



VERKKOON KYTKETTY AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö

Pasi Kvik

Tietotekniikan koulutusohjelma

Hyväksytty: _____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU, VARKAUDEN YKSIKKÖ		
Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma		
Tekijä Pasi Kvick		
Työn nimi Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä		
Työn laji	Päiväys	Sivumäärä
Insinöörityö	02.06.2010	56 + 8
Työn valvoja	Yrityksen yhdyshenkilö	Yritys
Jorma Honkanen	Risto Niemi	Savonia-amk
<p>Tiivistelmä</p> <p>Aurinkosähkön kohteita tähän asti ovat olleet lähinnä kesämökit, asuntoautot ja -vaunut, veneet sekä syrjäiset paikat, joihin ei ole järkevää tuoda sähköverkkoa. Tänä päivänä aurinkosähkön hyödyntäminen asuinrakennuksien sähköverkkoon on yleistynyt nopeasti.</p> <p>Tämä insinöörityö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden yksikössä. Tämän työn tavoitteena on korvata vanha aurinkosähköjärjestelmä uudella oppilaitoksen sähköverkkoon kytkettävällä järjestelmällä, jolla voidaan tutkia ja vertailla eri olosuhteissa aurinkopaneelien tuottamaa aurinkoenergiaa. Järjestelmän avulla on tarkoitus tuottaa aurinkosähköä joko lataussäätimellä akkuihin tai invertterin kautta oppilaitoksen sähköverkkoon.</p> <p>Ammattikorkeakoulun järjestelmä rakennettiin sellaiseksi, että sillä voidaan syöttää sähköenergia rinnankytketyillä aurinkopaneeleilla akkuihin tai sarjaan kytketyillä aurinkopaneeleilla oppilaitoksen sähköverkkoon. Järjestelmän rakenne koostuu neljästä 85 W aurinkopaneelistä, jotka ovat pareittain eri valmistajilta. Aurinkopaneeleja voidaan tarvittaessa kääntää vaakasuunnassa moottorin avulla sekä työkalulla pystyasennossa, jolloin saadaan optimikulma parhaan tuoton saavuttamiseksi. Järjestelmällä tuotetun sähköenergian tämän hetkinen keskiarvo on ollut 22 kWh kuukaudessa ja vuodessa noin 265 kWh.</p> <p>Työssä käydään läpi myös aurinkoenergiajärjestelmiä ja niitä koskevia asennusvaatimuksia sekä Savonia-ammattikorkeakoulun aurinkosähköjärjestelmän rakenne ja toimintaperiaate. Työn lopussa esitellään erilaisia testaus- ja mittaustuloksia sekä järjestelmän soveltuvuudesta eri paneelien vertailuun ja testaamiseen.</p>		
Avainsanat Aurinkopaneeli, invertteri, lataussäädin, akku		
Luottamuksellisuus		

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, BUSINESS AND ENGINEERING, VARKAUS		
Degree Programme Information technology		
Author Pasi Kvick		
Title of Project A Grid-Connected Photovoltaic System		
Type of Project	Date	Pages
Final Project	02.06.2010	56 + 8
Academic Supervisor	Company Supervisor	Company
Jorma Honkanen	Risto Niemi	SUAS
Abstract		
<p>Photovoltaic systems have hitherto been used mainly in summer houses, campers and wagons, boats and remote places, which cannot be connected into an electric network. Nowadays, the application of grid connected photovoltaic systems of houses has increased rapidly.</p> <p>This thesis was made at Savonia University of Applied Sciences. The aim of this study was to replace the old system with a new grid-connected photovoltaic system that is connected into the school's electric network, which makes it possible to examine and compare solar energy produced in different circumstances. The purpose of the system was to produce solar energy either by using a charge controller with a battery or an inverter connected in to the local network.</p> <p>The photovoltaic system of Savonia University of Applied Sciences was built so that one can feed the solar power either with parallel solar panels into the storage battery or with serial panels into the local network. The system consists of four 85 W solar panels that are made in pairs by two different manufacturers. The solar panels can be turned horizontally by a motor and manually in the vertical direction to achieve the optimum production of energy. The energy produced by the system so far was on the average 22 kWh per month and 265 kWh per year.</p> <p>Different kind of solar energy systems and installation requirements are presented in this study. Also the structure and working principle of the installed solar energy system of Savonia University of Applied Sciences is described. At the end of the study a variety of testing and measurement results is presented, as well as the usability of the system in comparison and testing of various panels.</p>		
Keywords		
Solar panel, inverter, charge controller, battery		
Confidentiality		

Käsitteet, määritelmät ja lyhenteet (myös englanniksi)

Akkukapasiteetti, *battery capacity*

Maksimaalinen sähköinen varaus (Ah ampeeritunteja), jonka akku pystyy toimittamaan tiettyyn kuormaan tietyissä olosuhteissa.

Aktiivinen järjestelmä, *active system*

Auringon säteilyenergiaa erityisten laitteiden avulla talteen ottava järjestelmä.

Amorfinen pii, *amorphous Si*

Piin ja vedyn seos, jossa on epämääräinen atomien järjestys.

Auringonpaistetunti, *sunshine hours*

Auringonpaistetunti kertoo, montako tuntia esimerkiksi vuorokaudessa, kuukaudessa tai vuodessa aurinko on paistanut.

Auringonsäteily, *solar radiation* (insolation)

Auringosta tuleva säteily, sekä suora säteily että hajasäteily.

Auringon säteilyenergia (aurinkoenergia), *solar radiant energy*

Auringon säteilymuodossa lähettämä energia.

Aurinkoenergia, *solar energy*

Auringon lähettämä elektromagneettinen säteily.

Aurinkokenno, *photovoltaic cell*

Prosessoitu piikiekkko, joka muuttaa auringonsäteilyn suoraan sähköenergiaksi.

Aurinkosäteily, *insolation*

Maan pintaan osuva aurinkoenergiamäärä aikayksikköä kohti.

Aurinkovakio, *solar constant*

Auringonsäteilyn energiatiheys, joka kohdistuu maapallon ilmakehän uloimmalla rajalla olevaan kuviteltuun, auringonsäteilyä vastaan kohtisuorassa olevaan pintaan silloin, kun maapallo on keskietäisyydellä auringosta. (E_0 1 353 W/m²)

Estodiodi, *blocking diode*

Paneeliston ja akuston väliin sijoitettu diodi, joka estää akuston mahdollisen purkautumisen yöllä paneeliston kautta.

Hajasäteily, *diffuse solar radiation*

Kokonaissäteily, josta on vähennetty (kirkkaalla ilmalla) suora auringonsäteily.

Heijastuminen, *reflection*

Kappaleen pinnan takaisin heijastama säteilyenergia.

Heijastunut säteily, *reflected radiation*

Pinnan vastaanottama säteily vähennettynä absorboituneella osuudella.

Huipputeho W_p , *peak watt*

Aurinkokennon huipputeho standardiolosuhteissa. 1 W_p antaa tehoa 1 W, kun aurinkosäteily on 1 000 W/m² ja kennon lämpötila 25 °C.

Hyötysuhde (aurinkosähköpaneeli), *efficiency of solar module*

Kide, *crystal*

Atomien järjestetty rakenne.

Korkeuskulma (auringon), *solar altitude angle*

Auringon keskipisteen kautta kulkevan suoran ja horisontilla olevan annetun pisteen välinen kulma pystytasossa. Auringon keskipisteen kautta kulkevan pystytason ja horisontin leikkauskohdan avulla voidaan määrittellä annettu piste.

Maksimitehopiste, *maximum power point (MPP)*

Paneelin virran ja jännitteen arvot, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho kulloisissakin käyttöolosuhteissa.

Monikiteinen, *polycrystalline*

Materiaali, jonka kiderakenne koostuu erisuuntaisista kiteistä.

Nimellisteho, *nominal power*

Paneelin teho testiolosuhteissa, ilmoitetaan yleensä ns. huipputehona (Wp).

Ohutkalvo, *thin film*

Muutaman mikrometrin paksuinen puolijohdekerros, joka toimii aurinkosähköpaneelina.

Paneeli, *module*

Aurinkokennoista koostuva yksikkö, joka on ympäristöltä suojattu ja tuottaa tasavirtaa.

Paneelisto, *photovoltaic array*

Yhteen kytkettyjä aurinkopaneeleita, jotka muodostavat paneeliston.

PV

Englanninkielinen lyhenne sanasta photovoltaic, tarkoittaa lähinnä aurinkosähköä.

Rinnakkaiskytkentä (sähkö), *parallel connection*

Vähintään kahden aurinkosähköpaneelin kytkentä niin, että samanmerkkiset (+/-) päät kytketään yhteen. Jännite on sama kuin yhden moduulin jännite.

Sarjakytkentä (sähkö), *serial connection*

Vähintään kahden aurinkosähköpaneelin kytkentä niin, että erimerkkiset navat liitetään yhteen. Kytkennän jännite on paneelien yhteenlaskettu jännite.

Syväpurkaus, *deep discharge*

Akun purkaus vähintään 30 % maksimitasosta.

Teho, *power*

Aurinkosähköpaneelin tuottama teho (P) saadaan kertomalla sen virta (I , ampeeria) ja jännite (V , voltia) keskenään ja $P = UI$.

Tulokulma, *angle of incidence*

Suoran säteilyn ja aktiivisen pinnan normaalin välinen kulma.

Tyhjäkäyntijännite, *open circuit voltage*

Aurinkosähköpaneelin jännite, kun kuorma ei ole kytketty.

Vaihtosuuntaaja, Invertteri, *inverter*

Tasasähkövirtaa vaihtosähkövirraksi muuntava laite.

Verkkoon kytketty, *grid-connected*

Verkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä aurinkosähköpaneelit tuottavat energiaa verkkoon. [1]

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	7
2. AURINKOENERGIA.....	8
2.1 Auringon kierto ja korkeus taivaalla.....	8
2.2 Auringon säteilyenergia	10
2.3 Ilmakehän vaikutus auringon säteilyyn.....	12
2.4 Auringonpaiste Suomessa.....	14
2.5 Auringon säteilyenergia Suomessa	16
3. AURINKOPANEELIN TOIMINTAPERIAATE.....	19
3.1 Yksikerrospaneeelit	19
3.2 Moniliitoskennot	21
3.3 Aurinkopaneelien teho ja energia.....	22
3.4 Lämpötilan vaikutus paneelien tehontuottoon	24
3.5 Suuntauksen vaikutus paneelien tehontuottoon	26
3.6 Siirtojohtimien aiheuttamat tehohäviöt.....	28
4. AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	30
4.1 Akkujärjestelmät	31
4.2 Akut.....	33
4.3 Verkkoinvertterijärjestelmät	35
5. AURINKOSÄHKÖASENNUKSET	38
5.1 Sähköasennuksen toteuttaminen	38
5.2 Pienjännitedirektiivi	38
5.3 Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon	39
6. SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULUN AURINKOSÄHKÖ-JÄRJESTELMÄ	41
7. AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN TESTAUS	46
7.1 Sähköverkkoon kytketyn järjestelmän testaustuloksia.....	46
7.2 Akkujärjestelmän testaustuloksia.....	52
8. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	56
LÄHTEET.....	57

1. JOHDANTO

Aurinkoenergia on auringon säteilyn hyödyntämistä energiantuotantoon.

Aurinkoenergia voidaan jakaa esimerkiksi aurinkolämpöön ja aurinkosähköön, sen mukaan muunnetaanko säteily sähkö- vai lämpöenergiaksi. Aurinkoenergia voidaan laskea uusiutuvaksi energiaksi. Aurinkoenergian tuotannosta syntyvät päästöt ja jätteet liittyvät järjestelmän laitteiden valmistukseen ja kierrätykseen, itse tuotanto on ympäristön kannalta puhdasta.

Kesämökkien, asuntovaunujen, veneiden ja autojen ilmastointilaitteiden käyttövoiman tuottajana aurinkosähköjärjestelmät ovat yleisiä. Syrjäiset kohteet, kuten majakat tai tukiasemat, on järkevintä sähköistää aurinkoenergialla tai hybridijärjestelmällä.

Aurinkokennoja käytetään myös maata kiertävissä satelliiteissa, avaruusluotaimissa, kannettavissa laitteissa kuten taskulaskimet ja rannekellot ja sähköverkon ulottumattomissa olevilla alueilla esimerkiksi valaistukseen ja veden pumppaukseen.

Aurinkosähkön käyttö maailmassa on viime vuosina lisääntynyt voimakkaasti. Lähes koko kasvu on tapahtunut sähköverkkoon kytketyissä järjestelmissä, joiden kasvu on 2000-luvulla ollut keskimäärin 45 % vuodessa, kun hajautettujen järjestelmien keskimääräinen kasvu on ollut vain noin 14 % vuodessa. Aurinkosähkön tuotantoalan liikevaihdon määrä on noin 10 miljardia euroa. Euroopassa aurinkosähkö työllisti noin 70 000 ihmistä vuonna 2007. Vuonna 2008 95 % aurinkokennoilla tuotetusta sähköstä liitettiin sähköverkkoon.

Savonia-ammattikorkeakoulussa on ollut vuodesta 2001 alkaen pienten aurinkopaneelien testausjärjestelmä, jossa paneelien teho on syötetty akkuihin. Tämän työn tavoitteena on korvata vanha järjestelmä uudella oppilaitoksen sähköverkkoon kytkettävällä järjestelmällä, joka voidaan tarvittaessa kytkeä myös säätimen kautta akkuihin.

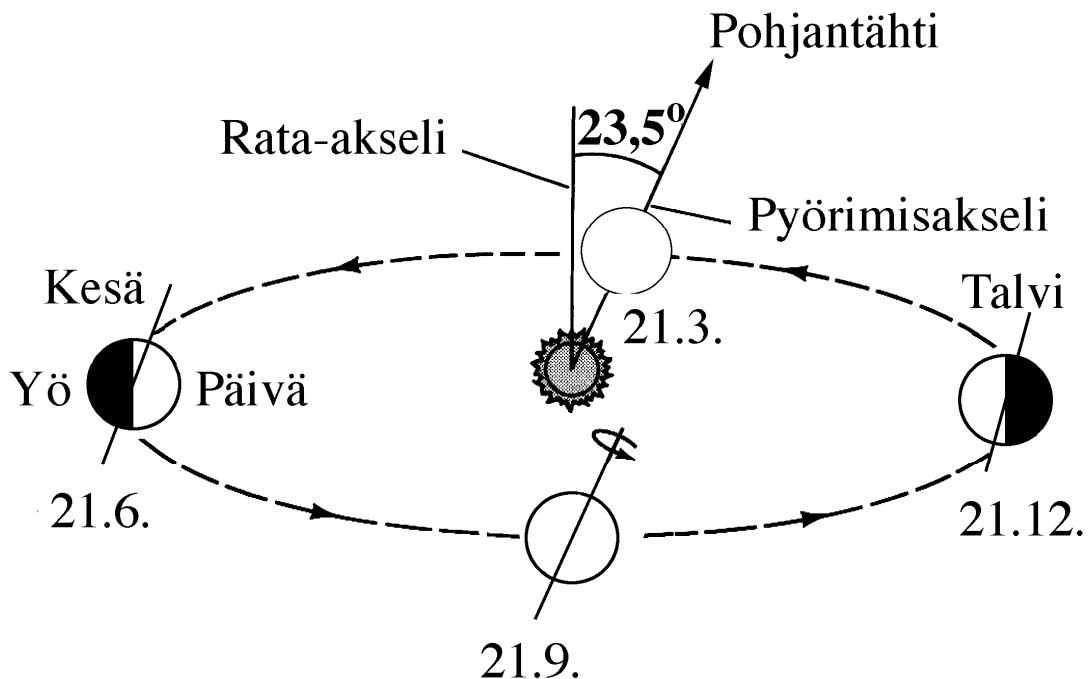
Tämän työn alussa on kerrottu aurinkoenergiasta, aurinkopaneeleista ja aurinkoenergiajärjestelmistä ja niiden asennusvaatimuksista. Tämän jälkeen on käyty läpi Savonia-ammattikorkeakoulun aurinkopaneelijärjestelmän rakenne ja toimintaperiaate. Työn lopussa esitellään järjestelmällä tehtyjä testaustuloksia.

2. AURINKOENERGIA

2.1 Auringon kierto ja korkeus taivaalla

Maapallo kiertää aurinkoa hieman ellipsin muotoista rataa pitkin, jonka toisessa polttopisteessä aurinko sijaitsee. Maapallo on lähinnä aurinkoa tammikuussa ja kauimpana auringosta kesäkuussa. Maapallon pyörimisakseli on kallistunut $23,5^\circ$, mikä aiheuttaa vuodenaikojen vaihtelut. Kallistuman vuoksi pohjoinen pallonpuolisko saa vähemmän auringonpaistetta vuoden vaihteessa, jolloin eteläisellä pallonpuoliskolla on kesä.

