa ja akkupankissa.[3;29.]

5.3 Sähköenergian sääntely

Ihanteellinen sääntelystrategia tiettyä sovellusta varten vaihtelee aikamäärästä, jolloin järjestelmän odotetaan toimivan omavaraisesti. Sähköverkkoon sidotussa, vaihtosähköpuolelta sidotussa järjestelmässä, ketju-invertteri viettää suurimman osan ajastaan suoraan verkossa, jossa se on synkronisoitunut verkkojännitteen ja taajuuden viitearvoihin. Olettaen, että jakelujärjestelmän sähkönsyöttö on vakaa, ketju-invertterit on vaihtosähköpuolelta yhdistetty akkupohjaisen invertterin lähdon kanssa ainoastaan harvoin, lyhytaikaisten sähkökatkojen aikana. Tässä tapauksessa on hyväksyttävää turvautua yksinkertaiseen ohjauskeinoon, kuten sähkökatkosreleeseen tai taajuuden siirto toiminnallisuuteen, joita monet akkupohjaiset suuntaajat tarjoavat pudottaakseen ketju-invertterin pois päältä. Liiallisessa sähköntuotannossa suojataksaan akkupankkia, akkupohjainen invertteri siirtää taajuuden hyväksytyn rajan ulkopuolelle, jolloin ketju-invertteri menee pois päältä. Jos järjestelmä on sähköverkon ulkopuolella tai jakeluverkon sähkön syöttö on epävakaa, kehittyneempi ohjaukseen käytettävä lähestymistapa on suositeltavaa. Verrattuna taajuussiirto ja rele sääntelyn lähestymistapaan, käyttäen kuorman ohjausta kontrolloidakseen ylimääräistä tuotantoa tarjoaa vakaamman ja luotettavamman toiminnan sekä hienostuneemman akkulataus toiminnallisuuden. Yksi huomioon otettava asia vaihtosähköyhdistetyn järjestelmän suunnittelussa on, että akkupohjainen taajuusmuuttaja ei tyypillisesti pysty kuljettamaan verkkoon enemmän virtaa kuin niiden arvioidun muuntotehon kapasiteetin verran. Tämä

tarkoittaa, että akkupohjaisen invertterin kapasiteetin on oltava vähintään yhtä suuri kuin suoraan verkkoon kytketyn ketju-invertterin kapasiteetti, joka voi nostaa esiin epäkäytännöllisen puolen tilanteessa jossa on suuri verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä mutta ainoastaan pieni vaatimus varavoimalle. Tämän skenaarion voi ratkaista käyttämällä automaattista siirtokytkintä tai jakaa verkkoon kytketyn invertterin ja aurinkosähkövoimalan kapasiteettia pääkeskuksen ja kriittisten kuormien välillä. [29.]

5.4 Energian varastointi

Järjestelmän muodostamisessa keskitytään sähkön varastointimenetelmistä akku-teknologioihin perustuviin tapoihin. Akkupankin tarkoitus on kerätä ylimääräinen aurinkosähköjärjestelmän tuottama energia ja varastoida se käytettäväksi yöllä tai hetkenä, jolloin ei ole muuta energianlähdettä.

Akkuja voi valmistaa erilaisia kemikaaleja yhdistämällä. Jotkut yhdistelmät ovat edullisia mutta myös tehottomia. Toiset voivat varastoida suuria tehoja valtavilla hinnoilla. Lyijyakut tarjoavat parhaan tasapainon kapasiteetti/hinta kohden ja ovat yleisin akkutyyppi jakelujärjestelmän ulkopuolisissa aurinkosähköjärjestelmissä.

Syväpurkauslyijyakkuja on suunniteltu erityisesti energian varastointiin ja syvän syklin syöttöön. Niissä on yleensä suuremmat ja paksummat levyt ja ne on ihanteellisia uusiutuvan energianlähteen järjestelmiin. Syväpurkausakut sietävät kokonaiskapasiteetin purkauksen ennen uudelleen latausta ja selviävät satoista tai jopa tuhansista 80 %:n purkausjaksoista. Syväpurkauslyijyakkukapasiteetista on suositeltavaa käyttää enintään 50 %:a ja jättää 30 %:a hätätilanteita varten. Viimeisen 20 %:n käyttö ei ole suositeltavaa, pienempi määrä syväpurkauksia pidentää akkupankin elinikää.

Aurinkosähköjärjestelmien omavaraisuuden kehittämiseen pyrkivä Powerwall on Teslan pääjohtajan Elon Muskin haave mullistaa maailmaa. Tesla julkaisi äskettäin kodin akkujärjestelmän nimeltä Powerwall, mikä tuo Teslan sähköautoissa käytetyn akkuteknologian koteihin.

Powerwall on kehittynyt akkujärjestelmä, joka varautuu päivällä aurinkopaneelien kautta ja tarjoaa sähköä illalla, kun sähkölaitteiden käyttöaste on suurimmillaan. Laitteen voi myös asettaa latautumaan edullisemmalla yönsähköllä, mitä on yleensä

tarjolla klo 22.00 – 07.00 välillä. Powerwallin tarkoitus on tasapainottaa verkkosähkön käyttöä ja tuoda säästöjä sekä käyttäjälle että ympäristölle.

Tesla Powerwall-akkua myydään 7 ja 10 kWh:n versioina, joista ensimmäinen on tarkoitettu normaaliin päivittäiseen käyttöön ja kookkaampi varavoimaksi. Powerwall-akkujen kapasiteettia on mahdollista lisätä ketjuttamalla useampia yksiköjä. Laite voidaan asentaa joko ulos tai sisälle, ja se kestää myös pakkasta.

Yksi laite maksaa 3000-3500 dollaria, ja Tesla myöntää sille kymmenen vuoden takuun. Toimitukset alkoivat Yhdysvalloissa kesällä 2015.

Koska Powerwallin kapasiteetti ja teho ovat varsin rajattuja, useimmilla riippuvuus sähköverkosta kuitenkin säilyy, ainakin suurimman osan vuodesta. Tällöin säilyy myös iso osuus verkon kustannuksista. Ottaen huomioon Suomen tämän hetken hintatason ja markkinat sekä laitteiston kulumisen, ABB:n myyntijohtajan Matti Vaattovaaran mukaan Powerwall tuskin ikinä maksaa itseään takaisin. Meillä Suomessa ja monissa muissa länsimaissa sähköverkko on kuitenkin useimmissa paikoissa varsin luotettava ja sähköhyvälaatuista, Suomessa jopa verraten puhtaasti tuotettua.

Sitä mukaa kun aurinkomarkkinat kasvavat, akkujen käyttöönotto uusiutuvan sähkön energianvarastoina on tärkeää. Koska akkupankki edustaa suurta osaa koko aurinkosähköjärjestelmän kustannuksista, huolellinen huomio asianmukaisen valinnan suhteen, ja akuston kunnossapito on tärkeämpää kuin koskaan aikaisemmin, etenkin kun halutaan maksimoida akuston investointi. Sähkönkuluttajien toive varastoida aurinkovoimaa on trendi, joka on asetettu lähtemään lentoon eksponentiaalisesti jossain vaiheessa.[30;29;32.]

Seuraavaksi esitetään potentiaalisia vaihtoehtoja aurinkosähköjärjestelmälle, esitetään järjestelmän kuvaus komponentteineen, investointikustannukset ja takaisinmaksuaika.

6 Maatilan sähköomavaraisuutta lisäävä aurinkosähköjärjestelmä

Järjestelmästä saatavan hyödyn maksimoimiseksi on paneelien mitoitus tehtävä huolella. Suomessa ei valitettavasti ole vielä aurinkosähkölle syöttötariffia eli takuuhintajärjestelmää tai nettolaskutusta. Nykytilanteessa sähkön tuottaminen omaan käyttöön korvaamaan ostosähköä on taloudellisesti kannattavampaa kuin sähkön tuottaminen yleiseen sähköverkkoon. Energian optimoinnin kannalta aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa tilan oman sähkönkulutuksen mukaan: paneelien nimellisteho on vain hieman suurempi kuin maatilan peruskuorma kesällä päiväsaikaan. Kun tuotettu sähkö käytetään maatilalla itse, tulee laskennallinen takaisinmaksuaika lyhyimmäksi. Kiinteistön tuntitehotiedot saadaan selville verkkoyhtiöltä, joka on kohteeseen asentanut älykkään etäsähkömittarin. Kohde sijaitsee Suur-Savo Sähkö-sähkönjakeluyhtiön verkkoalueella. Verkkoyhtiö tarjoaa asiakkailleen ilmaisen energian kulutusseurantapalvelun, jonka perusteella voidaan arvioida sähköliittymän pohjakuorma ja laskea aurinkosähköjärjestelmän suuruusluokka.[33.]

Senerin ohjeen mukaan maatilan sähköliittymään voidaan liittää laitos, jonka teho on maksimissaan

$$S_N = \frac{S_k}{25} = \frac{3 \times 540 \text{ A} \times 230 \text{ V}}{25} = 14\,904 \text{ W}$$

kun oletetaan, että *isuhde* on lähes 1, eli voimala ei ota nimellisvirtaansa merkittävästi suurempaa kytkentävirtaa.[energiateollisuus, verkostosuositus YA9:09]

6.1 Akkupankin mitoitus

Kohteen aurinkosähköjärjestelmiä lähdetään suunnittelemaan energiavaraston mitoituksella. Hajautetun energian tuotannon käytölle integraatiossa sähköjärjestelmiin energian varastointiteknologia on selkeästi muodostumassa avainteknologiaksi. Energianvarastot mitoitetaan erityisesti tuotantorakennuksen kriittisiä järjestelmiä silmällä pitäen, jotka sähkön katketessaan aiheuttaisivat suuria taloudellisia menetyksiä. Liitteenä työn ohessa on luettelo tuotantorakennuksen kulutuskojeista. Maatilalle suunnitellaan kaksi aurinkosähköjärjestelmää, joista toinen on ac-yhdistetty ja toinen

dc-yhdistetty. Ac-yhdistetyssä järjestelmässä hyödynnetään syväpurkaus lyijyakkuja. Kuten osiossa viisi esitelty, ketju-invertteri kytketään ac-yhdistetyssä järjestelmässä kriittisten kuormien ryhmäkeskuksen välityksellä akkuvarmennetun invertterin ac-lähdön väylään, jossa verkkoon kytketyn ketju-invertterin syöttämä vaihtosähkö synkronisoituu akustolla varmennetun invertterin lähdön kanssa. Kyseiseen järjestelmään otan vaihtoehtoisesti vertauskohteeksi dc-puolelta yhdistetyn aurinkosähköjärjestelmän, hyödyntäen järjestelmässä Teslan Powerwall-akkujärjestelmää. Varastointijärjestelmällä varmennetaan seuraavat kriittisten kuormien ryhmäkeskukseen siirrettävät lähdöt:

5. Tilatankki 2200 W 1. tyhjiöpumppu 2200 W 2. maitopumppu 550 W 15.
Uppopumppu 1200 W 16. maidon lämmöntalteenotto 350 W 27. järviveden kiertovesipumppu 2200 W

Tilatankki on lypsykarjataloudessa käytössä oleva jäähdytetty säiliö, johon maatilalla lypsykoneella tai lypsyrobotilla lehmistä lypsetty maito kootaan sähkömoottorin pyörittämällä alipainepumpulla maitoputkiston kautta.