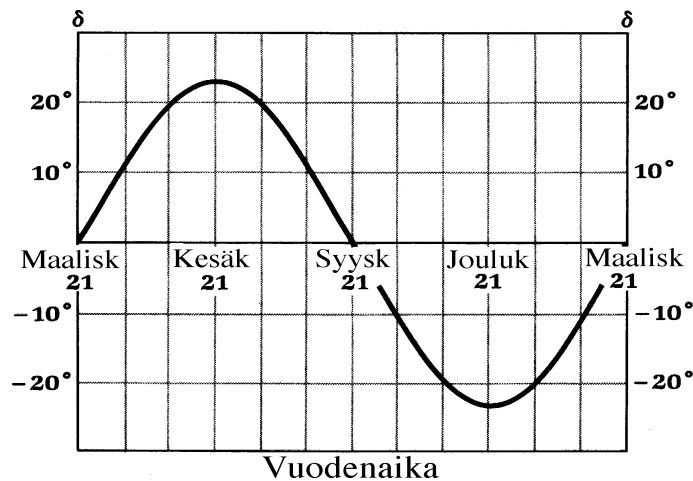
Ilmakehän yläosiin saapuu auringonsäteilyä keskimäärin 1368 W/m^2 . Tätä sanotaan aurinkovakioksi. Maan radan soikeudesta johtuen säteilyn määrä vaihtelee jonkin verran eri vuodenaikoina. Suurimmillaan säteily on tammikuussa noin 1410 W/m^2 ja pienimmillään kesäkuussa noin 1320 W/m^2 eli vaihtelu keskiarvosta on noin 3,3 %. Auringon säteilyn määrään vaikuttaa myös auringon aktiivisuus. Aurinko on aktiivisimmillaan, kun auringonpilkkujen määrä on suuri. Niiden määrä vaihtelee noin 11 vuoden jaksoissa. Ilmakehän heijastavasta ja absorboivasta vaikutuksesta johtuen suurin säteily määrä maan pinnalla on kirkkaalla säällä korkeintaan $800 - 1000 \text{ W/m}^2$ eli noin 60 % aurinkovakiosta. [2]



Kuva 1. Maapallon kierto auringon ympäri. [2]

Kun maapallo kiertää aurinkoa ja samalla pyörii kallistuneen akselinsa ympäri, vaihtelee auringon korkeus taivaalla eri vuodenaikoina. Aurinko ei kulje pitkin päiväntasaajaa, vaan on välillä sen ylä ja välillä sen alapuolella. Auringon

korkeuskulmaa maapallon päiväntasaajan tasoon nähden sanotaan auringon deklinaatioksi. Kevätpäivän tasauksena 21.3. aurinko on päiväntasaajalla ja deklinaatio on 0° . Kesäpäivän seisahduksen aikana 21.6. deklinaatio on $+23,5^\circ$ ja aurinko on Kravun käänköpiirillä. Syyspäivän tasauksena 21.9. deklinaatio on jälleen 0° ja talvipäivän seisahduksen aikaan aurinko on Kauriin käänköpiirillä ja deklinaatio on $-23,5^\circ$. [2]



Kuva 2. Auringon deklinaation vaihtelu vuodenaikojen mukaan. [2]

Auringon deklinaatio voidaan laskea yhtälöstä

$$\delta = \sin \omega t,$$

missä ω auringon kulmanopeus radalla ja t aika laskettuna kevätpäivän tasauksesta 21.3.

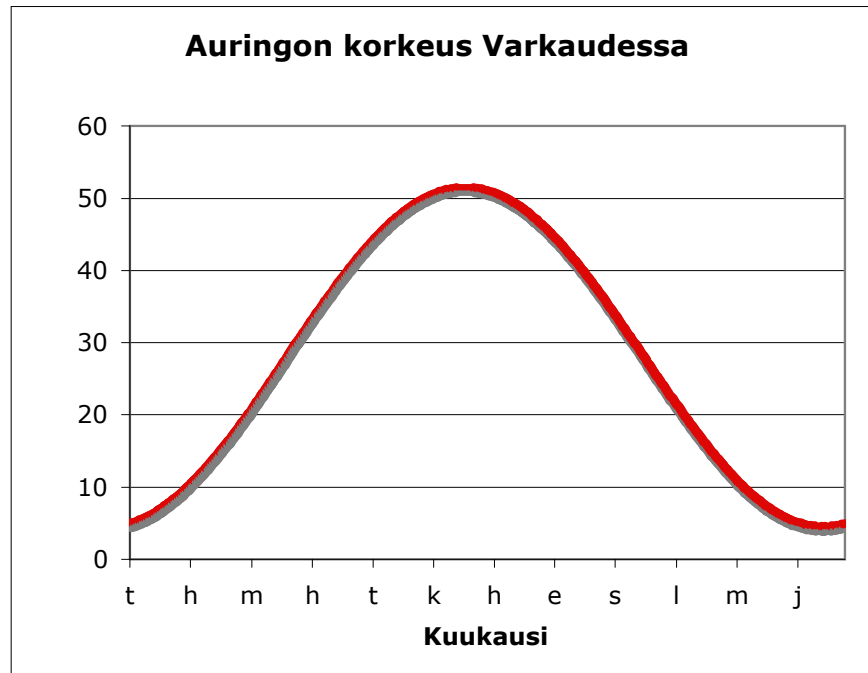
Maapallo kiertää radallaan auringon ympäri 360° vuodessa eli yhdessä päivässä kiertymä on $365^\circ/365 \text{ pv} = 0,986^\circ \approx 1^\circ$. Kulmanopeus on nyt helpointa ilmoittaa muodossa

$$\omega = 0,986^\circ/\text{pv}.$$

Auringon korkeus horisontista keskipäivän aikaan saadaan nyt laskettua tietylle leveyspiirille ϕ yhtälöstä

$$\alpha_{\max} = 90^\circ + \delta - \phi.$$

Kuvassa 3 on esitetty auringon maksimikorkeus Varkaudessa (leveyspiirillä 62°) eri vuodenaikoina. Korkeimmillaan aurinko on kesäkuussa, jolloin se käy keskipäivällä hieman yli 50° korkeudessa. Matalimmillaan aurinko on joulukuussa, jolloin sen korkeuskulma keskipäivällä on alle 5° . [2]



Kuva 3. Auringon maksimikorkeus Varkaudessa ($\phi = 62^\circ$) eri kuukausina. [2]

2.2 Auringon säteilyenergia

Auringon säteilyn voimakkuus tietyllä paikkakunnalla voidaan laskea yhtälöstä

$$I = S \sin \alpha$$

missä $S \approx 1000 \text{ W/m}^2$ on auringon säteilyn voimakkuus maan pinnalla silloin, kun aurinko on suoraan yläpuolella. Auringon korkeuskulma α riippuu paikkakunnan leveyspiiristä ϕ , auringon deklinaatiosta δ ja kellonajasta (tuntikulmasta h).

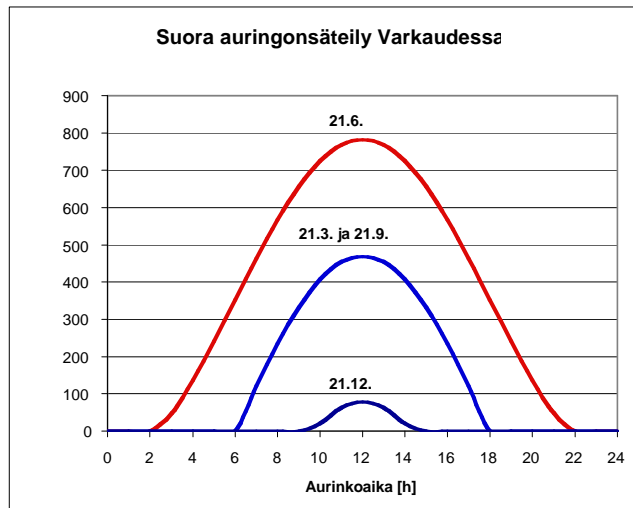
Korkeuskulma α voidaan laskea yhtälöstä

$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos h.$$

Koska maapallo pyörii kerran vuorokaudessa akselinsa ympäri, maapallo kiertyy tunnissa $360^\circ/24 = 15^\circ$. Tuntikulma saadaan siten laskettua yhtälöstä

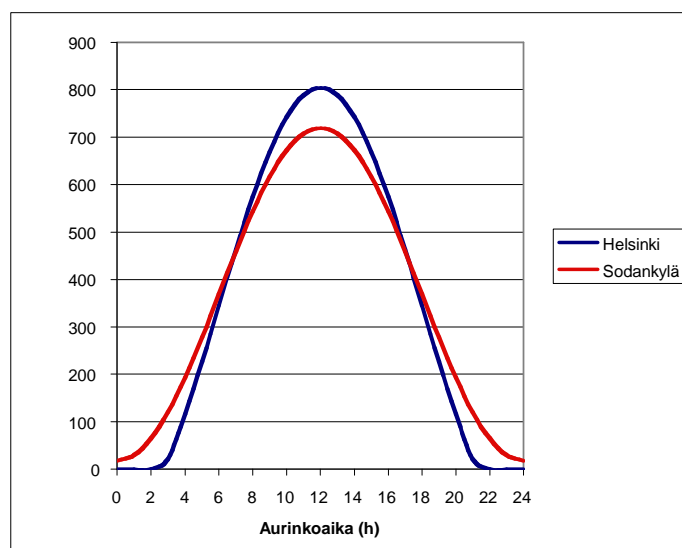
$$h = 15^\circ \cdot (\text{Aurinkoaika} - 12).$$

Kesäajan vuoksi aurinko on kesällä etelässä noin klo 13. Sen vuoksi aurinkoaika on tunteja vähemmän kuin kellonaika. [2]



Kuva 4. Suoran auringonsäteilyn laskettu voimakkuus Varkaudessa tasauspäivien aikana. [2]

Kuvassa 4 on esitetty suoran auringonsäteilyn laskettu voimakkuus Varkaudessa. Suurimmillaan säteily on kesäpäivän tasauksen aikana, jolloin säteilyä voi kirkaana päivänä olla klo 8 ja klo 16 välisenä aikana 550-780 W/m². Kevät- ja syyspäiväntasauksen aikaan säteilyä on keskipäivälläkin alle 500 W/m² ja talvipäivän seisahduksen aikaan korkeintaan 80 W/m². Edellä olevien vuorokausien yhteenlasketut säteilyenergiat ovat 8,7 kWh/m² (21.6.), 3,6 kWh/m² (21.3. ja 21.9) ja 0,2 kWh /m² (21.12.). Näissä laskelmissa ei ole huomioitu pilvisyyttä ja muita säteilyn heikkenemiseen vaikuttavia tekijöitä. [2]



Kuva 5. Lasketut auringon säteilyn voimakkuudet Helsingissä (60°) ja Sodankylässä (67,5°) 21.6. [2]

Kuvassa 5 on auringon säteilyn laskettu voimakkuus kesäpäivän tasauksena (21.6.) Helsingissä ja Sodankylässä. Koska Sodankylässä aurinko ei laske ollenkaan, on auringon säteilyn määrä suurempi ennen klo 7:ä (aurinkoaika klo 6) ja klo 19:a jälkeen,

mutta keskipäivällä Helsingissä voi säteilyn määrä kirkaalla ilmalla olla noin 800 W/m², kun se Sodankylässä voi enimmillään olla hieman yli 700 W/m². Kokonais-säteilyenergia kesäpäivän tasauksena on kuitenkin likimain yhtä suuri eli 8,8 kWh molemmilla paikkakunnilla. [2]

2.3 Ilmakehän vaikutus auringon säteilyyn

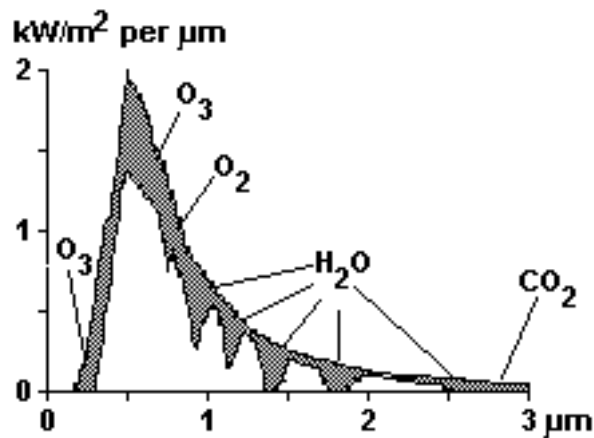
Ilmakehässä olevat kaasut absorboivat auringonsäteilyä ja pienentävät maanpinnalle tulevan säteilyn määrää. Tulevan säteilyn voimakkuus ilmakehän yläosassa on 1368 W/m² ja maanpinnalle tästä pääsee vain noin 1000 W/m² eli säteily heikkenee lähes 40 % kulkiessaan ilmakehän läpi. [2]

Kuvasta 6 nähdään, että ilmassa oleva vesihöyry H₂O heikentää auringonsäteilyä pääasiassa infrapuna-alueella (> 0,8 µm). Myös ilmakehän hiilidioksi CO₂ absorboi pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, jolla on tärkeä vaikutus kasvihuoneilmioon ja ilmaston lämpenemiseen. Myös ilmakehän happi O₂ absorboi infrapunasäteilyä. Ilmakehän yläosissa oleva otsonikerros O₃ puolestaan vähentää auringon ultraviolettisäteilyä, mikä tekee elämän maapallolla mahdolliseksi. Sen sijaan pilvet eivät absorboi kovin voimakkaasti säteilyä, mikä näkyy siinä, että ne eivät haihdu kovin helposti auringonpaisteessa. Pilvet tosin heijastavat auringonsäteilyä ja sirottavat sitä eli muuttavat säteilyn suuntaa. Tämän vuoksi pilvisellä ilmalla saadaankin melko hyvin aurinkoenergiaa, jos pilvikerros ei ole kovin paksu. [2]

Auringon säteily jakautuu kolmeen osaan:

- 1) Suora auringonsäteily
- 2) Hajasäteily
- 3) Heijastunut säteily.

Kirkaalla ilmalla hajasäteilyn osuus on noin 30 %, puolipilvisellä 70 % ja pilvisellä ilmalla hajasäteilyn osuus on 100 %. [2]

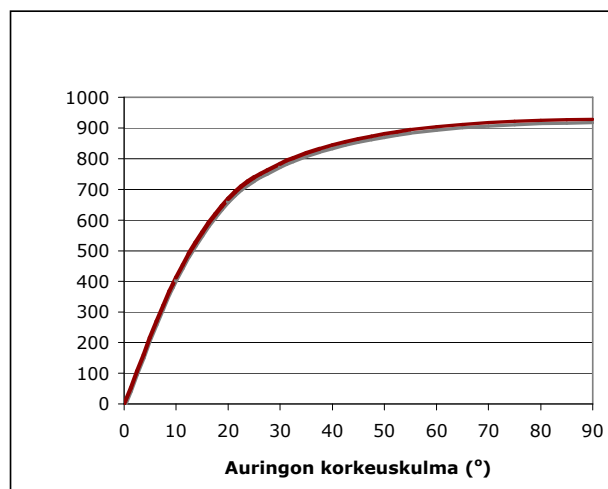


Kuva 6. Auringon säteilyn vaimentuminen ilmakehän kaasujen vaikutuksesta. [2]

Auringon säteilyn voimakkuus on pieni, kun aurinko on lähellä horisonttia (nousemassa tai laskemassa), koska valo joutuu kulkemaan pitkän matkan ilmakehässä. Säteilyn voimakkuus auringon eri korkeuskulmilla voidaan laskea kokeellisesti määritetystä yhtälöstä

$$I = 1100 \text{ W/m}^2 e^{-0,17/\sin \alpha},$$

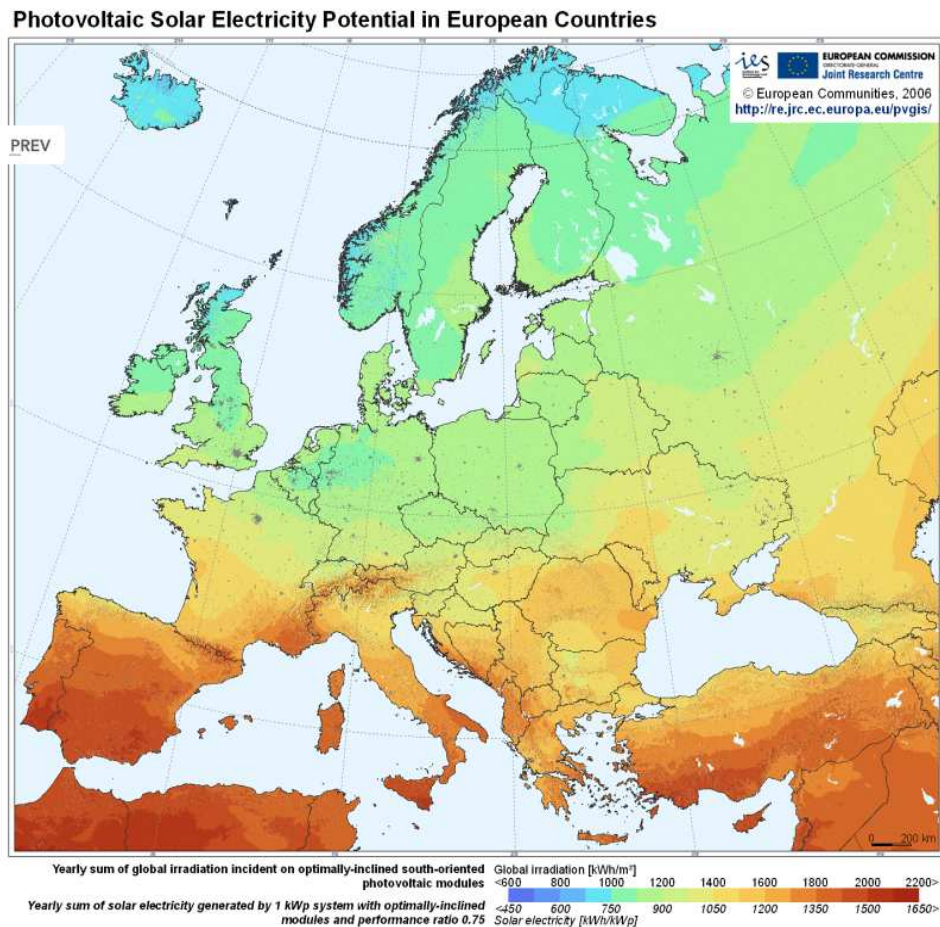
missä α on auringon korkeuskulma horisontin yläpuolella. Ilman massa maan pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa on 1 kg/cm^2 , mutta vinosti katsottuna massaa tulee huomattavasti enemmän. Esimerkiksi auringon ollessa 10° horisontin yläpuolella, se joutuu tulemaan ilmassa läpi, jonka paksuus on $5,8 \text{ kg/cm}^2$. Tämä vaimentaa jo huomattavasti auringon valoa ja ilmakehän kaasujen absorptio muuttaa myös säteilyspektrin muotoa. [2]



Kuva 7. Auringon säteilyn vaimentuminen ilmakehän paksuuden vaikutuksesta. [2]

Kuvasta 7 nähdään, että auringon säteilyn voimakkuus on suurimmillaan, kun aurinko on suoraan yläpuolella. Säteilyn määrä laskee hyvin jyrkästi, kun korkeuskulma on alle 30° . Jos auringon korkeus on 15° , on säteilyn voimakkuus pienentynyt jo noin 50 %.