Toimiva ja nopea jäähdytys on avainasemassa maidon laadun ja jäähtymisen kannalta. Suomalaisessa lainsäädännössä on säädetty vastaanotettavan maidon lämpötilavaatimuksista ja siitä, että maito ei saa jäätymä. Meijerikuljetusta varten maidon lämpötila voi korkeintaan olla 6 °C. Lisäksi osuuskuntien hoitamassa maidonkeräilyssä liian lämmintä maitoa ei saa ottaa kyytiin. Tuore, lämmin maito on jäähdytettävä nopeasti. Maidolla on luonnollinen bakteerien vastustuskyky lypsyn jälkeen, mutta vain nopea jäähdytys 4–6 °C:n varastointilämpötilaan estää tai minimoi mikro-organismien kasvun. [Oikeusministeriö, 2006, 439 – 440.]

Järviveden kiertovesipumppu pumppaa eläimille järvestä juomavettä. Veden saanti eläimille on varmasti taattava, eikä yli puolen tunnin vedenpuute ole luvattua.

Ryhmäkeskukseen siirrettävien lähtöjen yhteenlaskettu maksimikuorma on

$$2\ 200\ W + 550\ W + 2\ 200\ W + 1200\ W + 350\ W + 2200 = 8700\ W$$

Kyseinen kuorma voidaan olettaa maksimi kuormaksi sähkökatkon yllättäen kesken lypsyn. Tärkeintä koko tuotannon kannalta on pitää maidon lämpötila sallituissa rajoissa ja taattava vedensaanti eläimille. Kustannustehokkaassa järjestelmässä sähkön

riittävyys varmistamiseksi täytyy akkuvarmennettujen kojeiden käyttöä vuorotella. Maitopumppu, tyhjiöpumppu, tilatankki ja maidon lämmön talteenotto on yksi kokonaisuus, toinen lypsyaseman uppopumppu ja kolmas kiertoveden pumppu, joita tarpeen mukaan syötetään.

Voidaan olettaa myös, että jotkut toiminnot paitsi tilasäiliö voidaan siirtää automaattisista manuaalisiin toimintoihin ja voidaan olettaa kuormien huipun pysyvän päällä korkeintaan puoli tuntia (lypsyn aloitusajankohdasta lähtien 2 tuntia), jonka jälkeen kuormitus laskee merkittävästi, joten varastointijärjestelmiä ei kannata mitoittaa huippukuorman mukaan.

Vuonna 2015 maatilalla tapahtui kolme sähkökatkosta 3.6 14.00 – 16.00, 7.6 16.00-17.00 ja 2.10 – 3.10 23.00 – 11.00. Pisin sähkökatkos kesti 12 tuntia.

Yli 12 tuntia kestävästä sähkökäyttömahdollisuuden puuttumisesta jakeluverkonhaltija maksaa sähkökäyttäjälle korvauksen, riippumatta siitä, onko keskeytyksestä aiheutunut asiakkaalle haittaa vai ei. Mikäli sähkökatkosta on aiheutunut haittaa, vakiokorvausmenettelyn lisäksi on mahdollista hakea vahingonkorvasta.[Energiäteollisuus]

Kustannuskomparaation vuoksi energianvarastointi järjestelmät varmistetaan kuudeksi ja kahdeksikymmeneksi neljäksi tunniksi.

Totuudenmukaisten kulutustietojen saamiseksi täytyisi akkuvarmennettujen lähtöjen kulutusta mitata vuorokauden ajan tai pidempään. Koska kyseistä toimenpidettä ei ole tehty, täytyy kuuden tunnin ja vuorokauden aikainen tehonkulutus arvioida.

Kuuden tunnin tehonkulutukseksi arvioidaan

$$8700 \text{ W} \times 0,5\text{h} + 4950 \text{ W} \times 0,5\text{h} + 4000\text{W} \times 5\text{h} = \underline{26\ 825 \text{ Wh}}$$

Vuorokauden aikaisen tehonkulutuksen arvio

$$8700 \text{ W} \times 0,5\text{h} + 4950 \text{ W} \times 0,5\text{h} + 23\text{h} \times 3000 \text{ W} = \underline{75\ 825 \text{ Wh}}$$

Kuten mainittuna aikaisemmin lyijysyväpurkausakkukapasiteetista on suositeltavaa käyttää enintään 50 %:a, jättää 30 %:a hätätilanteita varten eikä viimeisen 20 %:n käyttö ole ollenkaan suositeltavaa, pienempi määrä syväpurkauksia pidentää akku-

pankin elinikää. Joten päätetään purkaa akkupankkia korkeintaan 50 %:a, jonka seurauksena täytyy tuplata varastokapasiteetti.

$$26\ 825\ \text{Wh} \times 2 = \underline{53\ 650\ \text{Wh}} \text{ ja vastaavasti } 75\ 825\ \text{Wh} \times 2 = \underline{151\ 650\ \text{Wh}}.$$

Teslan Litium-ioni-akkuja on suositeltavaa purkaa enintään 80 %. Merkittävä etu Li-ioni-akulla on, ettei siinä tapahdu niin sanottua muisti-ilmiötä eli akku ei menetä kapasiteettiaan, vaikkei sitä koskaan ladattaisi aivan täyteen tai purettaisi tyhjäksi. Kuten lähes kaikki muutkin akut Li-ioni-akku ei siedä yllätausta eikä varaustason liiallista purkamista, jonka vuoksi useimmissa akuissa on sisäänrakennettu akunhallintajärjestelmä. Teslan litium-ioni-akun käyttö aurinkosähköjärjestelmässä tarkoittaa, että akkupankki asennetaan tasavirta puolelle, joten kyseessä on tasasähkö-yhdistetty järjestelmä.

Litium-ioni-akkuja käytettäessä akkupankin käyttöiän pidentämiseksi puretaan Teslan Powerwallia korkeintaan 80 %, jolloin vaadittava akkupankin kapasiteetti on:

$$26\ 825\ \text{Wh} / 0,8 = \underline{33\ 530\ \text{Wh}} \text{ ja vastaavasti } 75\ 825\ \text{Wh} / 0,8 = \underline{94\ 780\ \text{Wh}}$$

Lyijyakun elinikään ja kapasiteettiin vaikuttaa ympäröivä lämpötila. Ympäröivä lämpötila vaikuttaa etenkin lyijyakun sisäiseen resistanssiin ja kykyyn varastoida energiaa. Lämpötilan vaikutus lyijyakkukapasiteettiin otetaan huomioon seuraavassa laskussa. Taulukko 4. Oheisesta taulukosta saadaan lämpötilan korjauskerroin.

Electrolyte temperature		Cell size correction factor	Electrolyte temperature		Cell size correction factor
(° F)	(° C)		(° F)	(° C)	
25	-3.9	1.520	78	25.6	0.994
30	-1.1	1.430	79	26.1	0.987
35	1.7	1.350	80	26.7	0.980
40	4.4	1.300	81	27.2	0.976
45	7.2	1.250	82	27.8	0.972
50	10.0	1.190	83	28.3	0.968
55	12.8	1.150	84	28.9	0.964
60	15.6	1.110	85	29.4	0.960
65	18.3	1.080	86	30.0	0.956
66	18.9	1.072	87	30.6	0.952
67	19.4	1.064	88	31.1	0.948
68	20.0	1.056	89	31.6	0.944
69	20.6	1.048	90	32.2	0.940
70	21.1	1.040	95	35.0	0.930
71	21.7	1.034	100	37.8	0.910
72	22.2	1.029	105	40.6	0.890
73	22.8	1.023	110	43.3	0.880
74	23.4	1.017	115	46.1	0.870
75	23.9	1.011	120	48.9	0.860
76	24.5	1.006	125	51.7	0.850
77	25.0	1.000			

NOTE—This table is based on vented lead-acid nominal 1.215 specific gravity. However, it may be used for vented cells with up to a 1.300 specific gravity. For cells of other designs, refer to the manufacturer.

Akkupankki tullaan sijoittamaan tekniseen tilaan, jonka lämpötila on 20,0 ° C ja korjauskerroin 1,056, jolloin akkukapasiteetiksi saadaan:

$$53\,650 \text{ Wh} \times 1.056 = \underline{56\,650 \text{ Wh}} \quad \text{ja} \quad 151\,650 \text{ Wh} \times 1.056 = \underline{160\,140 \text{ Wh}}$$

Lyijyakkupankin vaadittava kapasiteetti lasketaan 48 voltin järjestelmälle.

$$53\,650 \text{ Wh}/48 \text{ V} = 1118 \text{ Ah} \quad \text{ja} \quad \text{vastaavasti} \quad \text{vuorokausi} \quad 160\,140 \text{ Wh}/48 \text{ V} = 3336 \text{ Ah}$$

Syväpurkauslyijyakkuja kannattaa kytkeä rinnan korkeintaan kolmeen ketjuun ja suositeltavaa on kytkeä ainoastaan kaksi ketjua rinnan, jotta kaikki akut varautuisivat tasaisesti.

Aurinkosähköjärjestelmää varten valitaan akut, jotka ovat kustannustehokkaita ja luotettavia. Seuraavaksi esitetään varastointijärjestelmien vaihtoehdot ja kustannukset:

Hoppecke 7 OPzS solar power 1070 – 48V

$1118 \text{ Ah} / 1070 \text{ Ah} = 1,045$ eli riittää yksi (<http://www.europe-solarstore.com/>, 3000 sykliä 50 % DOD, 7589 €)

Rolls Solar 5000, 4V, 1900Ah (C100) 1121Ah (C10)

$1118 \text{ Ah} / 1121 \text{ Ah} = 0,99$ joten 12 akkua sarjassa. (955 € kpl, <http://www.windandsun.co.uk/>, 3200 sykliä 50 % DOD, yhteensä 11 460 €)

Vastaavasti vuorokauden varavoima

Rolls Solar 5000, 2V, 2491Ah (C100), 1466Ah (C10), 1766Ah (C20)

$3336 \text{ Ah} / 1766 \text{ Ah} = 1,89$ kpl eli kaksi ketjua rinnan ja 24 ketjussa joten 44 kpl, (614 € kpl, 3200 sykliä 50 % DOD, <http://www.windandsun.co.uk/>, yhteensä 27 016 €).

Oikein mitoitettuna huoltovapaat AGM- akut toimivat 10 – 20 vuotta.

Tesla tarjoaa kahdenlaista akkumallia: 10 kWh:n versio on tarkoitettu viikoittaiseen sykliseen kiertoon varavoimaksi ja 7 kWh:n versio päivittäiseen käyttöön. Kohteeseen suunnitteilla olevaan aurinkosähköjärjestelmään sovelletaan 10 kWh:n akkujärjestelmiä. Tarkoituksena on varmistaa varavoimalähde sähkökatkojen varalta. Teslan

Litium-ioni-Powerwall-akkupankkeja tarvitaan tasasähköpuolelta yhdistettyyn järjestelmään:

33 530 Wh / 10 000 Wh = 3,353 eli 4 kpl yhteensä 12 540 €

Vuorokauden varavoimaa varten

94 780 Wh/ 10 000 Wh = 9,47 eli 10 kpl (Tesla Powerwall 10 kW, 3500 \$ + kuljetus, 1000- 1500 sykliä, yhteensä 31 350 €).