Auringon säteilyn voimakkuus riippuu myös paikallisista olosuhteista kuten ilmassa olevista hiukkasista ja ilman kosteudesta. Usein aamuisin esiintyvä utu ja vesihöyry pienentää säteilyn määrää entisestään. [2]



Kuva 8. Aurinkoenergiapotentiaali Euroopassa. [3]

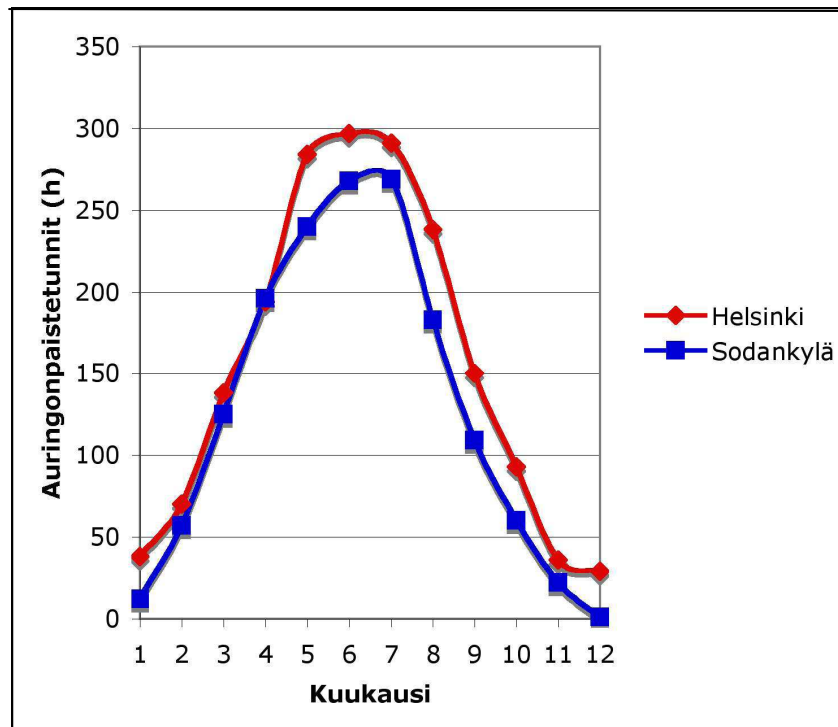
Kuva 8 esittää auringon säteilyn määrä optimaalisessa kulmassa Euroopassa 1 kWp aurinkosähköjärjestelmään, joka toimii 75 % hyötysuhteella yhden vuoden ajan (kWh/kWp/a), sekä kuinka paljon vuoden aikana säteilyä osuu yhtä neliometriä kohti (kWh/m²/a). Kuvasta nähdään, että Suomen aurinkoenergiapotentiaali on yhtä hyvä kuin Englannissa, Saksassa, Puolassa ja Tšekissä.

2.4 Auringonpaiste Suomessa

Ilmatieteen laitos on tilastoinut auringonpaistetta eri puolella Suomea olevissa mittauspisteissä jo hyvin pitkään. Auringonpaistetuntien määrä mitataan tunteina kuukauden aikana. Niille on laskettu 30 vuoden ajalta (1971-2000) kuukausi- ja vuosikeskiarvot. [10]

Auringonpaistetunnit vaihtelevat suuresti eri vuodenaikoina. Esimerkiksi joulukuussa,

kun päivä on lyhimmillään, aurinko voi Helsingissä enimmillään paistaa vain reilut viisi tuntia vuorokaudessa, mutta kesäkuussa melkein 20 tuntia. Sodankylässä suoraa auringonpaistetta ei kerry kaamosaikaan lainkaan, mutta kesäaikana paistetta voi kertyä vuorokaudessa 24 tuntia. Auringonpaistetuntien määrä vaihtelee voimakkaasti myös eri vuosina, jopa 30 %. [10]



Kuva 9. Keskimääräiset kuukausittaiset auringonpaistetunnit Helsingissä ja Sodankylässä 1971-2000. [2]

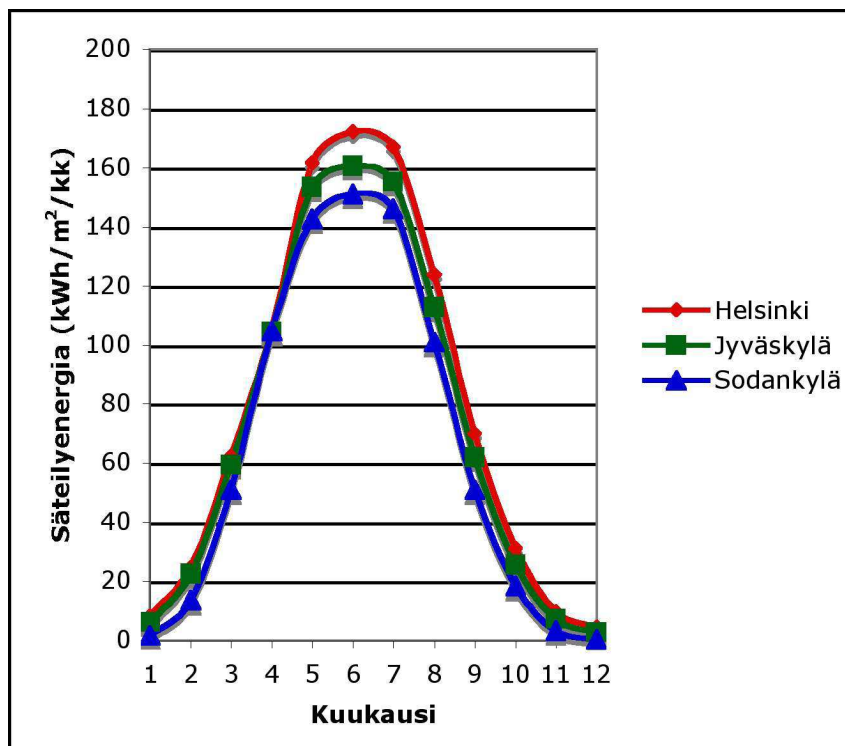
Auringonpaistetta saadaan Helsingissä toukokuun ja heinäkuun välisenä aikana keskimäärin hieman alle 300 tuntia kuukaudessa ja Sodankylässä samana aikana 240 – 360 tuntia kuukaudessa. Huhtikuussa Sodankylässä on keskimäärin auringonpaistetta jopa hieman enemmän kuin Helsingissä. Yleisesti Sodankylässä on auringonpaistetta 30 – 50 h vähemmän kuukaudessa kuin Helsingissä. Syksyllä pilvisyys lisääntyy ja auringonpaistetta on vähemmän kuin keväällä. Koko vuoden aikaa auringonpaistetta on ollut vuosien 1971-2000 aikana Helsingissä keskimäärin 1858 tuntia ja Sodankylässä 1542 tuntia.

Taulukossa 1 on esitetty keskimääräinen auringonpaisteen määrä kesäaikana (touko-elokuu) vuosina 1971-2000 eri paikkakunnilla. Eniten auringonpaistetta Suomessa saadaan tänä aikana etelä- ja länsirannikolla, noin 1100 tuntia. Sisämaassa pilvisyys yleensä lisääntyy päivän aikana ja auringonpaistetta saadaan vuorokauden aikana vähemmän kuin rannikolla. Kuopiossa ja Lappeenrannassa on auringonpaistetta kuitenkin keskimäärin yli 1000 h, mikä johtuu suurten järvien vaikutuksesta. [2]

Taulukko 1. Keskimääräisten auringonpaistetuntien määrä erällä paikkakunnilla toukokuun ja elokuun välisenä aikana jaksolla 1971-2000. [2]

Paikkakunta (Mittauspaikka)	Auringonpaiste (h)
Korppoo (Utö)	1170
Kotka (Rankki)	1131
Maarianhamina (Ia)	1116
Valassaaret	1107
Kemi-Tornio (Ia)	1093
Kruunpyy (Ia)	1079
Turku (Ia)	1061
Helsinki-Vantaa (Ia)	1040
Vaasa (Ia) 61-90	1038
Oulu (Ia)	1038
Ylistaro	1036
Utti (Ik)	1024
Lappeenranta (Ia)	1014
Kuopio (Ia)	1005
Jokioinen (Ia)	993
Joensuu (Ia)	983
Jyväskylä (Ia)	978
Rovaniemi (Ia)	978
Sodankylä (Ia)	960
Utsjoki (Kevo)	801

2.5 Auringon säteilyenergia Suomessa

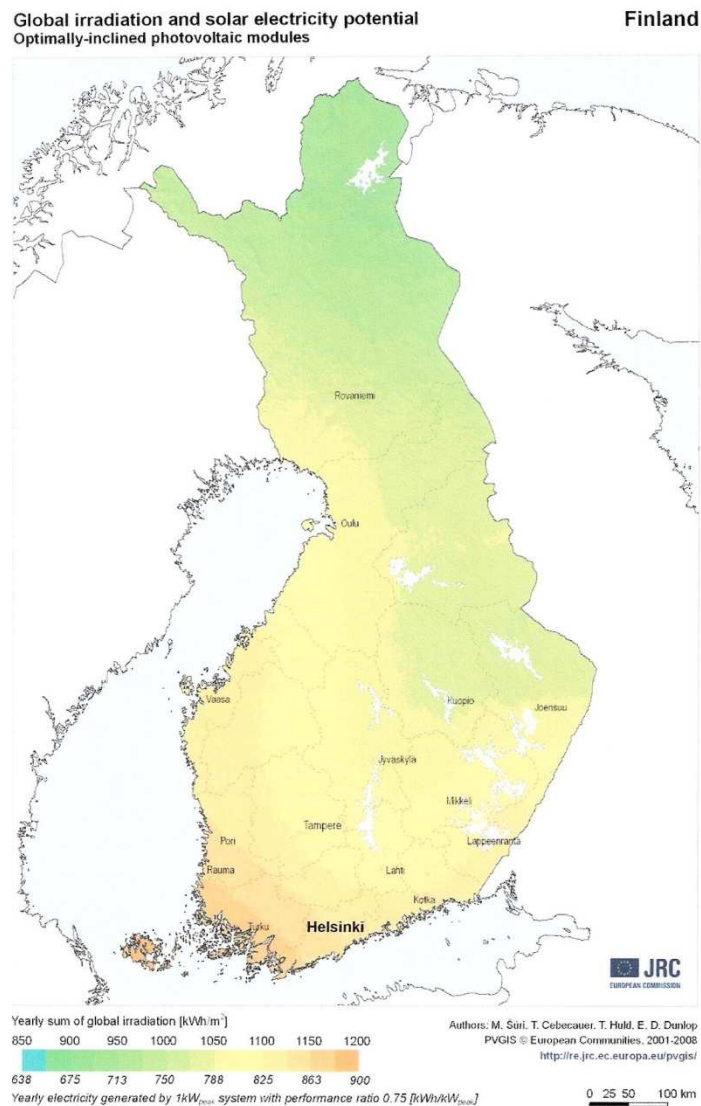


Kuva 10. Kuukausittainen auringonsäteilyn määrä vuosina 1971-2000. [2]

Auringon säteily on voimakkaammillaan touko-heinäkuun välisenä aikana, jolloin Helsingissä saadaan auringon säteilyenergiaa kohtisuoralle pinnalle kuukaudessa keskimäärin 160-170 kWh/m², Jyväskylässä 150-160 kWh/m² ja Sodankylässä 140-150 kWh/m². Tammi- ja helmikuussa sekä loka-joulukuun välisenä aikana säteilyenergian

määrä on alle 30 kWh/m². Koko vuoden aikana saadaan Helsingistä auringon säteilyenergiaa keskimäärin 940 kWh/m², Jyväskylässä 870 kWh/m² ja Sodankylässä 780 kWh/m². [2]

Suomessa auringon säteilyteho on keskipäivällä noin 1000 W/m² eli tunnissa jokaiselle neliömetrille tulee energiaa noin 1 kWh. Kun auringonpaistetta saadaan keskimäärin noin 1000 tuntia vuodessa, saadaan vuoden aikana jokaiselle neliömetrille noin 1000 kWh aurinkoenergiaa. Parhaimpien markkinoilla olevien paneelien hyötysuhde on noin 17 %. Tällöin Suomessa yhdestä neliömetrin suuruisesta aurinkokennosta saadaan parhaimmillaan vuodessa noin 170 kWh energiaa. Kuitenkin melko suuri osa tästä energiasta menetetään mm. energian siirrossa ja paneelien suuntauksessa. [2]

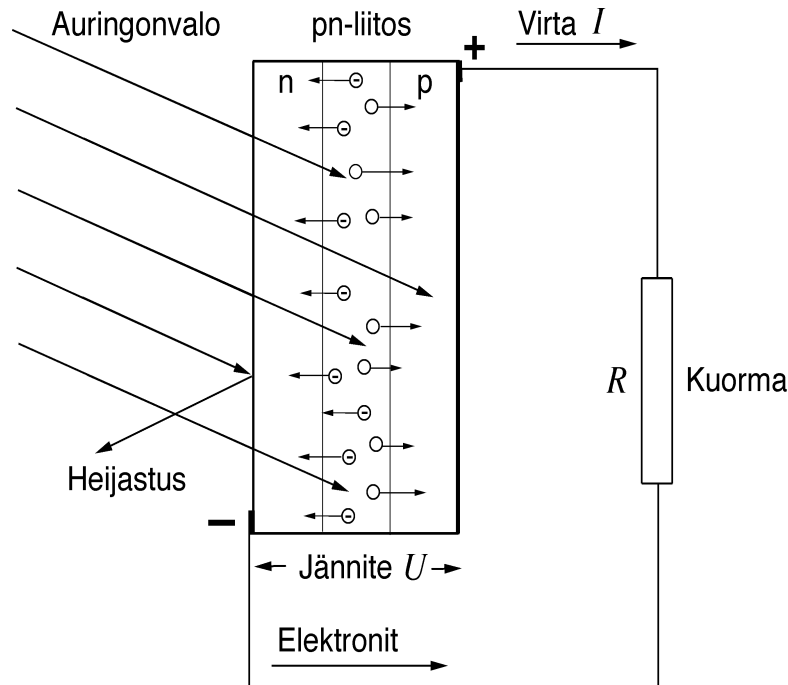


Kuva 11. Auringonsäteily ja aurinkosähköpotentiaali Suomessa. [3]

Kuva 11 esittää auringon säteilyn määrä optimaalisessa kulmassa Suomessa 1 kWp aurinkosähköjärjestelmään, joka toimii 75 % hyötysuhteella yhden vuoden ajan (kWh/kWp/a), sekä kuinka paljon vuoden aikana säteilyä osuu yhtä neliometriä kohti (kWh/m²/a). Kuvasta nähdään, että Rovaniemen tasolle asti saada auringonsäteilyä yli 1000 kWh/m² vuodessa.

3. AURINKOPANEELIN TOIMINTAPERIAATE

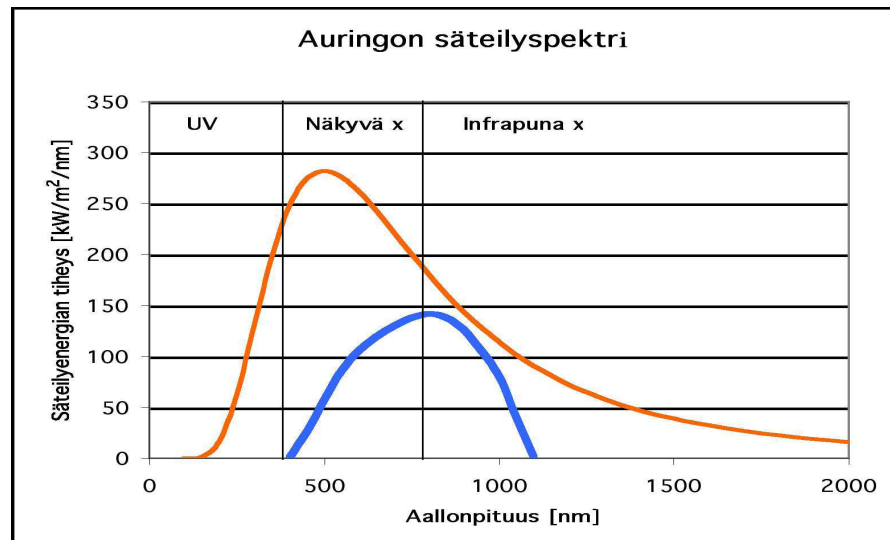
3.1 Yksikerrospaneelit



Kuva 12. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. [4]

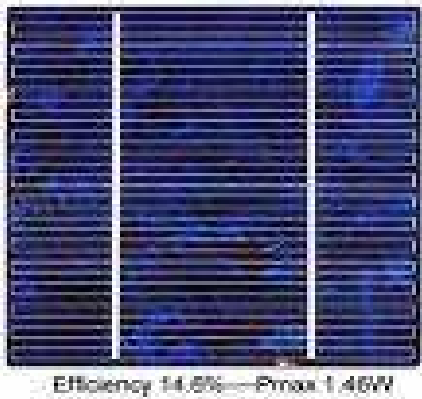
Aurinkokennon rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12. Kennossa auringon valo muuttuu suoraan sähkövirraksi. Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodeja, jossa on yhdistetty kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Kun auringon valo kohdistuu kennoon, niin ainakin osalla valohiukkasista (fotoneista) on niin suuri energia, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitokseen ja voivat muodostaa elektroni-aukkopareja. Lähellä pn-liitosta muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. Niiden on kuljettava ulkoisen johtimen kautta p-tyyppin puolijohdeeseen, jossa ne vasta voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on siten jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, ja liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä. Aurinkokennojen yleisin materiaali on pii (Si), jota käytetään yksi- ja monikiteisenä sekä myös amorfisessa muodossa. Kiteiset piikennot ovat yleensä noin 0,2 - 0,3 mm paksuja ja pinta-alaltaan (90 - 160) mm x (120 - 160) mm. Yksikiteiset piikennot on sahattu yhtenäisestä piihiosta, jonka halkaisija on 10 - 16 cm. Koska raaka-aine on hyvin kallista, pyöreistä kiekkoista ei kannata tehdä neliskulmaisia. Tämän vuoksi yksikidepaneeleissa on aukot kennojen kulmissa. Monikiteisiä piikennoja

voidaan tehdä neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka aine saadaan käytettyä tarkemmin hyödyksi. Amorfisesta piistä valmistetut kennot ovat taipuisia ja valmistuskustannuksiltaan halvempia, mutta niiden hyötysuhde jää pienemmäksi. [4]



Kuva 13. Auringon säteily spektrin muoto sekä piikennon absorptioalue (sininen käyrä). [4]

Suurin aallonpituus, jolla fotonin energia on yhtä suuri kuin elektronin aukkoparin piissä (Si) on 1150 nm eli 1,15 μm (energia pienenee aallonpituuden kasvaessa). Tällainen valo on lyhytaaltoista infrapunasäteilyä, jonka aallonpituus on lähellä näkyvän alueen rajaa. Säteily, jonka aallonpituus on suurempi kuin 1,15 μm ainoastaan kuumentaa paneelia, mutta ei synnytä sähkövirtaa. Jokainen fotonin voi synnyttää vain yhden elektronin aukkoparin. Jos fotoneilla on enemmän energiaa kuin tarvitaan elektronin aukkoparin synnyttämiseen, osa fotonien energiasta menee hukkaan. Piikennot eivät myöskään pysty hyödyntämään lyhytaaltoista ultraviolettiloaa, joka aiheuttaa paneelin tuhoutumista pitkän ajan kuluessa. Kuvassa 13 on esitetty auringon säteily spektrin muoto ilman ilmakehän absorptiota sekä piikennon absorptioalue. Piikidekennojen teoreettinen hyötysuhde on 31 %. Hyötysuhdetta huonontavat mm. metallijohteiden liitokset paneelien pinnalla, resistanssi sekä heijastukset paneelin päällä olevasta lasista. Jotkut valmistajat käyttävät lasin pinnalla heijastusta vähentävää pinnoitetta, mikä parantaa paneelin hyötysuhdetta. Tällä hetkellä parhaiden piistä valmistettujen aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 18 %. [4]



Kuva 14. Monikiteinen piikkenno.



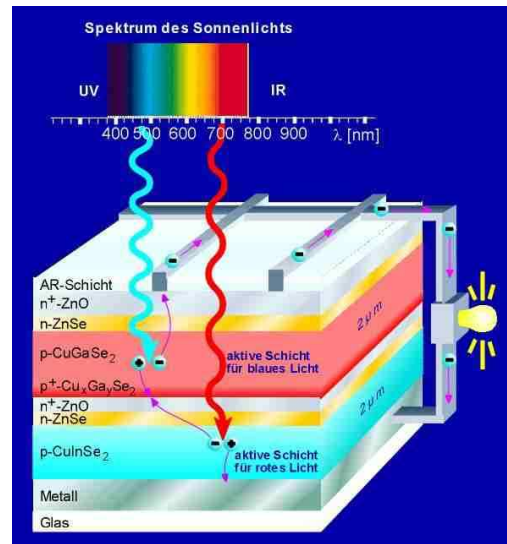
Kuva 15. Yksikiteinen piikkenno.

Monikiteisen piikennon rakenne on esitetty kuvissa 14 ja 15. Siinä näkyvät yksittäiset piikiteet sekä kennon pinnalle juotetut johtimet, joiden avulla syntynyt sähkövirta saadaan johdettua ulkoiseen kuormaan. Johtimien kohdalla valo ei pääse tunkeutumaan puolijohdemateriaaliin ja tuottamaan sähköä.

Yhden aurinkokennon antama jännite on 0,5 - 0,6 V. Käyttötarpeen mukaan kennoja kytketään sarjaan paneeleiksi. Yleensä käytetään 36 kennon paneeleja, jolloin saadaan riittävä jännite esimerkiksi 12 V akkujen lataamiseen. Aurinkokennosta saatu sähkövirta on verrannollinen muodostuvien elektroniaukkoparien lukumäärään. Sen vuoksi sähkövirta riippuu kennon pinta-alasta ja auringon säteilyn voimakkuudesta. Kennot tuottavat kirkkaalla auringonpaisteella sähkövirtaa noin 32 mA/cm². Näin esimerkiksi 90 mm x 120 mm suuruinen kenno tuottaa maksimissaan 3,5 A. Jos kennot on kytketty sarjaan, on aurinkopaneelistä saatava virta yhtä suuri kuin yhden kennon tuottama virta. [2]

3.2 Moniliitoskennot

Nykyiset aurinkokennot leikkaavat auringon säteilystä vain yhden spektrisiivun, muu säteily menee hukkaan. Moniliitoskennot leikkaavat spektristä useita kaistoja ja muuttavat ne sähköenergiaksi, mikä nostaa hyötysuhdetta huomattavasti. [5]



Kuva 16. Monikerrospaneeli ja sen toimintaperiaate.

Monikerrospaneeli perustuu useampaan kerrokseen, joista jokainen hyödyntää tietyn säteily-spektrin omassa kerroksessaan ja laskevat läpi muut spektrit kuten kuvassa 16 havainnollistetaan. Kerroksia voi olla useampia kuin esimerkin kuvassa, jolloin saadaan mahdollisimman laaja säteily-spektri hyödynnettyä. Moniliitoskennolla InGaP/GaAs on saavutettu 34 %:n hyötysuhde laboratorio-olosuhteissa. [5]

Aurinkokennojen hyötysuhde riippuu kennon valmistusmateriaalien ja -tekniikoiden lisäksi osittain kennoon tulevan säteilyn spektristä. Osa säteilystä heijastuu jo kennon pinnasta, minkä merkitystä pyritään vähentämään valitsemalla mahdollisimman heikosti heijastava materiaali pintaan.

3.3 Aurinkopaneelien teho ja energia

Aurinkopaneelin tuottama teho saadaan kaavasta (Joulen laki)

$$P = UI,$$

missä P on teho (W), U jännite (V) ja I virta (A). Paneelin tuottama energia saadaan, kun teho kerrotaan ajalla

$$E = Pt.$$

Paneelin hyötysuhde η saadaan paneelin tuottaman tehon ja paneelille tulevan säteilyn suhteena

$$\eta = \frac{P}{SA} \times 100 \%,$$

missä P on paneelin teho, S auringonsäteilyn voimakkuus ja A paneelin pinta-ala.

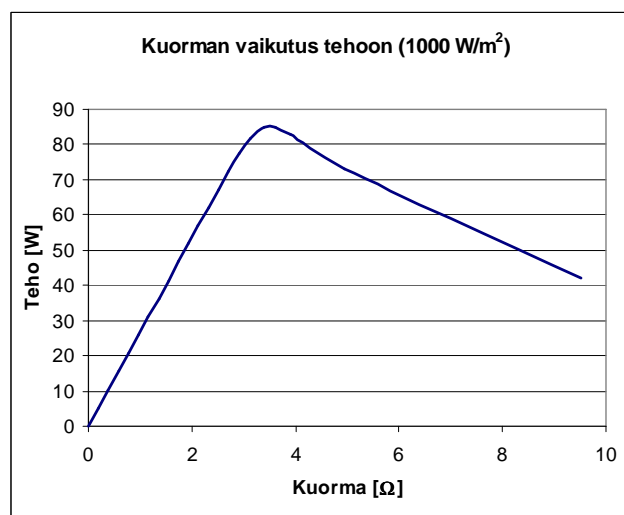
Esimerkiksi, kun paneelin virta on 4 A ja jännite 15 V, on sen tuottama teho 60 W. Jos auringonsäteilyn voimakkuus on 700 W/m^2 ja paneelin pinta-ala $0,6 \text{ m}^2$, on hyötysuhde 14 %. Paneeliin kytketty kuorma tai akusto määrää paneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta hakeutuu kulloistakin säteilyä ja lämpötilaa vastaavalla ominaiskäyrällä.

Kuorman suuruus voidaan laskea Ohmin laista

$$R = \frac{U}{I},$$

missä R on kuorman resistanssi (Ω), U paneelin napajännite ja I virta. [4]

Kuvassa 17 on kuvattu kuorman vaikutusta 85 Wp aurinkopaneelin tehoon. Jos kuorman resistanssi on pieni, jää paneelin jännite myös pieneksi ja silloin myös paneelin tuottama teho on pieni. Toisaalta liian suuri resistanssi pienentää virtaa ja myös silloin teho tulee pieneksi. Suurin teho saadaan 85 Wp paneelilla täydessä auringonpaisteessa, kun kuorman resistanssi on noin $3,6 \Omega$, mikä on sama kuin jännitteen ja virran suhde toimintapisteessä ($17,5 \text{ V}/4,86 \text{ A} = 3,6 \Omega$). Kun auringonsäteilyn voimakkuus muuttuu, muuttuu myös toimintapisteen paikka. Tämän vuoksi optimikuorma muuttuu säteilyn voimakkuuden muuttuessa ja myös paneelin lämpötilan muuttuessa. Käyrän huippu on terävä ja sen vuoksi pienetkin heitot optimista pudottavat merkittävästi paneelista saatavaa tehoa. [4]

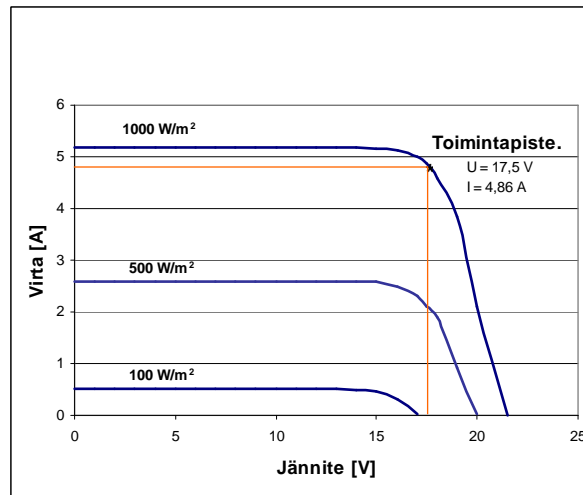


Kuva 17. Kuorman vaikutus 85 Wp aurinkopaneelin tehoon, kun auringonsäteilyn voimakkuus on 1000 W/m^2 . [4]

Paneelien tehot annetaan tietyissä olosuhteissa, jotta niitä voidaan vertailla keskenään. Nämä standardiolosuhteet (STC = Standard Test Conditions) ovat:

- 1) Auringon säteilyn voimakkuus 1000 W/m^2
- 2) Paneelin lämpötila $+25 \text{ }^\circ\text{C}$
- 3) Auringon spektri normitettu ilmassalle $1,5 \text{ kg/cm}^2$. (Tällöin aurinko on $41,81^\circ$ horisontin yläpuolella.)

Standardiolosuhteissa valmistajat määrittävät tuottamiensa paneelien nimellistehon ($W_p = \text{Watt peak}$). [4]

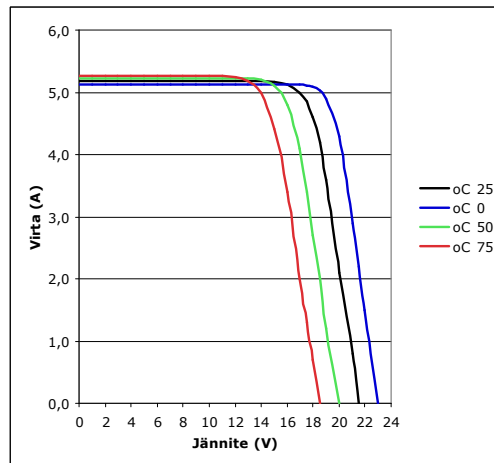


Kuva 18. 85 W aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla. [4]

Kuvassa 18 on esitetty 85 W_p aurinkopaneelin ominaiskäyrän riippuvuus säteilyn voimakkuudesta. Aurinkopaneelin suurin teho eli toimintapiste saavutetaan, kun jännite on alkanut jonkin verran pudota. Silloin virran ja jännitteen tulo $P = UI$ on suurimmillaan. Paneelin tuottama virta putoaa likimain samassa suhteessa kuin säteilyn voimakkuus. Samalla tehopiste siirtyy alemmaksi. Virta putoaa nopeammin kuin jännite, jonka vuoksi jännitteen ja virran suhde $R = U/I$ ei pysy vakiona valaistuksen vähentyessä. Siksi paneelin kuormitusta on muutettava valaistuksen mukaan, jos halutaan saada paneelista maksimaalinen teho. [4]

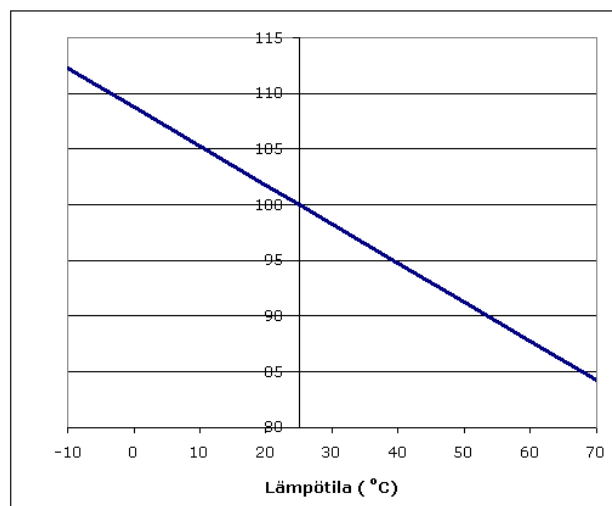
3.4 Lämpötilan vaikutus paneelien tehontuottoon