Käyttö- ja asennusohjeen mukaan neljä Powerwall varavoimajärjestelmää tarjoavat jatkuvan 20 kW syötön, 28 kW syöksyvirran (10 s) ja lataus onnistuu jatkuvalla 13,2 kW teholla.

Kuten huomataan litiumioniakut, ovat vähän kalliimpia kuin lyijyakut, mutta litiumioniakut toimivat paremmin eri lämpötiloissa ja niissä on suurempi energiatiheys. Seuraavassa osiossa mitoitetaan sähköliittymään kytkettävän aurinkopaneeliston koko.

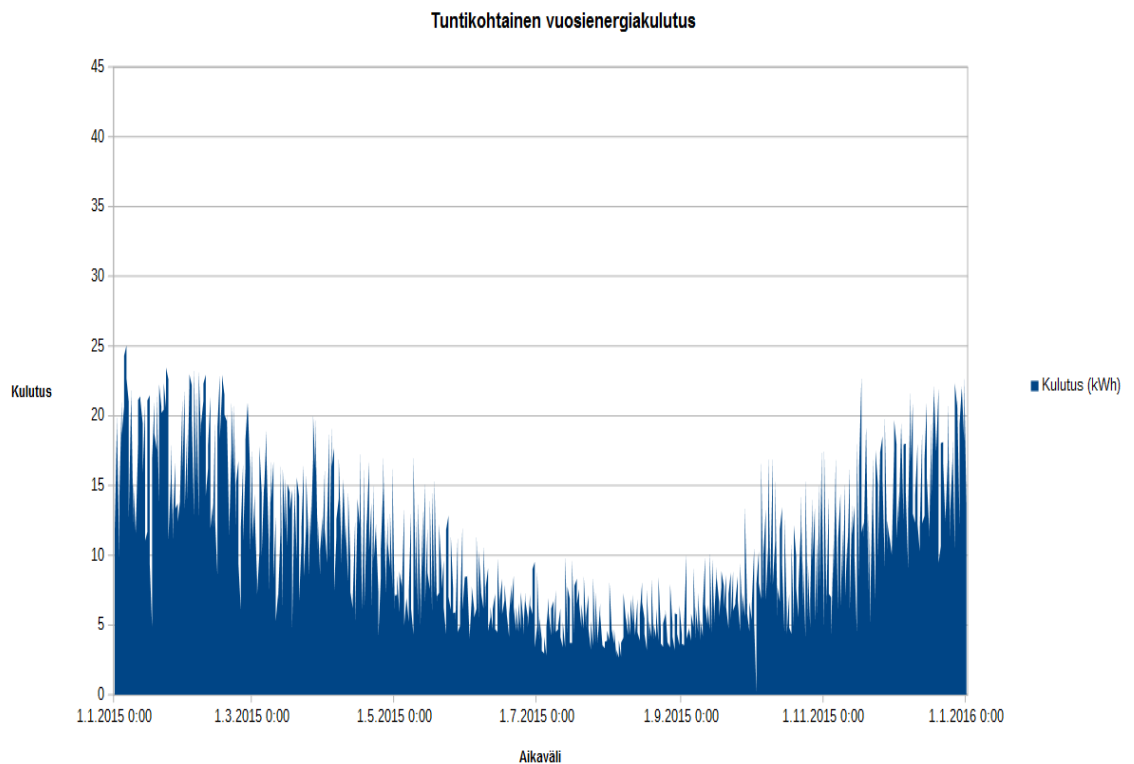
6.2 Aurinkopaneeliston mitoitus

Järjestelmästä saatavan hyödyn maksimoimiseksi on paneelien mitoitus tehtävä huolella. Aurinkoenergian hyöty on sitä suurempi, mitä enemmän sitä käytetään itse tuotantopaikassa. Koska maatilalla, navetoissa ja huoltorakennuksissa huomattava osa sähköenergiasta käytetään juuri päiväaikaan, jolloin auringon säteily on voimakkaimmillaan, käytettävä verkkosähköenergia voidaan kompensoida ilmaisella valosähköllä. Energian optimoinnin kannalta aurinkosähköjärjestelmä mitoitetaan kesäkuukausien peruskuorman mukaan. Peruskuorman suuruus arvioidaan vuoden 2015 kulutustietojen perusteella, jotka sähkönjakeluyhtiön Suur-Savo Sähkön energian kulu- tuseurantapalveluun on tuntikohtaisesti tallentunut. Maatilan sähkönkulutus vuonna 2015 oli 118 997 kWh ja tuntikohtainen keskimääräinen energiankulutus oli 13,6 kWh. Kesäkuukausien keskimääräinen energiankulutus on esitetty taulukossa viisi.

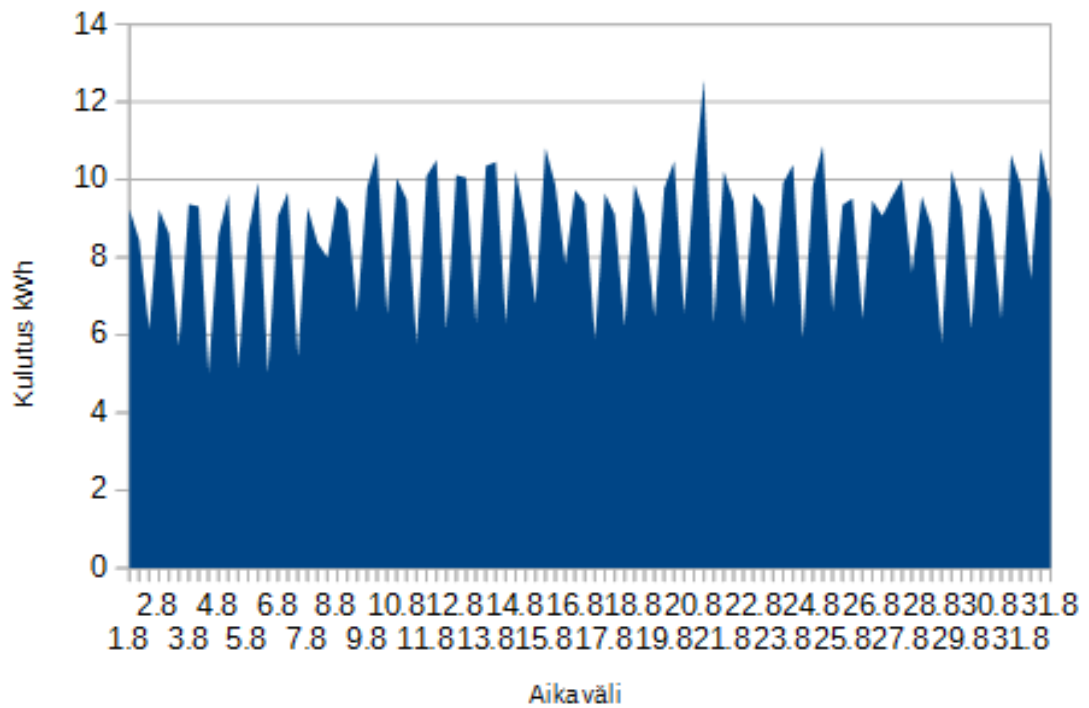
Taulukko 5. Keskimääräinen energiankulutus kesällä 2015

Toukokuu kWh/h	Kesäkuu kWh/h	Heinäkuu kWh/h	Elokuu kWh/h
11,62	9,98	8,88	8,56

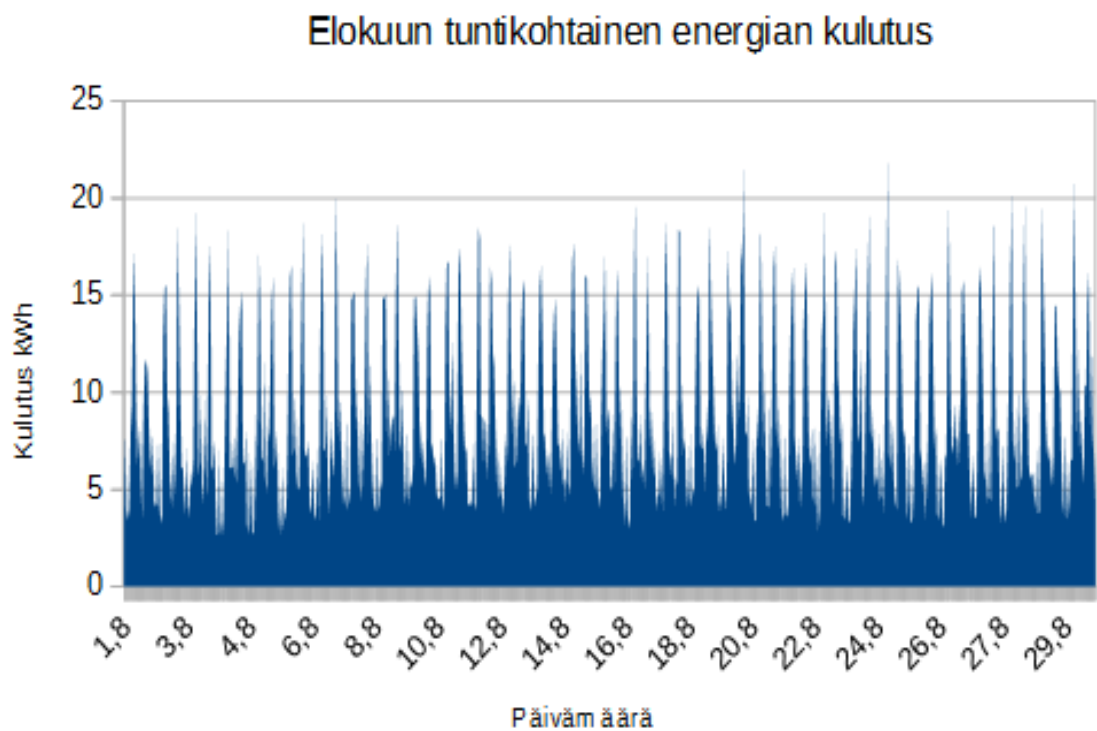
Taulukosta huomataan, että elokuun keskimääräinen energian kulutus oli alhaisin, joten arvioidaan peruskuorman suuruus juuri kesän viimeisen kuukauden perusteella. Seuraavaksi havainnollistavat kuvat koko vuoden 2015 ja elokuun energian kulutuksista.



Kuva 25. Maatilan vuosienergiakulutus.



Kuva 26. Elokuun energian kulutus laskettuna kahdeksan tunnin keskiarvoilla.



Kuva 27. Elokuun energiankulutus tuntikohtaisesti.

Kuten kuvista huomataan elokuun energian kulutus maatilalla oli melko korkea. Huippukuormitus eräänä päivänä elokuussa kohosi jopa 21 786 wattiin tunnissa. Sähköä maatilalla käytettiin erityisesti lypsyprosessien yhteydessä, jotka sijoittuivat ajanjaksoille 6.00 - 9.00, ja 16.00 – 19.00. Lypsyprosessien ajanjaksoilla energiankulutus on suurimmillaan, ja koska aikakehykset sijoittuvat aurinkoiseen aikaan, pystytään aurinkosähköllä leikkaamaan vaikutusvaltainen osa verkkosähkön kulutuksesta pois.