Aurinkopaneelin teho riippuu hyvin monista tekijöistä, kuten auringonsäteilyn voimakkuudesta ja tulokulmasta, auringon korkeudesta ja ilmakehän absorptiosta sekä paneelin lämpötilasta. [4]



Kuva 19. Lämpötilan vaikutus paneelin ominaiskäyrään. [4]

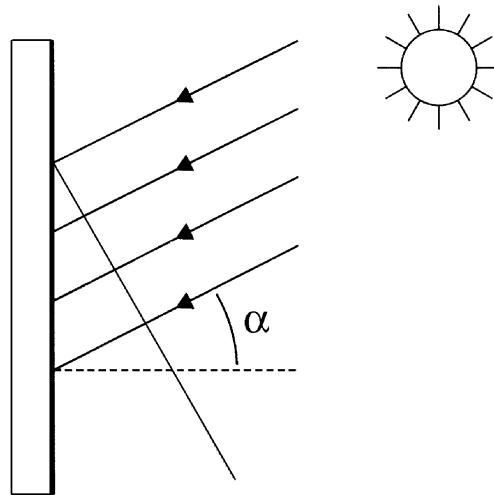
Kuvassa 19 on esitetty aurinkopaneelin ominaiskäyrän muuttuminen eri lämpötilassa. Paneelin virta kasvaa, kun sen lämpötila nousee, koska lämpötila lisää termisten varaustenkuljettajien määrää paneelissa. Tämä vaikutus on kuitenkin hyvin pieni, noin $+0,065 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$. Sen sijaan paneelin tyhjäkäyntijännite putoaa huomattavasti voimakkaammin lämpötilan noustessa. Piikidekennojen jännitteen lasku on yleensä noin $-0,5 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ ja parhaimmillakin kennoilla jännitteen alenema on noin $-0,35 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$. Koska jännitteen muutos on paljon voimakkaampi kuin virran muutos, on tehon alenema lämpötilan noustessa samaa luokkaa kuin jännitteen lasku. [4]



Kuva 20. Aurinkopaneelin tehon riippuvuus lämpötilasta, kun tehon lämpötilakerroin on $-0,35 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$. Normiteho 100 % on kiinnitetty lämpötilaan $+25^{\circ}\text{C}$. [4]

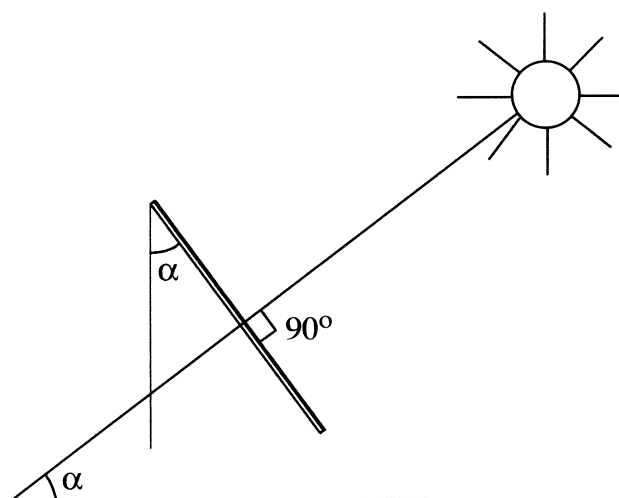
Aurinkopaneelin tehon riippuvuus lämpötilasta, kun tehon lämpötilakerroin on $-0,35 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$. Normiteho 100 % on kiinnitetty lämpötilaan $+25^{\circ}\text{C}$. Kuvassa 20 on esitetty paneelin lämpötilan vaikutus sen tuottamaan tehoon, kun tehon lämpötilakerroin on $-0,35 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$. Kun lämpötila on 0°C saadaan paneelista lähes 10 % enemmän tehoa kuin

lämpötilassa 25°C. Vastaavasti teho putoaa 10 % kun lämpötila on 55°C. Vaikka ulkoilman lämpötila on 25°C, on paneelin lämpötila helposti auringonpaisteessa yli 50 °C ja tehon vähennys siten hyvälläkin paneelilla noin 10 % normitehosta. Huonolla paneelilla vähennys voi olla jopa kaksinkertainen. Tämän vuoksi paneelit pitäisi sijoittaa siten, että tuuli ja ilmavirtaukset pääsisivät jäähdyttämään niitä tehokkaasti. Myöskään niitä ei saisi sijoittaa sellaisten pintojen lähelle, jotka kuumenevat voimakkaasti, kuten mustat huopakatot. [4]



Kuva 21. Auringonsäteilyn saapuminen vinosti paneelin pinnalle. [4]

3.5 Suuntauksen vaikutus paneelien tehontuottoon



Kuva 22. Paneelin suuntaus aurinkoa kohti. [4]

Auringon säteily tulee kohtisuorasti paneelin pintaan silloin, kun sen kallistuskulma on yhtä suuri kuin auringon korkeus horisontista. Auringon korkeus kuitenkin vaihtelee

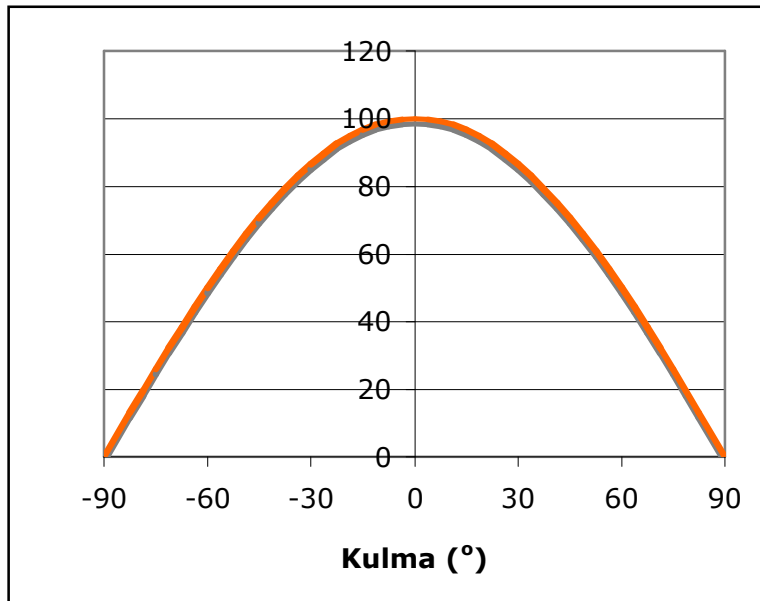
jatkuvasti päivittäin ja myös vuodenaikojen mukaan. Varkauden korkeudella aurinko on korkeimmillaan keskipäivällä kesäkuussa hieman yli 50° ja matalimmillaan se on joulukuussa alle 5° horisontin yläpuolella. Näiden keskiarvo on noin 30° . Päivittäin auringon korkeus vaihtelee nolasta maksimikorkeuteen. Kuitenkin ilmakehä imee yli 50 % auringon säteilystä silloin kun se on alle 15° korkeudella horisontista Tämän vuoksi paneeleita ei kannattaisi suunnata vastaanottamaan pelkästään horisontista tulevaa auringon säteilyä. Tosin noin 50 % auringon säteilystä on hajasäteilyä, johon paneelin suuntauksella ei ole kovin paljon merkitystä. Optimikulma Suomessa kiinteästi sijoitetulle paneelille on $30 - 40^\circ$. [4]

Mikäli paneeli seuraa aurinkoa, saadaan noin 30 % enemmän energiaa kuin kiinteän paneelin avulla. Pilvisenä päivänä kääntämisestä ei ole juuri hyötyä, koska 100 % auringon säteilystä on hajasäteilyä.

Vinosti paneelin pinnalle tuleva auringonsäteilyn teho voidaan laskea yhtälöstä

$$P_s = SA \cos \alpha,$$

missä S on auringonsäteilyn voimakkuus (W/m^2), A paneelin pinta-ala (m^2) ja α paneelin normaalin ja auringonsäteiden välinen kulma. Paneelille tuleva säteilyteho on suurimmillaan, kun paneeli osoittaa kohti aurinkoa eli paneelin normaalin ja auringonsäteiden välinen kulma on nolla. Kuvassa 23 on esitetty tehon muuttuminen säteilyn tulokulman muuttuessa. Aluksi muutos on hyvin hidas, ja vaikka tulokulma on 30° , putoaa paneelille tuleva säteilyteho vain noin 13 %. Kun tulokulma on 60° , säteilyteho putoaa puoleen ($\cos 60^\circ = 1/2$). Vaikka suuntauksen vaikutus ei ole kovin suuri, on huomattava, että auringonsäteiden kohtaamiskulmaa on tarkasteltava kahdessa suunnassa: pystysuunnassa ja vaakasuunnassa. Jos kummassakin suunnassa tulokulma on 30° , tulokset kerrotaan keskenään $\cos 30^\circ \times \cos 30^\circ = 0,75$ eli säteilyteho pienenee 25 % verrattuna suoraan aurinkoon suunnattuun paneeliin. [4]



Kuva 23. Kohtaamiskulman vaikutus paneelille tulevaan auringonsäteilyn tehoon. [4]

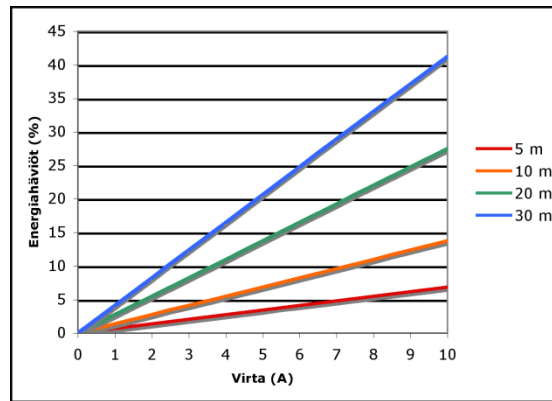
Kun auringonvalo tulee hyvin vinosti (tulokulma $>60^\circ$) paneelin pintaan, heijastukset paneelin pinnalla olevasta suojalasista tulevat merkittäviksi. Suurin osa aurinkoenergiasta tulee kesällä kello 10 ja klo 18 välisenä aikana. Koska aurinko kiertyy tunnissa 15° , kiertyy se silloin 8 tunnissa 120° . Mikäli paneeli on suunnattu suoraan etelään, silloin 60° tulokulma ei ylity parhaana paisteaikana. [4]

3.6 Siirtojohtimien aiheuttamat tehohäviöt

Johtimessa kulkeva virta lämmittää johdinta ja aiheuttaa siten tehohäviöitä. Tehohäviöt P (W) voidaan laskea yhtälöstä

$$P = I^2R,$$

missä I on johtimessa kulkeva virta (A) ja R johtimen resistanssi (Ω). Siirtohäviöiden pienentämiseksi johtimessa kulkevan virran tulisi olla mahdollisimman pieni. Myös johtimen resistanssin täytyisi olla pieni eli johtimen pitäisi olla paksu ja hyvin sähköä johtava. Kuparilla ja hopealla on paras sähkönjohtokyky. Kuparia käytetäänkin hyvin yleisesti sähkönjohtimissa ja hopeaa erityistapauksissa kuten aurinkopaneelin pintaliitoksissa. Valtakunnan verkossa käytetään alumiinijohtimia niiden keveyden takia, mutta tehonsiirto tehdään hyvin suurella jännitteellä, esimerkiksi päälinjoissa se on 400 kV. Aurinkoenergiajärjestelmissä jännitteet ovat pieniä ja sen vuoksi johtimien tehohäviöt muodostuvat helposti suuriksi. [4]



Kuva 24. Kuparijohtimien ($A = 2 \text{ mm}^2$) aiheuttamat tehohäviöt 12 V järjestelmässä eri siirtomatkoilla. [4]

Kuvassa 23 on esitetty virran vaikutus kuparijohtimien tehohäviöihin eri siirtomatkoilla 12 V järjestelmässä, kun johtimen poikkipinta-ala on 2 mm^2 eli johtimen halkaisija on 1,6 mm. Laskelmassa on huomioitu sekä meno- että paluujohtimen pituus. Jos siirtojohtimen pituus on 5 m, jäävät tehohäviöt alle 5 % mikäli virta on alle 7 A. Häviöt kasvavat suorassa suhteessa johtimen pituuteen siten, että 10 m johtimessa häviöt ovat 7 A virralla 10 %, 20 m johtimella 20 % ja 30 m johtimella jo 30 %. Toisaalta johtimen poikkipinta-alan tai jännitteen kasvattaminen pienentää tehohäviöitä. Kaksinkertainen pinta-ala pienentää häviöt puoleen ja 24 V järjestelmässä tehohäviöt pienevät 1/4. Kun virta on pieni (alle 1 A), häviöt ovat pieniä pitkälläkin matkalla. Johtimen lämpötilan nousu kasvattaa sen resistanssia ja lisää häviöitä. [4]

Kaapelin minimipoikkipinta-alan määrittäminen 12 V järjestelmälle voidaan määrittää seuraavilla kaavoilla:

Paneelilta säätimelle

$$\frac{\text{matka (m)} \times \text{paneelivirta (A)}}{32} = \text{poikkipinta (mm}^2\text{)}$$

Jos matka paneelilta säätimelle on 30 m, ja paneelivirta 5 A, on tarvittavan kaapelin paksuus $4,7 \text{ mm}^2$ eli 5 mm^2 kaapeli on riittävä.

Säätimeltä kulutuslaitteille

$$\frac{\text{matka (m)} \times \text{kulutusvirta (A)}}{16} = \text{poikkipinta (mm}^2\text{)}$$

Mikäli matka kulutuslaitteelle on 5 m ja laitteen ottama virta 8 A, tarvittavan johtimen poikkipinta-ala on $2,5 \text{ mm}^2$.

Toisaalta kuparijohtimien (meno+paluujohtin) aiheuttamat tehohäviöt voidaan laskea kaavasta

$$\text{Häviöt (\%)} = 3,3 \times \text{Virta} \times \text{Johtimen pituus (m)} / \text{Poikkipinta-ala (mm}^2\text{)} / \text{Jännite (V)}.$$

Yleensä johtimet mitoitetaan siten, että häviöt eivät ylitä 5 %:a. Mitä pitempi johdin, sen paksumpi sen pitää olla, jotta häviöt eivät kasva liian suuriksi. [4]

Jos 12 V järjestelmässä paneelin latausjännite on 18 V, saadaan johdinhäviöiksi edellä olevilla arvoilla paneelilta säätimelle 5,5 %. Kulutuslaitteen jännite on noin 12 V, jolloin häviöt säätimeltä kulutuslaitteelle ovat aikaisemmilla arvoilla 4,4 %.[4]

4. AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmä voi olla erillinen tai verkkoon kytketty. Aurinkopaneelien tuottama teho voidaan syöttää suoraan kulutuslaitteille tai varastoida myöhempää käyttöä varten akkuihin. Teho voidaan syöttää myös verkkoinverttereiden avulla yleiseen sähköverkkoon.

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu yleensä seuraavista osista:

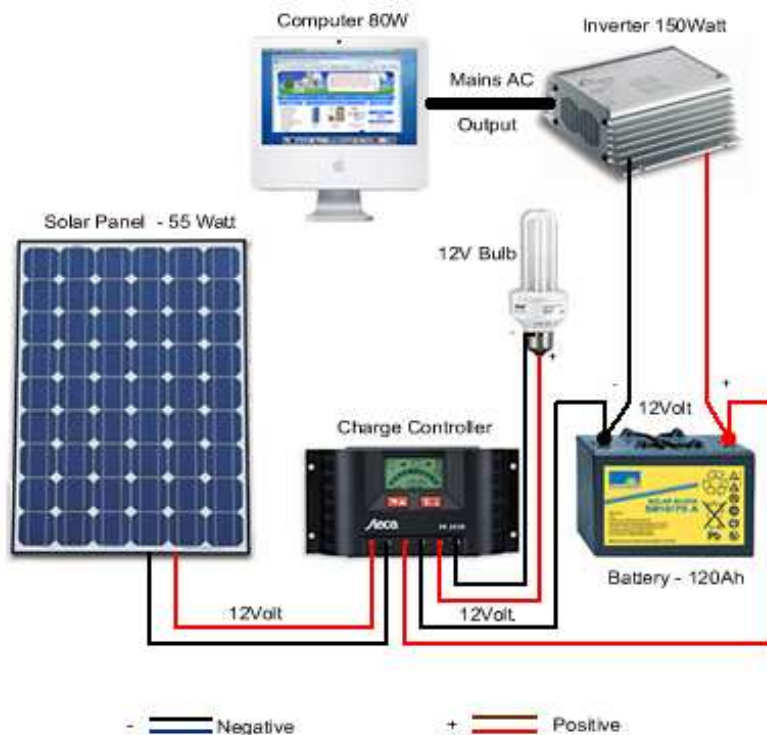
- aurinkopaneelit (tehontuotto)
- lataussäädin (ohjausyksikkö)
- akusto (energian varastointi)
- invertteri (vaihtosuuntaaja).