Taulukko 6. Ohessa on tuotu esiin elokuun neljän satunnaisen päivän kulutustiedot.

9.8.2015 6:00	9.8.2015 7:00	14,911	11.8.2015 6:00	11.8.2015 7:00	13,492
9.8.2015 7:00	9.8.2015 8:00	14,765	11.8.2015 7:00	11.8.2015 8:00	16,753
9.8.2015 8:00	9.8.2015 9:00	15,105	11.8.2015 8:00	11.8.2015 9:00	16,64
9.8.2015 9:00	9.8.2015 10:00	7,986	11.8.2015 9:00	11.8.2015 10:00	8,069
9.8.2015 10:00	9.8.2015 11:00	11,075	11.8.2015 10:00	11.8.2015 11:00	9,452
9.8.2015 11:00	9.8.2015 12:00	6,739	11.8.2015 11:00	11.8.2015 12:00	12,582
9.8.2015 12:00	9.8.2015 13:00	7,981	11.8.2015 12:00	11.8.2015 13:00	8,148
9.8.2015 13:00	9.8.2015 14:00	8,562	11.8.2015 13:00	11.8.2015 14:00	5,872
9.8.2015 14:00	9.8.2015 15:00	8,822	11.8.2015 14:00	11.8.2015 15:00	4,969
9.8.2015 15:00	9.8.2015 16:00	7,027	11.8.2015 15:00	11.8.2015 16:00	5,843
9.8.2015 16:00	9.8.2015 17:00	14,881	11.8.2015 16:00	11.8.2015 17:00	17,506
9.8.2015 17:00	9.8.2015 18:00	19,008	11.8.2015 17:00	11.8.2015 18:00	16,532
9.8.2015 18:00	9.8.2015 19:00	12,69	11.8.2015 18:00	11.8.2015 19:00	12,635
9.8.2015 19:00	9.8.2015 20:00	7,414	11.8.2015 19:00	11.8.2015 20:00	10,047
9.8.2015 20:00	9.8.2015 21:00	6,927	11.8.2015 20:00	11.8.2015 21:00	7,98
9.8.2015 21:00	9.8.2015 22:00	10,507	11.8.2015 21:00	11.8.2015 22:00	6,872
13.8.2015 6:00	13.8.2015 7:00	14,611	5.8.2015 6:00	5.8.2015 7:00	9,222
13.8.2015 7:00	13.8.2015 8:00	17,933	5.8.2015 7:00	5.8.2015 8:00	17,044
13.8.2015 8:00	13.8.2015 9:00	12,009	5.8.2015 8:00	5.8.2015 9:00	14,62
13.8.2015 9:00	13.8.2015 10:00	7,889	5.8.2015 9:00	5.8.2015 10:00	6,668
13.8.2015 10:00	13.8.2015 11:00	10,891	5.8.2015 10:00	5.8.2015 11:00	6,461
13.8.2015 11:00	13.8.2015 12:00	6,141	5.8.2015 11:00	5.8.2015 12:00	11,538
13.8.2015 12:00	13.8.2015 13:00	6,508	5.8.2015 12:00	5.8.2015 13:00	5,776
13.8.2015 13:00	13.8.2015 14:00	8,653	5.8.2015 13:00	5.8.2015 14:00	4,743
13.8.2015 14:00	13.8.2015 15:00	9,909	5.8.2015 14:00	5.8.2015 15:00	8,288
13.8.2015 15:00	13.8.2015 16:00	8,283	5.8.2015 15:00	5.8.2015 16:00	7,419
13.8.2015 16:00	13.8.2015 17:00	13,255	5.8.2015 16:00	5.8.2015 17:00	11,194
13.8.2015 17:00	13.8.2015 18:00	15,169	5.8.2015 17:00	5.8.2015 18:00	14,652
13.8.2015 18:00	13.8.2015 19:00	15,768	5.8.2015 18:00	5.8.2015 19:00	15,884
13.8.2015 19:00	13.8.2015 20:00	7,217	5.8.2015 19:00	5.8.2015 20:00	6,044
13.8.2015 20:00	13.8.2015 21:00	7,41	5.8.2015 20:00	5.8.2015 21:00	6,719
13.8.2015 21:00	13.8.2015 22:00	9,915	5.8.2015 21:00	5.8.2015 22:00	8,138

Kulutustietojen perusteella maatilalle kannattaa hankkia 8 – 10 Kwp tehoinen aurinkosähköjärjestelmä. Kuten kulutustiedoista huomataan sähkön käyttö on yleensä suurempi kuin suunnitteillaan olevan järjestelmän huipputuotanto, jolloin ylimääräisen vaadittavan energian sähköliittymä ottaa sähköverkosta. Aurinkopaneelien tuottavan enemmän kuin kiinteistö kuluttaa, ylimääräinen sähkö valuu akkupankkiin, naapurin käytettäväksi yleiseen jakeluverkkoon tai vaihtoehtoisesti yksi keino on varastoida aurinkosähköllä tuotettua ylimääräistä energiaa lämminvesivaraajaan. Eli kun aurinkosähköä tulee paljon, sitä ei työnnetäkään verkkoon, vaan automaattikytkin kääntää sen lämmittämään lämminvesivaraajan vastusta. Silloin sähköverkkoon ei syötetä käytännössä mitään ja järjestelmästä saa suurimman hyödyn.

Aurinkopaneelien suuntaus vaikuttaa merkittävästi sähköntuotantoon. Liitteenä on kuva karjatalousrakennuksesta, jota tutkimalla huomataan, että aurinkopaneelisto on mahdollista asentaa joko itä/kaakko- tai etelä/lounas- suuntaisesti. Aurinkopaneelisto kannattaa sijoittaa mahdollisimman etelän suuntaisesti, jolloin paneeliston kohdistuu aurinkosäteilyä päivän aikana pisimpään. Suunnattaessa itään valosähkön tuotanto siirtyisi aikaisempaan aamuun, mutta koska vielä elokuun lopussakin aurinko nousee vielä kello 5.50, sijoitetaan aurinkopaneelisto etelään suuntautuvalla katonlappeelle, jonka pinta-ala etelän suuntaisesti on 101 m² ja orientaatio 20^o etelästä lounaaseen.

Kohteeseen päädytään ehdottamaan 9000 Wp:n valosähkölaitteita. 9000 Wp:n aurinkopaneelisto koostuu 36 kpl:sta 250 Wp WINAICO-monikideaurinkopaneelista ja on pinta-alaltaan 58,6 m² laaja. Karjatalousrakennuksen katonlappeen kallistuskulma on 30^o. (210 € kpl, Hinta 7560 €, <http://www.aurinkosahko.net/>, Liite 7)

Aurinkopaneelijärjestelmän tuotto-odotuksia voi arvioida Euroopan komission ylläpitämän aurinkosähkölaskurin PVGIS ja ilmatieteenlaitoksen tilastojen avulla. PVGIS tietokanta pohjautuu kerättyihin tietoihin aikavälillä 1998-2011 ja ilmatieteenlaitoksessa auringonpaistetunneille on laskettu 30 vuoden ajalta (1971-2000) kuukausikeskiarvot.

Fixed system: inclination=30 deg., orientation=20 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	4.44	138	0.53	16.4
Feb	13.40	376	1.63	45.6
Mar	21.60	668	2.75	85.3
Apr	33.60	1010	4.59	138
May	39.40	1220	5.66	175
Jun	38.30	1150	5.64	169
Jul	37.90	1180	5.65	175
Aug	28.20	875	4.08	126
Sep	18.30	548	2.51	75.2
Oct	9.66	299	1.26	38.9
Nov	3.41	102	0.42	12.7
Dec	2.26	69.9	0.27	8.47
Year	20.90	636	2.92	88.9
Total for year		7630		1070

Auringonpaistetunnit Duration of sunshine					
Kk	Karvo	Absol	Absol	Absol	
Month	Mean	ysin/max	V/Year	alin/min	V/Year
1 1701 LAPPEENRANTA LENTOASEMA					
1	32	64	1987	9	2001
2	69	144	1994	27	1995
3	129	205	2005	39	1988
4	193	319	2004	81	1992
5	266	352	2002	189	1983
6	252	364	1992	150	1987
7	276	369	1994	199	2000
8	212	347	1997	101	1988
9	131	200	2000	60	1984
10	65	103	1993	5	2001
11	26	56	1988	1	1984
12	17	43	1995	0	2008
	1668	369		0	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Vasemmalla PVGIS-aurinkosähkölaskurilla lasketut energian tuotto-odotukset

(sisältäen 23,2 % järjestelmähäviöt) ja oikealla tilasto ilmatieteenlaitoksen aurinko-

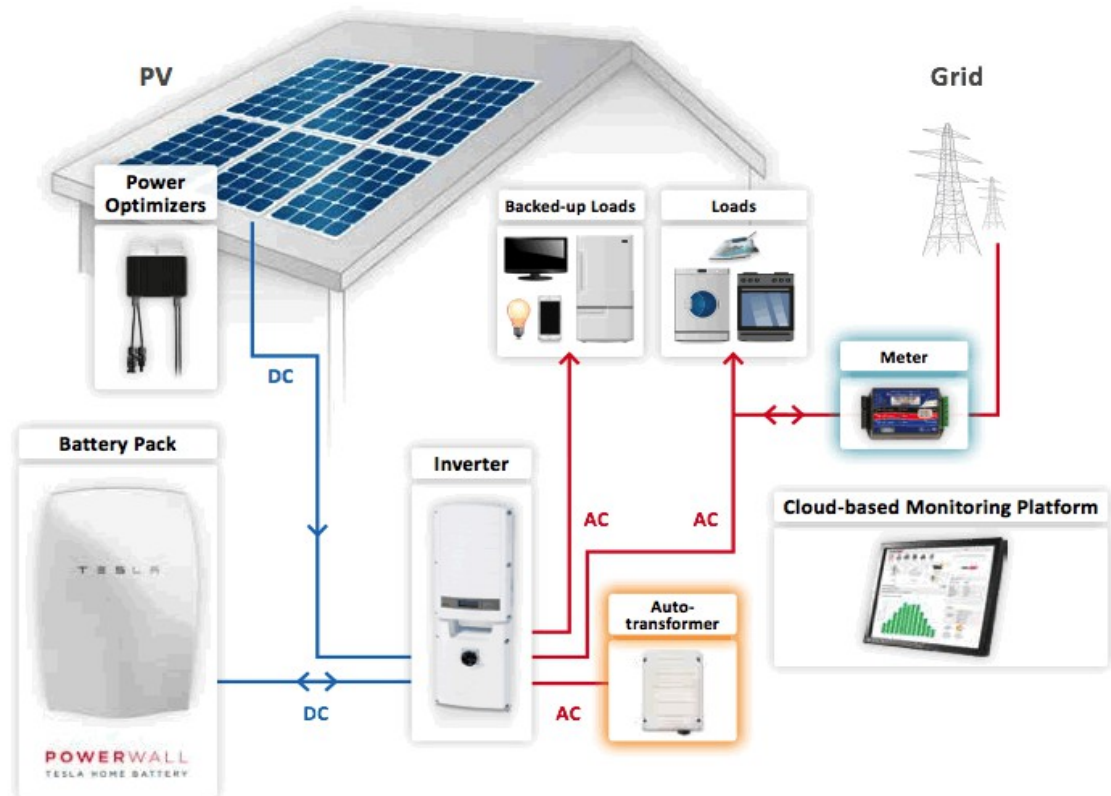
paistetunneista Lappeenrannan lentoasemalla. Lappeenrannassa aurinkoisena kevät-

ja kesäpäivänä järjestelmän huipunkäytön yläraja on keskimäärin noin 7,3 tuntia. Syys-

ja talvipäivinä sähköntuotanto nimellisteholla jää keskimäärin kahteen tuntiin. Joten riippuen järjestelmän häviöistä ja säästä, sähkön vuosituotanto 9 kWp aurinkosähköjärjestelmällä on noin 7400 kWh – 8400 kWh.