Paneelien tuottama sähkö johdetaan kulutuslaitteille tai varastoidaan myöhempää käyttöä varten akkuihin. Lataussäädin valvoo järjestelmän toimintaa sekä estää akuston ylilatautumisen ja syväpurkauksen.

Kytkemällä aurinkopaneelit rinnan saadaan paneeleilta tulevaa virtaa kasvatettua. Jos aurinkopaneelit kytketään sarjaan, kasvaa paneeleilta saatu jännite suuremmaksi. Näin voidaan rakentaa halutunlainen järjestelmä, jonka jännitettä sekä virtaa voidaan muuttaa sopivaksi käyttötarkoituksen mukaan.

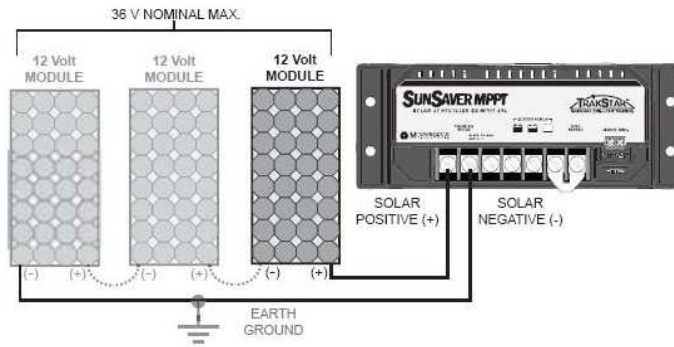
4.1 Akkujärjestelmät

Akkujärjestelmissä sähköenergia varastoidaan säätimen kautta akkuihin. Järjestelmät ovat yleensä Suomessa kesämökkikäytössä, missä käytetään vain kohtuullisen vähän sähköenergiaa esim. valaistukseen, vesipumppuun ja televisioon. Akkuihin talletettu energia voidaan muuttaa invertterissä tasavirrasta normaalijännitteiseksi vaihtovirraksi. Sillä voidaan käyttää tavanomaisia kodinkoneita, muun muassa televisiota, radiota, jääkaappia, pakastinta, kahvinkeitintä, hiustenkuivainta tai mikroaaltouunia.



Kuva 25. Akkujärjestelmän periaatekaavio.

Kuvassa 25 nähdään yksinkertaisen akkujärjestelmän periaatekaavio. Lataussäädin valvoo järjestelmän toimintaa sekä estää akuston ylilatautumisen ja syväpurkauksen. Säätimeen kytketyt tasavirtalaitteet kytkeytyvät pois, jos akuston jännite putoaa liian alas. Invertteri muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi, jolloin siihen voidaan kytkeä normaaleja vaihtosähkölaitteita. Invertteri voi ottaa suuria virtoja, jolloin invertteri on kytkettävä suoraan akustoon, koska lataussäädin ei kestä suuria virtapiikkejä. Tällöin on kuitenkin vaarana akuston syväpurkautuminen.



Kuva 26. Aurinkopaneelien kytkentäperiaate SunSaver MPPT säätimeen.

Kuten kuvassa 26 nähdään, aurinkopaneelit voidaan kytkeä rinnankytkentään jolloin jännitettä saadaan nostettua joko 24 tai 36 volttiin kuitenkin niin, että säätimen maksimijänniteraja ei ylity.

Lataussäätimet

Lataussäädin asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin. Se valvoo, että akusto latautuu optimaalisella tavalla. Lataus tapahtuu täydellä teholla silloin kun akut ovat vajaat, minkä jälkeen tapahtuu ylläpitolataus vakiojännitteellä siten etteivät akut tule ylliladatuiksi. Kaikki nykyiset säätimet käyttävät joko pulssileveysäätölatausta (PWM), joka tänä päivänä on vallitseva tekniikka tai MPPT-latausta. MPPT (Maximum Power Point Tracking) on uusinta tekniikkaa, jossa säädin hakee seuranta-algoritmin mukaista paneeliston maksimitehopisteen jännitettä (V_{mp}). Tällöin paneelistosta saadaan aina maksimiteho vaikka paneeliston jännite muuttuu auringonsäteilyn mukana. Samalla säädin muuttaa akustoon syötettävää virtaa. Esimerkiksi paneeleista tuleva virta voi olla 3 A, mutta akustoon syötetään 5 A virta. Säätimissä on sisäänrakennettu diodi, joka estää virran karkaamasta akuista paneeleille yön aikana. [6]

Morningstar SunSaver MPPT 15A 75V 12/24V -aurinkosäädin, jossa on TrakStar Technology-tekniikka, on kehittänyt lataussäätimen 12 ja 24 voltin akustojärjestelmiin. Säädin hakee aurinkopaneelien jännite-virta-käyrästä sen pisteen, joka antaa maksimaalisen tehon. Jännite (V) x Virta (A) = Teho (W). Normaalisissa 12 voltin aurinkopaneelissa tämä piste on normaalisti 17-17,5 voltin kohdalla. Jos tällainen paneeli joutuu tuottamaan energiaa akun jännitteen mukaan (esim. 11 V), se tuottaisi vain 11/17,5 -osaa, eli 62 % nimellistehostaan. Näin MPPT kykenee normaalisti ottamaan 24-35 % enemmän tehoa irti paneeleista verrattuna perinteiseen PWM -säätimeen. [6]



Kuva 27. SunSaver MPPT 15A 75V 12/24V lataussäädin.

Toinen suuri hyöty on, että paneelien virran voi tuoda sisään paljon korkeammalla jännitteellä. Esimerkiksi kytkemällä 4 normaalia 12 voltin paneelia sarjaan saadaan noin 70 V latausjännite. Näin paneelit voi ohuella johdolla sijoittaa huomattavan paljon kauemmaksi aurinkoisempaan paikkaan rannalle tai kallion päälle. Säädin muuttaa sitten tuon maksimitehon 12 tai 24 voltin akustolle sopivaksi jännitteeksi.

4.2 Akut

Akku on laite, joka ladattaessa muuttaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi ja purettaessa takaisin sähköenergiaksi. Akun rakenteen mukaisesti akut on jaettavissa neljään pääryhmään: avonaiset, suljetut ja geeli eli hyytelöakut sekä litiumakut. [7]

Avonaiset lyijyakut

Lyijyaku on ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tullut akku. Sen elektrodit on valmistettu lyijystä, ja elektrolyyttinä on rikkihappoliuos. Lyijyakulle on ominaista hyvä syklinen kestävyys ja pitkä käyttöikä. Lyijyakkujen energiatiheys on matala (30 – 40 Wh/kg), mikä puolestaan rajoittaa niiden käyttökelpoisuutta. Lyijyapun itsepurkautuminen on 3 – 4 % kuukaudessa. [7]

Latausvirta on oleellinen lyijyapun elinikään vaikuttava tekijä. Liian suuri latausvirta vaurioittaa akkua, mutta liian pieni virta ei lataa akkua kunnolla, jolloin akun levyille muodostuu helposti liukenematonta sulfidia. Akkua ei saa myöskään syväpurkaa, koska se lyhentää akun käyttöikää. Syväpurkaus tarkoittaa tilannetta, jossa akun kapasiteetti laskee alle 30 %:in eli napajännite on noin 11,8 – 12,0 V. [7]

Tärkeimpänä akun häviönä voidaan pitää lataus/purkaushäviöitä. Tällä tarkoitetaan sitä, että akkua joudutaan lataamaan suuremmalla jännitteellä kun sitä purettaessa saadaan

ulos. Tästä jännite-erosta ja akun lämpiämisestä aiheutuvat häviöt laskevat akun hyötysuhteen tasolle 75 – 85 %.[7]

Lyijyakun käyttöikä alkaa olla loppuillaan, kun akun kapasiteetti on pudonnut 60- 80 %:in alkuperäisestä. Akun käyttöikään vaikuttaa myös lämpötila, sillä korkeassa lämpötilassa akku hapettuu nopeammin kuin kylmässä. [7]



Kuva 28 .a) Lyijyakku, b) Suljettu lyijyakku ja c) Geeliakku.

Suljetut VRLA-akut (Valve Regulated Lead Acid)

Suljettuun akkuun ei lisätä vettä sen koko elinkaaren aikana. Suljettujen akkujen pieni kaasunkehitys ja eri asentoihin sijoitettavuus mahdollistaa sen käytön myös sisätiloissa. Kylmässä VRLA ei anna kovin hyvin virtaa. AGM-akku on kehittynyt lyijyakku, jossa neste on imeytetty lasikuitukankaaseen. Neste pääsee tarvittaessa laajentumaan lasikuitukankaassa ja näin ollen akut kestävät myös jäätymistä. AGM-akut kestävät tärinää ja iskuja huomattavasti paremmin kuin tavalliset lyijyhappoakut, koska lasikuitukangas pitää paksut lyijykennot tukevasti paikallaan. AGM-akkujen etuina lyijyhyytelöakkuihin verrattaessa ovat halvempi hinta ja parempi virranantokyky lyhyillä purkauksilla. [7]

VRLA-akkuja ei saisi koskaan ladata normaalilla auton akkulaturilla, joka on tarkoitettu avoimille lyijyakuille. AGM-akkua ei saa purkaa alle jännitetason 1,50 V/kenno, vaan se olisi syytä ladata aiemmin. Akun kestoikä on 50–400 sykliä purkamisten syvyydestä ja ympäristöolosuhteista riippuen. [7]

Geeli /hyytelöakut

Ensimmäinen suljettu lyijyhappoakku oli "lyijyhyytelöakku". Siinä akkuhappoon on lisätty silikaattia (piitä) ja tuotannossa se on muokattu "geelimäiseen" olotilaan (SiO₂).

Geeliakun latausrajat eli tasot ovat tarkemmat kuin avonaisilla ja suljetuilla akulla, mutta geeliakun virran vastaanottokyky varausvaiheessa on korkeampi. Geeliakun käytetään yleensä kohteissa, joissa on nopeat lataus- ja purkaussyklit. [7]

Litiumioniakut

Litiumioniakku on akku, jossa litiumioni liikkuu anodin ja katodin välillä. Litiumioni liikkuu akun purkautuessa anodista katodiin, ja ladattaessa katodista anodiin. Litiumionikennon nimellisjännite on muita akkutyyppejä huomattavasti korkeampi: 3,2–3,6 V. Litiumioniakkujen etuna lyijyakkuihin verrattuna on suuri energiatiheys (80 -160 Wh/kg). Pakkasessa Li-ion-akku menettää huomattavasti tehoaan ja akun itsepurkaus on noin 5 % kuukaudessa. Muista akkutyypeistä poikkeavana hyvänä puolena on, että muisti-ilmiötä Li-ion-akussa ei esiinny ollenkaan. Akun kapasiteetti ei alene, olipa lataus kuinka epäjärjestelmällistä tahansa. [7]

Li-ion-akku ei siedä ylilatausta, vaan muuttuu epävakaaksi kehittäen lämpöä ja painetta. Myöskään akun oikosulkeminen tai purkaminen aivan tyhjäksi ei ole hyväksi. Latausaika voi olla jopa alle 1 tunnin, eikä akku juurikaan lämpene sen aikana. Lataus suoritetaan aluksi suuremmalla virralla, ja kun tietty jännitetaso on saavutettu, virtaa alennetaan siten, että jännite ei enää nouse. Useimmissa akuissa on monimutkainen suojapiiri, joka katkaisee sähköisen yhteyden akkuun, jos se havaitsee yli- tai alijännitettä tai liian korkean lämpötilan. Ilman suojapiiriä akun lataaminen ja jopa käyttö on vaarallista räjähdysvaaran vuoksi. Litium-rauta-fosfaattiakut (LiFePO₄) ovat suhteellisen turvallisia verrattuina muihin litium-tekniikoihin. LiFePO₄-akku on ympäristöystävällinen, sillä siinä ei ole käytetty ympäristölle haitallisia raskasmetalleja. Muut Li-ion-akut sisältävät jossakin määrin raskasmetalleja, jotka ovat jo pieninä määrinä ympäristölle haitallisia, joten akut ovat ongelmajätettä. [7]

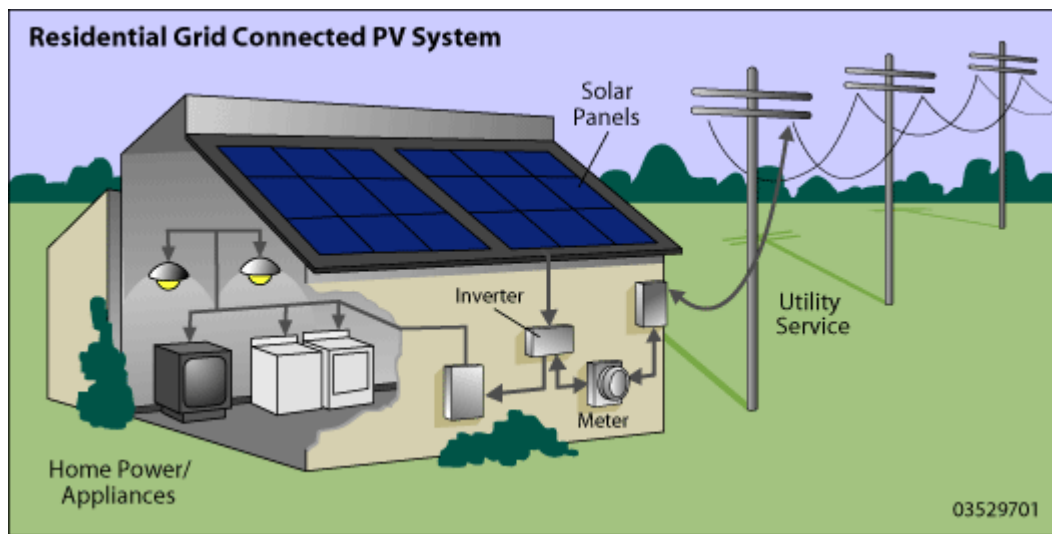
4.3 Verkkoinvertterijärjestelmät

Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa, jolloin tarvitaan vaihtosuuntaaja (invertteri) muuttamaan tasajännite vaihtovirraksi asuinrakennuksen sähköjakeluverkkoon. Invertterit toimivat siten, että aluksi tasajännite pilkotaan tehotransistoreiden avulla suorakulma-aalloksi. Tämän jälkeen suorakulma-aalto muutetaan suodatinpiirien avulla siniaalloksi.

Tärkein ero erillisen invertterin ja verkkoinvertterin välillä on se, että verkkoinvertterin on tuotettava täsmälleen samanvaiheista jännitettä verkon jännitteen kanssa. Lisäksi

jännitteen on oltava suurempi, jotta sähkövirta kulkisi verkkoon päin. Verkkoinvertterin täytyy myös kytkeytyä irti verkosta, jos verkon jännite häviää.

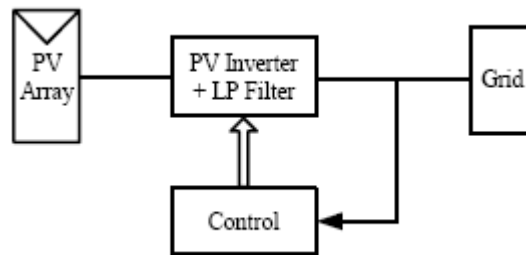
Verkkoinvertterijärjestelmät ovat pääasiassa asuinrakennuksien omaan sähköntuotantoon tarkoitettuja järjestelmiä, joiden tuottama sähköenergia käytetään itse ja ylijäämä menee verkkoon. Mikäli verkkoon syötetty sähkö haluttaisiin rahallisesti hyödyntää, käytössä tulisi olla kaksisuuntainen energianmittaus. Suomessa ei ole kuitenkaan vielä käytössä syöttötariffia yksityisille talouksille.



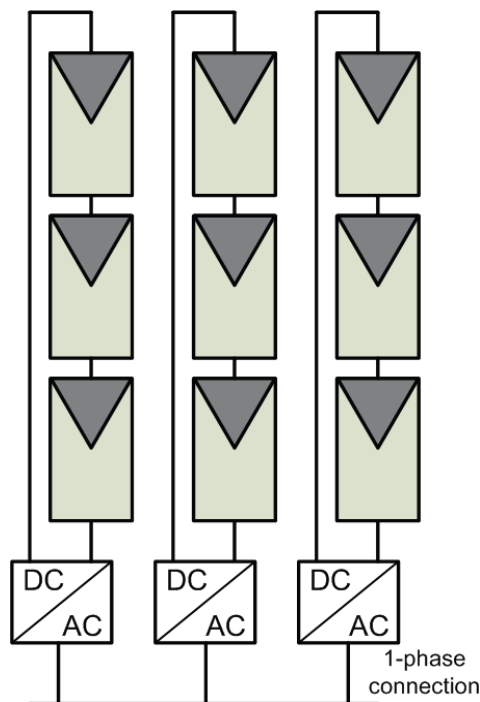
Kuva 29. Verkkoon syöttävä aurinkosähköjärjestelmä.

Verkkoinverttereissä on käytössä useita eri tekniikoita. Niissä voi olla muuntajia erottamassa tasajännitettä vaihtovirrasta tai sitten ne toimivat ilman muuntajia. Muuntajattomat invertterit ovat yleisiä Euroopassa sillä ne ovat kevyitä ja ne toimivat korkealla hyötysuhteella. Inverttereissä voi olla myös useampivaiheisia muunnoksia, joissa paneelien tuottama tasavirta muutetaan ensin korkeataajuiseksi vaihtojännitteeksi, sitten uudelleen tasajännitteeksi ja lopulta matalataajuiseksi vaihtojännitteeksi.

Yleinen kaavio verkkoon kytketystä invertterijärjestelmästä on esitetty kuvassa 30. Järjestelmä koostuu paneeliketjusta, invertteri- ja suodatinyksiköstä, ohjausyksiköstä ja verkosta. Paneeliketju voi olla yksittäinen paneeli, useammasta paneelistä muodostunut ketju tai useista rinnakkaisista ketjuista muodostunut järjestelmä.



Kuva 30. Verkkoinvertterikytkennän periaatekaavio.



Kuva 31. Useista paneeliketjuista koostuvan aurinkosähköjärjestelmän invertterikytkentä.

Pienet aurinkosähköjärjestelmät kytetään yleensä yhteen vaiheeseen, mutta suuremmat järjestelmät (> 3,8 kW) kytetään komivaiheisesti. Invertteri voidaan kytkeä jokaiseen paneeliketjuun, jolloin ne pystyvät seuraamaan kunkin ketjun maksimitehopistettä (MPPT). Tämä parantaa järjestelmän hyötysuhdetta, koska ketjujen erilaiset valaistuosuhteet ja muut paneelien väliset eroavuudet saadaan paremmin huomioitua.

5. AURINKOSÄHKÖASENNUKSET

5.1 Sähköasennuksen toteuttaminen

Standardit, asetukset ja ohjeistukset ovat vielä puutteellisia aurinkoenergiajärjestelmien osalta. Aurinkosähköjärjestelmien asennusta varten on kuitenkin julkaistu standardi SFS 6000-7-712, Aurinkosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät. Se sisältää ohjeita suojausmenetelmistä ja aurinkosähköpaneelien valinnasta ja asentamisesta. Standardin mukaisesti aurinkosähköjärjestelmän kaikki paneeliketjut liitetään yhteen liitäntäkotelossa, jonne voidaan tarvittaessa sijoittaa myös suojalaitteita. Invertterin huollon takia on oltava erotuslaitteet, jolla se saadaan erotettua tasasähköosasta ja vaihtosähköosasta. Kaikki liitäntäasiat on varustettava varoituskilvellä, joka kertoo, että sisällä olevat osat voivat olla jännitteellisiä vielä invertterin erottamisen jälkeen. Käytettävien paneelistokaapelien on kestettävä ulkoisia olosuhteita kuten tuulta, jään muodostumista, lämpötilaa ja auringon säteilyä. [8]

Aurinkosähköasetukset vaativat sähkötöiden osalta samat vaatimukset kuin normaalisähköasennuksilta ja ne ovat luvanvaraisia töitä. Sähköasennuksien tekemiseen pitää käyttää riittävän ammattitaitoisia ja päteviä henkilöitä sekä sopivia materiaaleja. Sähkölaitteet on asennettava laitteen valmistajan asennusohjeen mukaisesti. Sähköasennusten tekijöiltä vaadittavat pätevyudet on määritelty kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä sähköalan töistä (516/1996). [8]

5.2 Pienjännitedirektiivi

Alkuperäiseen vuonna 1973 julkaistuun pienjännitedirektiiviin on vuosien mittaan tehty melkoisesti muutoksia. Direktiivin kaikki muutokset on koottu yhteen asiakirjaan ja direktiiville on annettu uusi numero. Direktiivi 2006/95/EY on astunut voimaan 16.1.2007 ja aikaisempi pienjännitedirektiivi 72/23/ETY on kumottu. [8]

Pienjännitedirektiivin tarkoituksena on taata sähkölaitteen turvallisuus valmistajan tarkoittamassa käytössä. Direktiiviä sovelletaan sähkölaitteelle, joka on suunniteltu toimivaksi vaihtovirralla nimellisjännitealueella 50 V-1000 V ja tasavirralla nimellisjännitealueella 75 V-1500 V. Direktiivi käsittelee terveyst- ja turvallisuusriskejä ja sitä sovelletaan kaikkiin sähkölaitteen käytöstä aiheutuviin vaaroihin. Terveysten vaikuttavat sähkömagneettisten kenttien emissiot kuuluvat myös pienjännitedirektiivin alaisuuteen. [8]

5.3 Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon

Mikrotuotantoa on sellainen sähköntuotanto, joka on tarkoitettu ensisijaisesti kohteen omaan käyttöön ja verkkoon syöttö on satunnaista tai vähäistä. Tällaisissa tuotantolaitoksissa verkkoon syöttäminen ei ole ensisijainen tarkoitus. Mikrotuotantoa ovat siis lähinnä yksityisten kuluttajien tai pienyritysten hankkimat pienet sähköntuotantolaitokset, jotka liitetään heidän kulutuskohteensa sähköjärjestelmään. Yleisimpiä tuotantolaitostyyppinä ovat tällä hetkellä tuulivoimalat, aurinkovoimalat sekä hyvin pienet biopolttolaitokset. [9]

Liian suuri yksivaiheinen tuotanto aiheuttaa epätasapainoa verkkoon ja vaarantaa verkon turvallisuuden ja luotettavuuden. Energiateollisuuden antaman suosituksen [5] mukaan mikrotuotannon liittymisen maksimisulakekoko yksivaiheiselle tuotannolle on 16 A. Täten yksivaiheisen mikrotuotantolaitoksen *maksimiteho* saa olla noin 3,7 kVA ja kolmivaiheisen 3 x 16 A mikrotuotantolaitoksen maksimiteho voi olla noin 11 kW. [9]

Mikrotuotantolaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät laitteiston irti yleisestä verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa, tai jos jännite tai taajuus generaattorilaitteiston navoissa poikkeaa mikrotuotantolaitoksen sallitulle toiminnalle asetelluista jännite- ja taajuusarvoista. Mikrotuotantolaitteisto ei saa koskaan kytkeytyä verkkoon, kun verkon jännite tai taajuus ei ole annetuissa rajoissa. [9]

Verkon huolto- ja korjaustilanteissa on tärkeää, ettei mikrotuotantolaitos ylläpidä verkon jännitettä. Mikrotuotantolaitoksen oman suojauksen tulee huolehtia siitä, ettei laitos voi syöttää jännitteettömään verkkoon. Kuitenkin standardit vaativat lisäerottimen, jolla voidaan varmistua verkostotöiden aikaisesta asennusturvallisuudesta. Erottimena voidaan käyttää erillistä mikrotuotantolaitoksen yhteyteen asennettua erotinta, jossa on näkyvä ilmaväli tai luotettava mekaaninen asennonosoitus tai kohteen sähkökeskuksen pääsulakkeet voidaan irrottaa. Verkon korjaus- ja huoltotilanteissa tulee varmistua siitä, että erottimia käytetään asianmukaisesti. [9]

Mikrotuotantolähdöt tulee merkitä asianmukaisesti sekä itse laitoksen että verkon puolella. Käytännössä kaikki sellaiset paikat, jotka mikrotuotantolaitos voi tehdä jännitteisiksi, tulee merkitä. Tällaisia paikkoja ovat muun muassa muuntajan lähdöt tai mahdolliset jakokaapit. Myös asiakkaan omaan sähkökeskukseen tulee asianmukaisesti merkitä, että siihen on liitetty mikrotuotantoa. Varoituskilpien tekstien tulee olla informatiivisia ja asianmukaisissa paikoissa, ja niiden tulee olla suomeksi. Varoituskytlin teksti voi olla esimerkiksi: "Sähköntuotantolaitos, Varo takajännitettä".[9]

Mikrogeneraattorin synkronointi verkon kanssa tulee olla täysin automatisoitua. Liittymän suojausten tulee taata, että tehon syöttö verkkoon alkaa vain silloin, kun jännite ja taajuus ovat olleet suojausasetusten sallimissa rajoissa vähintään tietyn minimiajan, joka on generaattoreille 3 minuuttia ja taajuusmuuttajilla liitetyille järjestelmille 20 sekuntia. [9]

Mikrotuotantolaitoksen tulee aina irrota verkosta Loss of Mains (LoM) -tilanteessa, eli tilanteessa, jossa verkon jännite katoaa. Mikrotuotantolaitos ei saa milloinkaan jäädä yksin syöttämään saarekettä. [9]

6. SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULUN AURINKOSÄHKÖ-JÄRJESTELMÄ

Savonia ammatikorkeakoulun energialaboratorion aurinkosähköjärjestelmä on rakennettu siten, että katolla on kahdessa erillisessä kääntyvässä telineessä kahden eri valmistajan, Solara ja Gällivare PhotoVoltaic, kaksi 85 wattia tuottavaa paneelia. Paneelien tekniset tiedot löytyvät liitteistä (Liite 1, Liite 2 ja Liite 3). Katolta aurinkoenergia siirretään kaapeleita pitkin ilmastointihuoneessa olevaan ohjauskeskukseen. Keskus on rakennettu niin, että valintakytkimellä voidaan valita aurinkoenergian siirtymisen joko sähköverkkoon tai akkuihin. Myös tiedonkeruu kertyneestä aurinkoenergiasta kerätään ohjauskeskuksessa olevan mittausjärjestelmän avulla.



Kuva 32. Aurinkopaneelien asennusteline.

Aurinkopaneelit on asennettu telineeseen, jossa niiden suuntaa voidaan kääntää pysty- ja vaakasuunnassa (Kuva 32). Paneelipareihin on kytketty kääntömoottorit, joiden avulla niiden suuntausta voidaan muuttaa joko kellon tai valaistuksen mukaan.



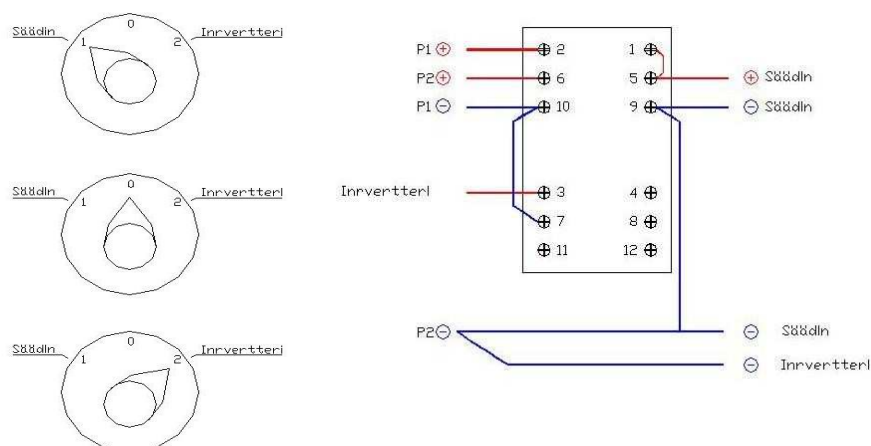
Kuva 33. Pyranometri.

Auringonsäteily mitataan Kipp&Zonen CM3 pyranometrillä (kuva 33). Se mittaa auringosta tulevan suoran säteilyn sekä hajasäteilyn eli niin sanotun globaalisäteilyn. Pyranometri on suunnattu etelään ja asennettu 40° kulmaan pystysuoraan suuntaan nähden. Pyranometri sijaitsee noin 10 m paneelien takana.

Aurinkopaneelien kytkentä akustoon on esitetty Liitteessä 8. Aurinkopaneelit on kytketty pareittain rinnan ja yhdistetty SunSaver MPPT-säätimeen. Rinnan kytketyillä paneelipareilla on sama napajännite, mutta virta voi vaihdella. Sen vuoksi molemmilla paneelipareilla on oma virran mittaus. Säätimellä voidaan ladata joko yhtä tai kahta 12 V akkua, jotka voivat olla sarjassa tai rinnan. Säädin tunnistaa automaattisesti akkujännitteen 12V tai 24V.

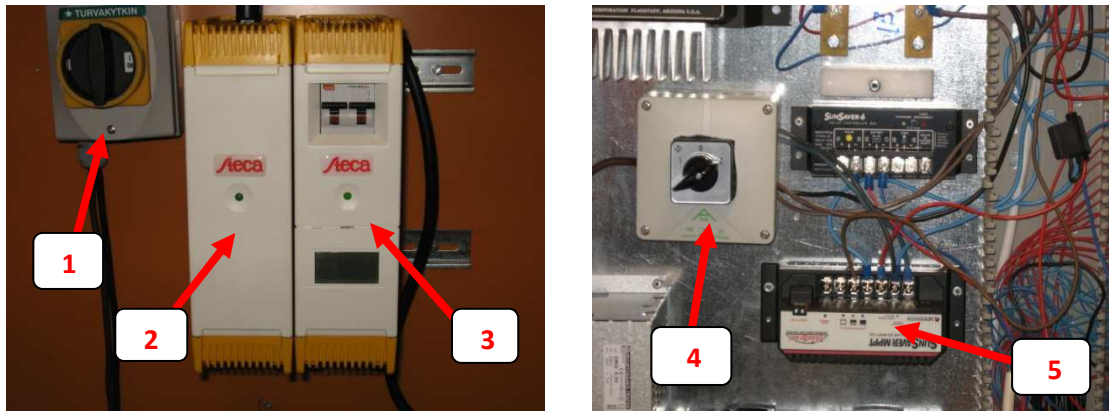
Invertterikytkentä on esitetty kuvassa 34. Siinä kaikki paneelit on sarjassa, jolloin niiden läpi menee sama virta. Tällöin virranmittaus pitäisi näyttää samaa lukemaa.

Paneelipareilla voi olla eri jännite, mutta niiden jännitettä ei voida mitata erikseen, koska jännitteen mittaus suoritetaan aina maata vastaan. Tämän vuoksi voidaan mitata vain koko paneeliston jännite.



Kuva 34. Valintakytkimen asennot ja johtimien kytkentäkaavio.

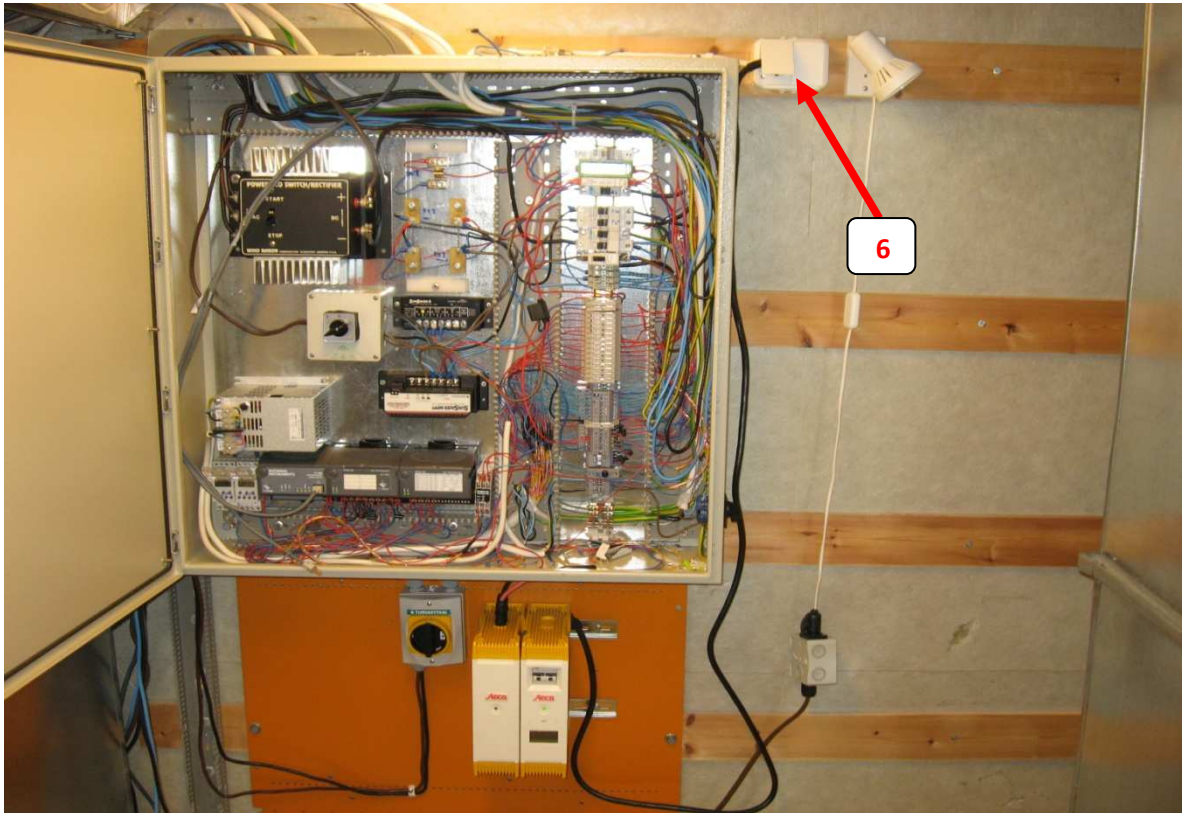
Valintakytkimellä voidaan valita syötetäänkö paneeleilta tuleva sähköenergia suoraan sähköverkkoon vai säätimen kautta akkuihin. Mittausjärjestelmä on rakennettu niin, että paneelien virta ja jännite mitataan ennen valintakytkintä.