6.3 Potentiaalisten järjestelmien esitys

Ensimmäiseksi esitellään tasajännitepuolelta yhdistetty aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmän komponentteihin lukeutuu Teslan Powerwall energian- varastointijärjestelmä, Solaredgen aurinkovaihtosuuntaaja, dc-dc-sähköenergian tehostajat sekä storedge-rajapintamoduuli vaihtosuuntaajan ja akkupankin väliin. SolarEdgen järjestelmä tuli valituksi sen takia, koska yhtiö on Teslan ensisijaisia yhteistyökumppaneita, järjestelmät ovat helposti integroitavissa sekä molemmat yhtiöt tarjoavat järjestelmäkokonaisuuksien kokonaisvaltaisen seurannan.



Kuva 28. StorEdge Tesla -akkujärjestelmän yleiskuvaus.

SolarEdgen StorEdge DC-yhdistetty varastointijärjestelmä sallii kiinteistön omistajan maksimaalisen energian käytön ja omavaraisuuden. Perinteisen tasasähkön optimoinnin lisäksi, SolarEdge-aurinkoinvertteri hallitsee akkupankkia sekä järjestelmän energiaa.

Valosähköjärjestelmään kuuluu Solaredge SE9K 3-v-vaihtosuuntaaja, (1615 €, <http://www.solarshop-europe.net/>), 36 kpl SolarEdge Optimizer Add-On P300 (55 € kpl), SolarEdge StorEdge Interface ja 4 tai 10 kpl Tesla Powerwall 10 kW-akku-järjestelmää (3500 \$ + kuljetus).

Seuraavaksi esitellään vaihtosähköpuolelta yhdistetty aurinkosähköjärjestelmä. AC-yhdistetyssä järjestelmässä, verkkoon kytketty invertteri on kytkettynä akkuvarmennettun invertterin ac-lähdön välilyöntiin kriittisten kuormien ryhmäkeskuksen välityksellä. Aurinkosähkö käytetään ensisijaisesti kulutuslaitteissa, tarpeen mukaan akkupankin lataukseen, ja ylimääräinen sähkö syötetään sähkönjakeluverkkoon.

Markkinoilla on laaja valikoima verkkoon kytkettäviä aurinkosähkövaihtosuuntaajia, jotka tyydyttäisivät vaadittavan valosähkö konversion vaihtosähköksi. Järjestelmään valitaan vaihtosuuntaaja valmistajan historian ja luotettavuuden perusteella.

Verkkoon kytkettäväksi ketju-invertteriksi valitaan ABB:n Power-One Aurora PVI-10.0-TL-OUTD - S (S - DC erotin, tekniset tiedot Liitteenä, 2074 € <http://pvshop.eu/>). Ketju-invertterin MPPT-väyliin kytketään kaksi 18 aurinkopaneelin ketjua, jolloin molempien ketjujen jännite standardiolosuhteissa on 553,1 V ja tyhjäkäyntijännite 675 V. MPPT toiminta-alue on 300-750 V.

Hybridi-akkuvarmennettuja vaihtosuuntaaja/laturi kokonaisuuksia on merkittävästi vähemmän kuin perinteisiä suoraan verkkoon kytkettäviä vaihtosuuntaajia. Hybridi-vaihtosuuntaajan tehtävä akkupankin latauksen lisäksi, on sähkökatkon aikana paikallisen kiinteistöverkon ylläpito. Suuntaajan valinta tapahtui seuraavien valmistajien välillä: SMA, Schneider Electric, Fronius, Magnum Energy ja Selectronic. Kaikilla valmistajilla on näkemysensä verkkoon kytkettävästä akuilla varmennetusta järjestelmästä, jonka johdosta parhaan tuotteen valinta perustui hintaan, skaalautuvuuteen ja soveltavuuteen.

Kohteeseen ehkä parhaiten soveltuu 3 kappaletta yksivaiheista SMA Sunny Island 4.4M-invertteriä (2246 €/kpl <http://www.europe-solarstore.com/>). Kolme Sunny Island-vaihtosuuntaajaa voidaan yhdistää muodostamaan kolmivaihejärjestelmä. Kolmivaihejärjestelmä muodostetaan yhdistämällä Sunny Islandit tasavirtapuolelta rinnan. Yksi Sunny Island syöttää 4400 wattia 30 minuutin ajan, jatkuvasti 3300 W, lataa 63 A virralla ja moduuliin on mahdollista yhdistää 4600 wattia valosähkötehoa.

Lisävarusteisiin lukeutuu Sunny Island Remote Control for SI-3.0M 260 €, Measurement shunt for SI-3.0 mahdollistaa tarkan akkuvaraustasoseurannan (200A/60mV) 60 €, Sunny Island Battery Fuse Box (3 way) – 125 A 400 €, Battery/Inverter Breaker in enclosure (3 way) inc VT 690 €.

Esitetyt järjestelmät varmistavat sähkönsaannin verkkovian aikana, mutta painotetaan vielä, että kriittisten kojeistojen ajoja täytyy vuorotella.

6.4 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Aurinkosähkön tuotantokustannus muodostuu alkuinvestoinnista sekä käyttöiän aikaisista ylläpito- ja huoltokuluista. Auringon säteilyä sähköksi muuttavat paneelit ovat pitkäikäisiä 30 vuotta kestäviä komponentteja, joita ei tarvitse teknisesti huoltaa. Järjestelmän ylläpitokustannus muodostuu kerran 30 vuoden käyttöiän aikana vaihdettavista inverttereistä, akuista sekä huoltotarkastuksista. Omaan käyttöön tuotetun aurinkosähkön arvo on verrannollinen sähkön loppukuluttajahintoihin 12 – 18 snt/kWh, kun omalla tuotannolla vähennetään ostosähkön kulutusta. Mikäli investoinnilla haetaan taloudellista tuottoa, on tärkeää, että verkkoon syötettävän aurinkosähkön määrä jää mahdollisimman pieneksi. Mikäli oma tuotanto ylittää kulutuksen, verkkoon tuotetusta aurinkosähköstä sähköyhtiöt maksavat yleensä vain sähkön tukkuhinnan 4 – 5 snt/kWh vähentäen siitä usein tietyn marginaalin tai palvelumaksun. [Energiavirasto;Tilastokeskus;33.]

Aurinkosähkøjärjestelmän tuottaman sähköenergian hinta voidaan arvioida etukäteen koko järjestelmän eliniäksi. Kannattavuuden laskemiseksi pitäisi osata ennakoida ja arvioida vertailusähkön hinta koko aurinkosähkøjärjestelmän eliniäksi. Tarkastellaan ensin hieman, mistä tuo sähkön hinta muodostuu. Loppukuluttajahinta muodostuu kulutetusta sähköstä, johon lisätään arvonlisävero, ja sähkön siirtomaksusta johon lisätään sähkövero. Eli sähkön kokonaishintaan vaikuttavat monet osa-tekijät, jotka vaikeuttavat hintojen ennustettavuuteen. Esimerkiksi sähkön siirtohinnat ovat nousseet selvästi viimeisen viiden vuoden aikana, kun verotus on kiristynyt, mutta sähkön hinta on pysynyt ennätysellisen, jopa kannattamattoman alhaalla, mikä tarkoittaa, että lähitulevaisuudessa todennäköisesti tullaan näkemään sähkön hintojen korotuksia, jotka itsessään lisäävät hajautetun tuotannon vetovoimaa.

Kustannuksien ja investoinnin takaisinmaksuajan arvio tehdään työssään esiteltyjen järjestelmien ja tuotanto-odotuksien mukaan. Täytyy muistuttaa, että aurinkosähkömarkkinat ovat jatkuvassa muutoksessa, jolloin osien hinnat vaihtelevat eri myyjillä ja ajankohdasta riippuen, joten tarkkoja kustannuslaskelmia on vaikea toteuttaa. Laskelmat kuitenkin antavat hyvän suunnan lopullisesta kulurakenteesta ja helpottavat päätöksentekoa.

Aurinkovoimalan hankinnan taloudellista kannattavuutta arvioidaan samoilla tunnusluvuilla kuin minkä tahansa muunkin investoinnin kannattavuutta. Voimalan kannattavuutta arvioidaan käyttämällä takaisinmaksuaikaa. Taulukossa lasketaan yhteen eri järjestelmäkokonaisuuksien investointimenot nykytilanteessa, johon lisätään akkupanekin ja invertterin vaihtokustannukset. Järjestelmän takaisinmaksuaika lasketaan 30 vuodelle.

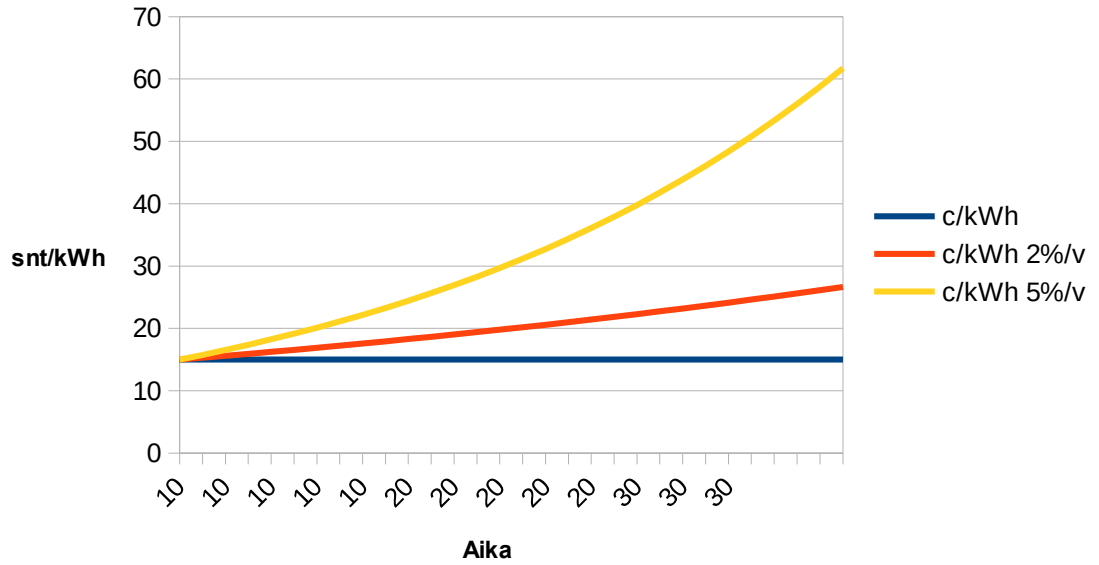
Taulukko 7. Järjestelmien kokonaiskustannukset.

Aurinkovoimala	Omavaraisuus 6 h hinta	Omavaraisuus 24 h hinta
DC-yhdistetty	24480 + 16120 €	43 290 + 34927 €
AC-yhdistetty	25 800 + 16300 €	
AC-yhdistetty	29 670 + 20 200 €	45 200 + 35 820 €
Rolls Solar akkupankki		
Ilman varastointi-järjestelmää	11500 + 2074 €	

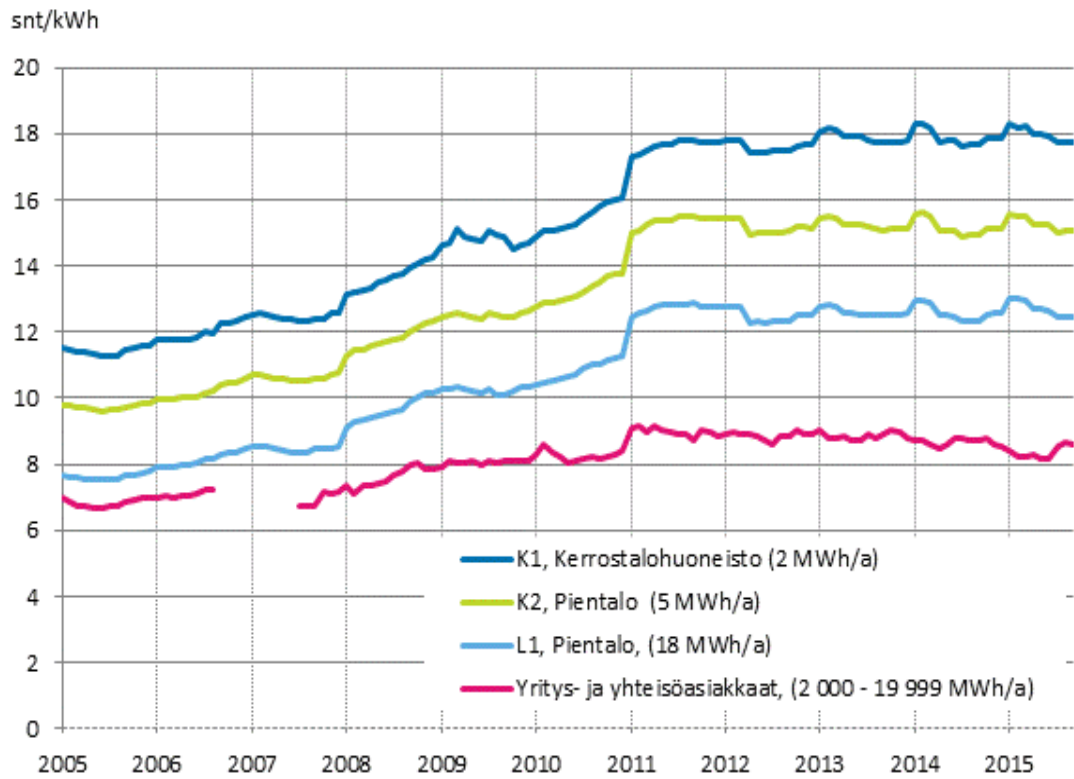
Hinnat eivät sisällä kiinnitys- ja asennustarvikkeita eikä asennustyötä.

Vuotuinen tuotto on laskettu loppukuluttajan sähkön hinnalla 15 snt/kWh (15,5 snt/kWh energiateollisuus ry). Takaisinmaksuaika on laskettu kolmella skenaariolla, jossa ensimmäisessä sähkön hinta pysyy samana, toisessa nousee kaksi prosenttia ja viimeisessä skenaariossa viiden prosentin verran vuodessa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana sähkön kokonaishinta on noussut noin 6 % vuodessa katso kuva 31 (Tilastokeskus). Tuotanto-odotukset on mallinnettu satunnaisluvuilla 7400 ja 8400 kWh väliltä. Ennusteena on, että aurinkosähkön oman käytön osuus maatalan sähköverkossa on 100 %.

Arvio ostosähkön hinnan muutoksesta %/vuosi



Kuva 30. Sähkön hinnan nousu seuraavan 30 vuoden aikana.



Kuva 31. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot.[33.]

Investoinnin takaisinmaksuaika lasketaan yhtälöllä

$$PP = \frac{C}{AAR}$$

missä C on investointikustannus

AAR on vuotuinen tuotto

Taulukko 8. Takaisinmaksuajat eri järjestelmille.

Aurinkovoimala	Omavaraisuus 6 h investointi	0% korotus	2% korotus	5% korotus	Omavaraisuus 24 h investointi	0 %	2 %	5 %
DC-yhdistetty	24 480 + 16 120 €	30 +	27 v	22 v	43 290 + 34 927 €	30 +	30 +	29 v
-25 % Tuki		27 v	22 v	18 v		30 +	30 +	27 v
AC-yhdistetty	25 800 + 16 300 €	30 +	28 v	22 v				
-25 % Tuki		28 v	22 v	19 v				
AC-yhdistetty Rolls Solar akkupankki	29 670 + 20 200 €	30 +	30 +	24 v	45 200 + 35 820 €	30 +	30 +	30 +
-25 % Tuki		30 +	25 v	20 v		30 +	30 +	26 v
Ilman varastointijärjestelmää	11 500 + 2074 €	12 v	11v	10 v				
-25 % Tuki		9 v	9 v	8 v				

Kuten taulukosta voidaan huomata, investoinnin kannattavuus erityisesti pidemmän aikaisen 24 tunnin omavaraisuuden lisäämiseksi varastointijärjestelmien korkeiden kustannuksien takia ole tällä hetkellä vielä taloudellisesti kannattavaa, paitsi jos hankkeelle myönnetään ely-keskuksen 25 %:n tuki. Takaisinmaksu aikaan ei ole otettu huomioon aurinkosähköjärjestelmien komponenttien hinnan jatkuvaa laskua, mikä todennäköisesti lyhentäisi takaisinmaksuaikaa.

Takaisinmaksuaikoja vertaamalla DC- puolelta yhdistetty aurinkosähköjärjestelmä vaikuttaa olevan marginaalisesti edullisempi kuin vaihtosähkö puolelta yhdistetty järjestelmä. Pienen hintaeron lisäksi DC- yhdistetty järjestelmä on yksinkertaisempi suunnittelun ja komponenttien osalta.

Yritysten ja yhteisöjen kannattaa hyödyntää työ- ja elinkeinoministeriön myöntävä energiatuki. Tuen suuruus aurinkosähköhankkeissa on vuonna 2016 25% investointikustannuksista. Energiatuen myöntäminen harkitaan aina tapauskohtaisesti ja tukea tulee hakea ennen hankkeen aloittamista.[työ- ja elinkeinoministeriö.]

7 Yhteenveto

Sähkön saatavuus ja tuotannon riittävyys kaikissa oloissa ovat nousseet läpi aikojen ihmisten huolenaiheeksi. Opinnäytetyössä selvitettiin, millaista on osittainen omavaraisuus ja miten maatilán sähköomavaraisuutta voidaan uusiutuvan energian tuella lisätä. Tilaajalle selvitettiin aurinkosähköjärjestelmán hankkimiseen ja asentamiseen liittyvät yksityiskohdat, sekä laskettiin potentiaalisten järjestelmien investointikustannukset ja energian tuotto-odotukset.

Aurinkosähkömarkkinat ja aurinkosähkötekniikka ovat viimeisen vuosikymmenen aikana olleet huimassa nousussa ja kehityksessä, ja aurinkosähköjärjestelmät ovat kehittyneet nykyiselle tasolle niiden kiistattomien hyötyjen ansiosta. Tunnettuja etuja ovat päästöttömyys, pitkä elinikä ja huoltovapaus sekä kilpailukykyinen hinta. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovatkin olleet jatkuvassa laskussa, jonka seurauksena aurinkosähköjärjestelmán hankinta on muuttunut puhtaasta ympäristöteosta myös taloudellisesti kannattavaksi investoinniksi.

Siirtyminen uusiutuvan energian tuotantoon tarkoittaa samalla omavaraisuuden lisääntymistä. Perinteisten verkkoon liitettyjen aurinkosähköjärjestelmien kanssa ei yleensä käytetä akkuja, jonka seurauksena sähköjakeluverkon vian aikana järjestelmä kytkeytyy pois käytöstä. Täysin omavaraisen järjestelmán toteuttaminen on mahdollista ja pienissä mittakaavoissa jopa kannattavaa, mutta suurien sähköliittymien kehittäminen omavaraisiksi yksistään aurinkosähköjärjestelmiä käyttämällä ei ole rationaalisesti järkevä, joten yhteys jakeluverkkoon ja verkkosähkön käyttöön ei sähköliittymissä katoa. Päinvastoin kriittisten tärkeiden kuormien varmistus sähkökatkoilta onnistuu aurinkosähköjärjestelmällä ja varastointijärjestelmällä teknistaloudellisesti varsinkin hyvin,

jolloin vältetään etenkin suurista taloudellisista menetyksistä. Investoinnin takaisinmaksuaika laskelman perusteella voidaan varmuudella todeta, että maatilalle kannattaa hankkia verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä, jonka lähitulevaisuudessa toivon mukaan voi laajentaa varastointijärjestelmällä. Lopuksi kysytään, kannattaako odottaa vielä muutama vuosi, jotta aurinkosähköjärjestelmän hinta olisi vielä edullisempi? Ei kannata. Mitään dramaattista hinnan alennusta ei ole odotettavissa, ja odottaminen johtaa vain menetettyihin fotoelektroneihin.

Lähteet

- 1 Energiateollisuus ”Hajautetun pientuotannon liittäminen verkkoon ohje”
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/pientuotanto>
- 2 Tuija Käyhkö artikkeli ”Sähköverkon saarekeosa toimii myös häiriötilanteissa”
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/b755bbdb4468faadc125773500357632.aspx>
- 3 Leena Koskenlaakso artikkeli "Aurinkosähköä älyverkkoon"
<http://www.tut.fi/rajapinta/artikkelit/2015/2/aurinkosahkoa-alyverkkoon>
- 4 Verkkojulkaisu ”Maatilan aurinkosähkö” kirjoittaja: energia-asiantuntija Janne Käpylehto
<http://www.ilmase.fi/site/tietopaketit/maatilan-aurinkosahko/>
- 5 Wikipedia
- 6 Teknillisen yliopiston SMG - 4450 Aurinkosähkö –kurssin luentomoniste. 74 s.
- 7 Aurinkoenergia ABC- opas 2010. Suntekno verkkodokumentti.
<http://www.suntekno.fi/fi/page/36>
- 8 <https://electronicsnews.com.au/>
- 9 Eric Wesoff ”Soitec, SunPower and Suncore: The Last CPV Vendors Standing” verkkojulkaisu
<http://www.greentechmedia.com/articles/read/Soitec-SunPower-and-Suncore-The-Last-CPV-Vendors-Standing>
- 10 Verkkojulkaisu ”Light Generated Current” <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/light-generated-current>
- 11 Sofia Virtanen Artikkelit ”Kiinalaiset saavuttivat halpojen aurinkokennojen hyötysuhdeennätyksen: 18,3 % ” <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2013-08-07/Kiinalaiset-saavuttivat-halpojen-aurinkokennojen-hy%C3%B6tysuhde-enn%C3%A4tyksen-183--3314756.html>
- 12 Aurinkoenergia dokumentti, Jorma Honkanen
- 13 Aurinkoenergiaselvitys Verkkoon kytketyt järjestelmät opinnäytetyö Antero Kuusisto
- 14 The Semperius "CPV Technology" verkkojulkaisu <http://semprius.com/the-semprius-difference/cpv-technology/>
- 15 Aurinko-opas 2008. Bruno Erat, Vesa Erkkilä, Timo Löfgren, Christen Nyman, Seppo Peltola, Hannu Suokivi. Kustantajat Sarmala Oy, Rakennusalan KustantajatRAK. Julkaistu 2008.
- 16 Dehn Verkkodokumentti “Lightning and surge protection for PV systems and solar power plants.
- 17 Solectria renewables verkkojulkaisu ”Protecting Electrical PV Systems from the Effects of Lightning”https://www.solectria.com//site/assets/files/1483/solectria_protecting_electrical_pv_systems_white_paper.pdf
- 18 Electronics news verkkojulkaisu ”Surge protection in PV systems”
<http://www.electronicsnews.com.au/technical-articles/surge-protection-in-pv-systems>
- 19 Information from DEHN Protection verkkojulkaisu ”Lightning and surge protection for rooftop

- PV systems” <http://www.ee.co.za/article/lightning-surge-protection-rooftop-pv-systems-2.html>
- 20 Leitai Electric verkkojulkaisu ”Photovoltaic Systems Surge Protection” http://surge-arrester.com/product_show.asp?id=69
 - 21 Eric Wesoff verkkojulkaisu ”Enphase Aims to Reduce Microinverter Cost by 50% in 2 Years” <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Enphase-Aims-to-Reduce-Microinverter-Cost-by-50-in-Two-Years>
 - 22 Uclia Wang verkkojulkaisu ”Small is better” http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/small-is-better-_100003032/329/#axzz3rMnUhxej
 - 23 David M. Lee Department of Technology and Environmental Design Appalachian State University tutkimus ”A side-by-side comparison of micro and central inverters in shaded and unshaded conditions” <https://alosun.files.wordpress.com/2013/11/micro-vs-central-inverters-shaded-vs-unshaded-dave-lee-raichle.pdf>
 - 24 Alternative Energy verkkojulkaisu "Micro Parallel Inverters” <http://www.altenergy.org/renewables/solar/Micro-Parallel-Inverters.html>
 - 25 SolarEdge ”Technical Note SolarEdge Fixed String Voltage, Concept of Operation” http://www.solaredge.us/files/pdfs/se_application_fixed_string_voltage.pdf
 - 26 Mathias Aarre Maehlum artikkeli ”Micro-Inverters vs. Central Inverters” <http://energyinformative.org/are-solar-micro-inverters-better-than-central-inverters/>
 - 27 Kathie Zipp verkkojulkaisu ”What Are The Advantages Of String Inverters In Solar?” <http://www.solarpowerworldonline.com/2013/04/what-are-the-advantages-of-string-inverters-in-solar/>
 - 28 Solutions Guide ”AC Coupling of Inverters: Forming an AC-Coupled system with Conext™ XW+/SW Inverter/Chargers and Conext CL/RL/TL/TX PV Inverters” <http://cdn.solar.schneider-electric.com/wp-content/uploads/2015/07/AC-Coupling-Solutions-Guide-976-0240-01-01-Rev-D.pdf>
 - 29 Raili Alanen, Tiina Koljonen, Sirpa Hukari & Pekka Saari ”Energian varastoinnin nykytila” Tutkimus VTT tiedotteita 2199 ”Energian varastoinnin nykytila” - Raili Alanen, Tiina Koljonen, Sirpa Hukari, Pekka Saari
 - 30 WEC Finland verkkojulkaisu ”TESLA Powerwall – Maailmaa pelastamassa?” <http://kaikenhuippu.com/2015/06/11/tesla-powerwall-maailmaa-pelastamassa/>
 - 31 Photovoltaics: Design and Installation Manual. Newsociety Publishers. 2004. p.80
 - 32 Reed Karaim verkkojulkaisu " Sizing up Tesla energy's Powerwall" <http://remagazine.coop/sizing-up-tesla-energys-powerwall/>
 - 33 Auvinen Karoliina ja Jalas Mikko, Aalto-yliopisto ”Aurinkosähkölaitteiden hintatasot ja kannattavuus” http://www.finsolar.net/?page_id=1363&lang=fi
 - 34 Michael Fuhs, Shamsiah Ali.Oettinger verkkojulkaisu ”Storage has landed” http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/storage-has-landed-_100009059/501/#axzz3y5bzuZqs
 - 35 Solar Cells and their Applications Second Edition, Lewis Fraas, Larry Partain, Wiley, 2010
 - 36 Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms
 - 37 Ilmatieteenlaitos
 - 38 <http://files.sma.de/dl/20472/Ersatzstrom-IS-en-32W.pdf> Installation - Quick Reference Guide

- 39 Tilastokeskus ”Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin”
http://www.stat.fi/til/ehi/2015/03/ehi_2015_03_2015-12-14_kuv_005_fi.html
- 40 J. Gray, Photovoltaics, Science and Engineering, kappale 3: The Physics of the Solar Cell, John Wiley & Sons, 2003.
- 41 Lännen Omavoima " Oma Mikrotuotanto" http://www.lannenomavoima.fi/tuotteet-ja-palvelut/tuotteet/kotitaloudet/fi_FI/oma_mikrotuotanto/
- 42 Celik, A.N. and Acikgoz, N. (2007), “Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and fiveparameter models,” Applied Energy, vol. 1, pp. 1–15.
- 43 Ukkossuojaus - Kurkoja Pauli
- 44 ST kortisto 53.21
- 45 ”Aurinkosähkön hyödyntäminen – Jukka Saarensilta

Liite 1. Karjatalousrakennuksen kojeet

koodi	tyyppikohde	vaik. alue	sijainti	teho kW	virta	sulake	kaapeli	suojaus	suojk/sijainti	tuurvakyt/leäidin/ohj./ko	hankinta	yhnt. käyttö
1	VP 76 tyhjöpumppu	maid.kulj	tekn.tila	2,2		3x16	5X1.5	1	a	1	3	u
2	maid.pumppu	maid.kulj	tekn.tila	0,55		3x10	5X1.5	1	a		3	u
3	5000 pesuautomaatti	pesu	maitohuone	15		3x25 + 1x10	5x6 + 3x1.5	3	b		3	u
4	pesuauhilatankki		maitohuone	1,1		3x10 + 1x10	5x1.5 + 3x1.5	3	b		3	u
5	tilatankki		maitohuone	2,2		3x18	5x2.5	3	b		3	u
6	vetoyksikkö/lanta		navatta	1,5		3x10	5X1.5	1	a	1	3	u
7	vetoyksikkö/lanta		navatta	1,5		3x10	5X1.5	1	a	1	3	u
8	vetoyksikkö/lanta		navatta	1,5		3x10	5X1.5	1	a	1	3	u
9	vetoyksikkö/lanta		navatta	1,5		3x10	5X1.5	1	a	1	3	u
10	lantakouru/puhallin		kouru/seinä	0,3		1x10	3x1.5	1	b	1	3	u
11	navatta/poistopuh.		navatta/katto	0,3		1x10	3x1.5	1	a	1	3	u
12	navatta/poistopuh.		navatta/katto	0,37		3x10	5X1.5	1	a	1	3	u
13.1	spiraalikuljetin		navatta	0,75		3x10	5X1.5	1	a	1	3	u
13.2	spiraalikuljetin		navatta	0,75		3x10	5X1.5	1	a	1	3	u
14	kujjetin		korsirohut	4		3x16	5x2.5	3	b	1	3	u
15	uoppopumppu		lypsyasema	1,2		3x10	5X1.5	1	a	1	2	u
16	maidon lämmöntalt.		maitohuone	0,35		1x10	3x1.5	1	a		3	u
17	kv.pump.verkosto	lämmitys	tekn.tila	0,03		3x10	4x1.5	1	a		2	u
18	kv.pump.lämminkv	lämmitys	tekn.tila	0,03		3x10	4x1.5	1	a		2	u
19	kv.pumppu	kalvovesi	kellari	1,2		3x10	4x1.5	1	b		2	v
20.1	kompr.pumppu	lämmitys	tekn.tila	6				3	b		2	u
20.2	kompr.pumppu	lämmitys	tekn.tila	6		3x25	5x6	3	b		2	u
21	toim.lattiat.	lämmitys	tekn.tila	0,03		1x10	3x1.5	1	a		2	u
22	h-imuri	ilmanvaihto	toimisto	0,06		1x10	3x1.5	1	a	1	2	u
23	pajan ilmanvaihto	ilmanvaihto	paja	0,4		3x10	5X1.5	1	a	1	2	v
24	siltanosturi	rehun.kuljetus	tuorerehu	2,2		3x18	5x2.5	3	b	2	2	v
25	sifakuljetin	rehun.kuljetus	tuorerehu	0,75				3	b	2	2	v
26	sifakuljetin	rehun.kuljetus	tuorerehu	0,75				3	b	2	2	v
27	kv.pumppu	järjivesi	ranta	2,2		3x10	4x1.5	1	b	2	2	v
28	lauhdutin	ajan.lämmityspaja		0,55		3x10	4x1.5	1	a		2	u
29	h-imuri	pajan ilmanv.	paja	0,05		1x10	3x1.5	1	a	1	2	u
Yht.												
teho 53,12												
virta												
hankinta 25,3 kW												
kos o = 0,762,5322 A												
kos o = 0,9837,52373 A												
Kompensoimaton virta												
Q 20,748 kvar												

SÄHKÖURAKOITSIJA

RAKENTAJA

LAITTOIMITUS

hankinta u = uusi laite

a = keskus v = vanha laite

v = vanha laite

HANKINTA:

1 = SU

2 = RU

3 = ALFA-LAVAL

a = keskus

b = laitteessa

kompensoinnin tarve

Q = P * f

P = moottorien teho

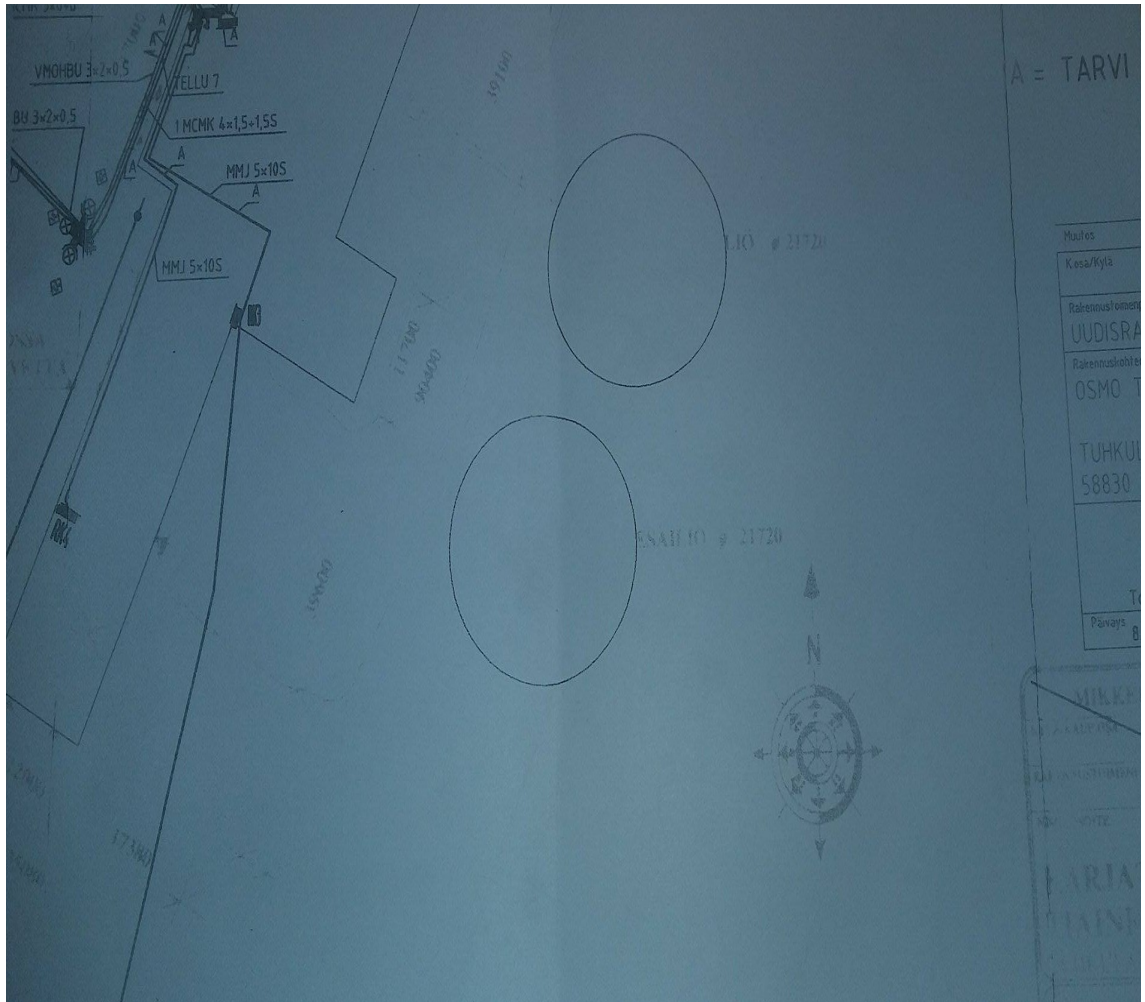
f = (cos o 0,7 - cos o

0,98) = 0,82

Liite 2. Maatilan ilmakekuva



Liite 3. Maatilan asemapiirros



Liite 4. Maatilan asemapiirros



Liite 5. Sunny Island akku varmennetun invertterin tekniset tiedot

10.2 AC2 Connection for Utility Grid and Generator (External Energy Source)

	Sunny Island 3.0M	Sunny Island 4.4M	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Maximum power in an off-grid system	11,500 W	11,500 W	11,500 W	11,500 W
Rated voltage	230 V	230 V	230 V	230 V
Voltage range	172.5 V to 264.5 V	172.5 V to 264.5 V	172.5 V to 264.5 V	172.5 V to 264.5 V
Rated frequency	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Permitted frequency range	40 Hz to 70 Hz	40 Hz to 70 Hz	40 Hz to 70 Hz	40 Hz to 70 Hz
Maximum current in off-grid systems	50 A	50 A	50 A	50 A
Maximum current in systems for increased self-consumption with one Sunny Island in Germany	10.0 A	14.3 A	20.0 A	20.0 A
Maximum power in systems for increased self-consumption with one Sunny Island in Germany	2,300 W	3,300 W	4,600 W	4,600 W
Maximum inrush current for 10 ms	±3 A	±3 A	±1.5 A	±1.5 A
Maximum connectable power of the PV inverters in battery-backup systems	4,600 W	4,600 W	9,200 W	12,000 W
Recommended conductor cross-section	10 mm ²	10 mm ²	10 mm ²	10 mm ²
Maximum connectable conductor cross-section	16 mm ²	16 mm ²	16 mm ²	16 mm ²
Cable diameter	9 mm to 18 mm	9 mm to 18 mm	9 mm to 18 mm	9 mm to 18 mm
Connection	Lever terminal	Lever terminal	Lever terminal	Lever terminal
Maximum back-up fuse	50 A	50 A	50 A	50 A

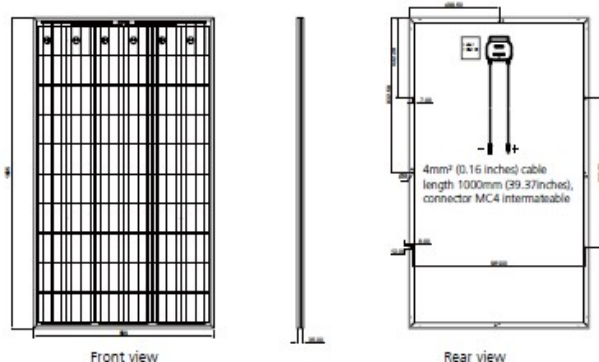
10.3 DC Connection for Battery

	Sunny Island 3.0M	Sunny Island 4.4M	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Rated input voltage	48 V	48 V	48 V	48 V
Voltage range	41 V to 63 V	41 V to 63 V	41 V to 63 V	41 V to 63 V
Rated charging current	45 A	63 A	90 A	115 A
Rated discharging current	51 A	75 A	103 A	136 A
Maximum battery charging current	51 A	75 A	110 A	140 A
Battery type	Lead-acid battery: FLA, VRLA lithium-ion battery	Lead-acid battery: FLA, VRLA lithium-ion battery	Lead-acid battery: FLA, VRLA lithium-ion battery	Lead-acid battery: FLA, VRLA lithium-ion battery
Battery capacity range of lead-acid	100 Ah to	100 Ah to	100 Ah to	100 Ah to

Liite 6. ABB Power- One verkkoinvertterin tekniset tiedot

Technical Data	
PV Inverter	ABB Power-One Aurora PVI-10.0-TL-OUTD (S/FS)
Number of Independent MPPT	2
AC Rated Power	10.000 W
AC System Voltage	400V
DC Maximum Input Voltage	900V (Absolute Maximum)
DC Start-Up Input Voltage	360V (adjustable range 250-500V)
DC Operating Input Voltage	0.7 x V (start) up to 850V
DC Rated Input Power	10.300 W
DC Maximum Input Power	6.500 W (each MPPT)
DC Input Voltage Range	300-750V (each MPPT)
DC Maximum Input Current	36A (17A each MPPT)
DC Max Input Isc	22A (each MPPT)
AC Grid Connection Type	Three Phases
AC Rated Power	10.000 W
AC Maximum Output Power	11.000 W
AC Rated Grid Voltage	400V
AC Voltage Range	320-480V (depending on country grid standard)
AC Rated Output Frequency	50 Hz (adjustable range 47-53 Hz)
AC Maximum Output Current	16.6A
AC Maximum Overcurrent Protection	19A
Maximum Efficiency (η_{max})	97.8%
Weighted Efficiency (EURO)	97.1%
Stand-by Consumption	<10W
User Interface	Graphic LCD Display
Relative Humidity	0-100% condensing
Max Operating Altitude	2000m / 6560ft (above this level derating)
Protection Class	IP65 (Outdoor)
Isolation Level	Transformerless
Cooling	Natural
Dimensions	716x645x222mm, 41 kg
Warranty	5 Years (Extendable)

Liite 7. Winaico monikideaurinkopaneelin tekniset tiedot



Mechanical data

Cell	Polycrystalline 156 x 156 silicon cells
Quantity and wiring of cells	60 in series
Dimensions	1,665 x 999 x 35 mm (65.55 x 39.33 x 1.38 inches)
Weight	19.7 kg
Glass thickness	3.2 mm (0.13 inches)
Connector type	MC4 intermateable (IP 65)

Limit values

Operating temperature	-40 to +85°C
Storage temperature	-40 to +85°C
Maximum system voltage	1,000 VDC
Maximum load	5,400 Nm ²
Maximum reverse current	Voltages higher than V _{oc} of the module should not be applied
Maximum series fuse rating	15 A

Electrical data (STC)	WST-250P6	WST-255P6	WST-260P6	
Module type	poly	poly	poly	
Nominal performance P _{max}	250	255	260	Wp
No-load voltage V _{oc}	37.52	37.72	37.92	V
Short circuit current I _{sc}	8.53	8.60	8.67	A
Voltage at max. performance V _{MPP}	30.73	30.99	31.25	V
Current at max. performance I _{MPP}	8.15	8.24	8.33	A
Module efficiency	15.06	15.35	15.65	%
Temperature coefficient performance P _{MPP}	-0.43	-0.43	-0.43	%/°C
Temperature coefficient short circuit current I _{sc}	0.06	0.06	0.06	%/°C
Temperature coefficient no-load voltage V _{oc}	-0.33	-0.33	-0.33	%/°C

Reduction in the module efficiency rating from 1,000 W/m² to 200 W/m²: < 4%. The electrical data applies under standard test conditions (STC): Solar radiation 1,000 W/m² with light spectrum AM 1.5 with a cell temperature of 25 °C. Measurement tolerance of P_{MPP} under STC -3/+3%. Accuracy of other electrical data -10/+10%. Subject to specification changes.

Electrical data (NOCT)	WST-250P6	WST-255P6	WST-260P6	
Nominal performance P _{max}	183.22	187.32	190.14	Wp
No-load voltage V _{oc}	34.14	34.27	34.4	V
Short circuit current I _{sc}	7.05	7.11	7.17	A
Voltage at max. performance V _{MPP}	27.76	28.00	28.21	V
Current at max. performance I _{MPP}	6.6	6.69	6.74	A
Module efficiency	11.02	11.26	11.43	%

The electrical data applies under standard operating conditions of the cells: 800 W/m², 20 °C, AM 1.5, wind speed 1m/s. NOCT: 44.7°C (normal operating cell temperature). Subject to specification changes.



WINAICO is a trademark of Win Win Precision Technology Co., Ltd.

No. 96, 3F, Hsinho Road · Sinfong Township, Hsinchu County 304 · Taiwan R.O.C.
Tel + 886 3 568 8699 · Fax + 886 3 568 8580 · www.wvpt.com.tw · www.winaico.com

No guarantee is offered as to the accuracy of the information given. We reserve the right to make technical changes. The data do not refer to a single module and they are not part of the offer. 059.40gentur-bomborg.de