Kuva 35. a) Invertteriyksikkö. b) Lataussäädinyksikkö.

Kuvassa 6.1 a) on esitetty invertteriyksikköön liittyvät laitteet. Invertterin ja paneelien välisellä erotuskytkimellä (1) voidaan kytkeä aurinkopaneelit irti järjestelmästä. Steca Grid 500 invertteri (2) muuntaa aurinkopaneeleilta tulevan tasasähkön 230 V vaihtojännitteeksi. Steca Grid Control yksikkö (3) tahdistaa invertteriltä tulevan vaihtojännitteen samaan tahtiin sähköverkon kanssa.

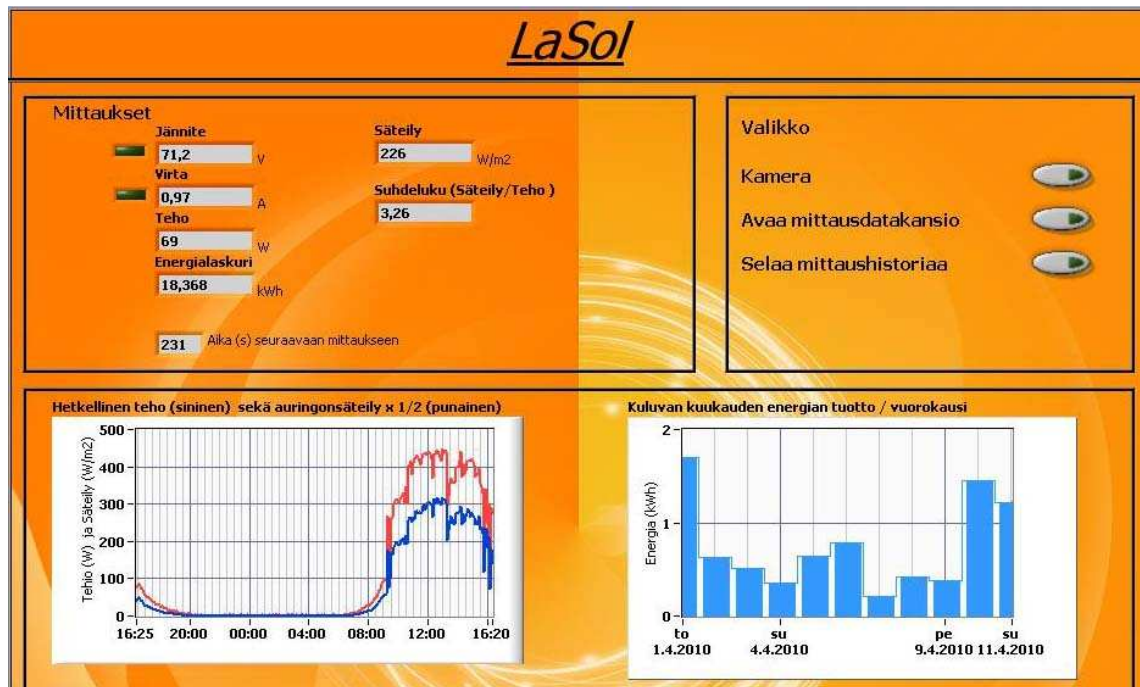
Kuvassa 6. b) näkyvät lataussäätimeen liittyvät laitteet. Valintakytkimellä (4) valitaan, joko verkkoinvertteri- tai lataussäädintoiminto. Kun teho syötetään sähköverkkoon, paneelit ovat sarjassa. Akkuun syötettäessä paneelit ovat pareittain rinnan, jolloin jännite on 24 voltia ja lataussäädin muuntaa jännitteen 12 voltiksi, jotta se voidaan ajaa akkuun. Lataussäädin (5) on SunSaver MPPT 15A 75V 12/24V -säädin, joka huolehtii akun varauksesta.



Kuva 36. Aurinkopaneelijärjestelmän mittaus- ja kontrollikeskus.

Kytchentäkaapissa ovat aurinkoenergiajärjestelmän sähkökytkennät sekä National Instruments-mittausjärjestelmän laitteet ja kytkennät, joilla tehdään tarvittavat virran- ja jännitteenmittaukset (Kuva 36). Aurinkopaneelien tuottama teho syötetään maadoitetun pistorasian (6) kautta sähköverkkoon. 10 A automaattisulake (7) on suojana inverterijärjestelmän ja verkon välissä.

Mittaustietojen keräys National Instruments-mittausjärjestelmästä tehdään Labview-ohjelmalla LaSol. Mittaustulokset luetaan kerran sekunnissa ja niistä lasketaan 5 min keskiarvo, joka tallennetaan tiedostoon. Lisäksi ohjelmalla lasketaan vuorokauden ja kuukauden energiakertymät.

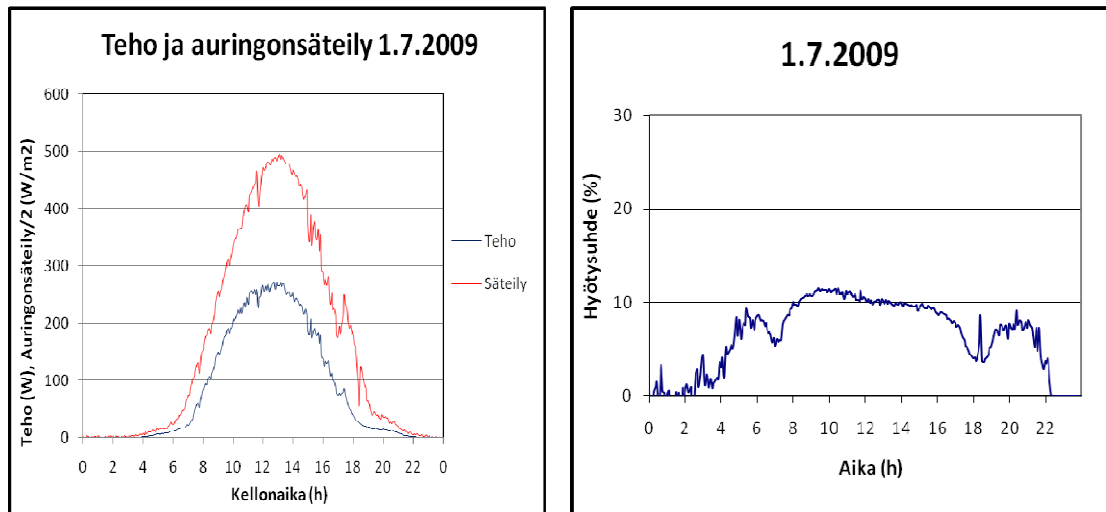


Kuva 37. Aurinkopaneelijärjestelmän seurantaohjelman LaSol käyttöliittymä.

Kuvassa 37 on esitetty aurinkopaneelijärjestelmän seurantaohjelman LaSol käyttöliittymä. Siitä nähdään hetkelliset mittausarvot jännitteelle, virralle, teholle ja auringonsäteilylle. Lisäksi näytetään kertynyt energia sekä säteilyn ja tehon suhdeluku. Käyttöliittymän alapuolella on tehon ja säteilyn kuvaaja viimeisen 24 tunnin ajalta, kuluvan kuukauden vuorokautinen energiantuotto sekä kuluvan vuoden kuukausittainen energiantuotto. Lisäksi käyttöliittymässä olevan valikon avulla voidaan selata aikaisempaa mittaushistoriaa.

7. AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN TESTAUS

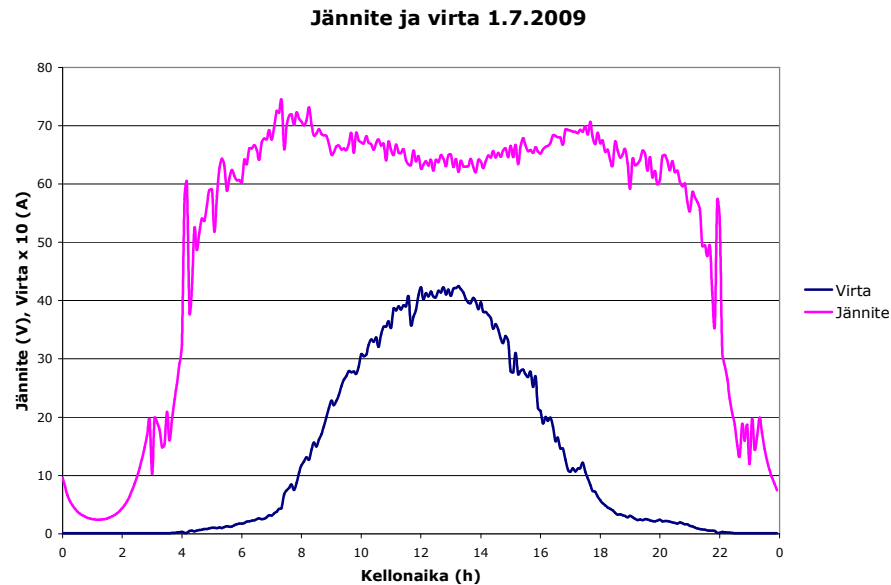
7.1 Sähköverkkoon kytketyn järjestelmän testaustuloksia



Kuva 38. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 1.7.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

Kuvassa 38 on esitetty paneelien hetkellinen teho ja auringonsäteily sekä järjestelmän paneelien hyötysuhde. 1.7.2009 oli täysin pilvetön päivä, jolloin oli kuitenkin jonkin verran utuisuutta. Tämän vuoksi auringonsäteily jäi hieman alle 1000 W/m^2 ja paneelien suurin teho oli noin 265 W. Auringonsäteily ja paneelien tehontuotto oli maksimissaan kello 13, jolloin aurinko oli kesäaikana etelässä. Paneelit eivät ole suoraan suunnattu etelään, koska aamupäivällä tehontuotto oli 24 % suurempi kuin iltapäivällä klo 13 jälkeen. Koko vuorokauden energiantuotto oli 1,97 kWh. Kello 9 ja 16 välisenä aikana energian tuotto oli 1,57 kWh eli 80 % koko vuorokauden energiantuotosta. Koska aurinko kiertää tunnissa 15° , silloin klo 9 ja 16 välisenä aikana aurinko on kiertynyt 105° . Tämän vuoksi paneelien suuntauksessa olisi tärkeä saada vapaa auringonpaiste $\pm 50^\circ$ kulmaan etelään katsottuna.

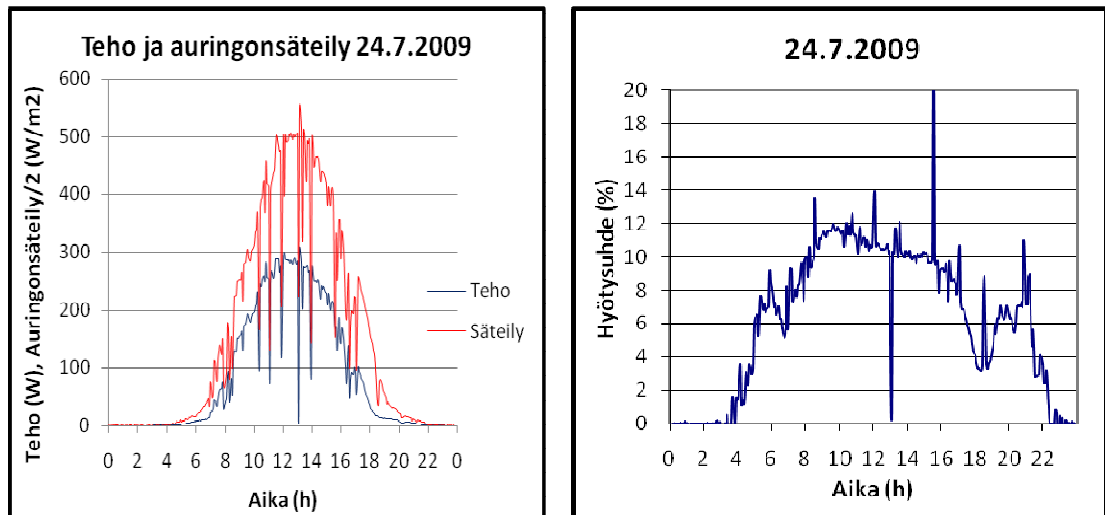
Järjestelmän hyötysuhde eli aurinkopaneelien energiantuoton suhde pyranometrillä mitatun auringonsäteilyn määrään laski kello 9 ja kello 16 välisenä aikana noin 12 %:ista noin 9 %:iin. Osa tästä selittyy paneelien lämpötilan nousulla, mikä pudottaa paneelien jännitettä. Suurempi merkitys on kuitenkin sillä kuinka hyvin paneelit ja pyranometri on suunnattu samansuuntaisiksi. Koska energiantuotto oli suurempi aamupäivällä kuin iltapäivällä, ja käyrät eivät ole täysin symmetrisesti kello 13:sta molemmin puolin, on suhde aamupäivällä suurempi kuin iltapäivällä.



Kuva 39. Paneeliston hetkellinen virta ja jännite 1.7.2009.

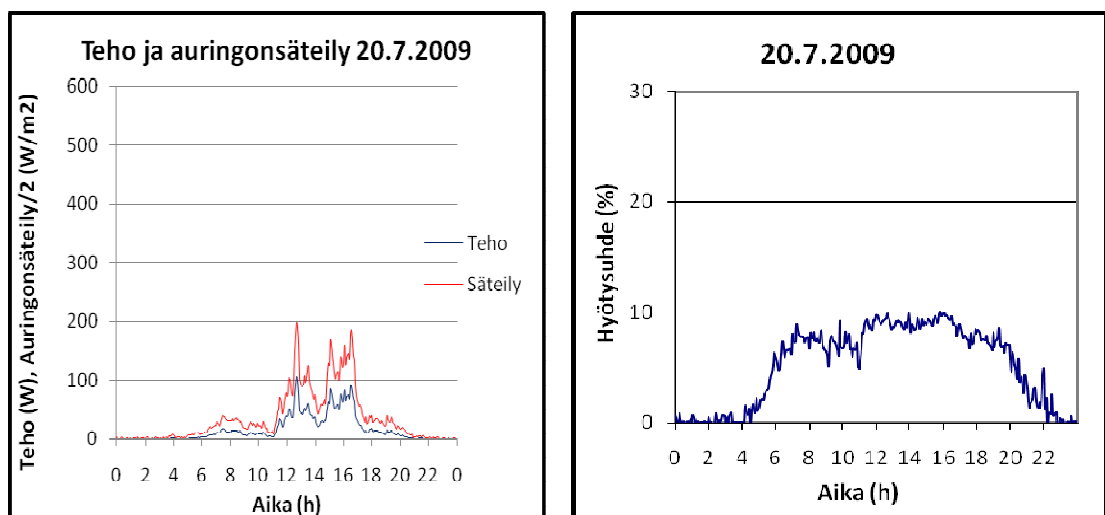
Kuvassa 39 on esitetty paneelien hetkellinen jännite ja virta 1.7.2009. Paneelien jännite nousi jo kello 6 yli 60 V, vaikka virta lähti kasvuun vasta kello 8. Jännite pysyi korkealla klo 21 asti. Kun virta kasvaa, jännite laskee, mikä johtuu aurinkopaneelien ominaiskäyrästä (ks. kuva 18). Jo heikkokin valaistus saa jännitteen paneelissa nousemaan nopeasti, vaikka valo ei tuota vielä virtaa. Tällöin paneelissa saavutetaan niin sanottu tyhjäkäyntijännite. Tämä saavutetaan uudestaan illalla, kun valon määrä heikkenee niin paljon, että se ei riitä tuottamaan enää virtaa.

Suurin virta noin 4,2 A saavutettiin klo 13, kun aurinko oli etelässä. Tällöin paneelien jännite oli noin 63 V ja tehontuotto oli $63 \text{ V} \times 4,2 \text{ A} = 265 \text{ W}$. Valmistajan antamien arvojen (liite 1) mukaan Solaran paneelien virta tehopisteessä on 4,72 A ja jännite 18 V. Vastaavat GVP-85 paneelien arvot ovat 4,86 A ja 17,5 V (liite 3). Koska kaikki paneelit ovat sarjassa, jännitteen pitäisi olla kaikkien paneelien jännitteiden summa eli 71 V. Virta määräytyy heikoimmin tuottavan paneelin virran mukaa eli Solaran 4,72 A. Mitattu virta ja jännite jäivät vain noin 10 % alle valmistajan ilmoittamien arvojen.



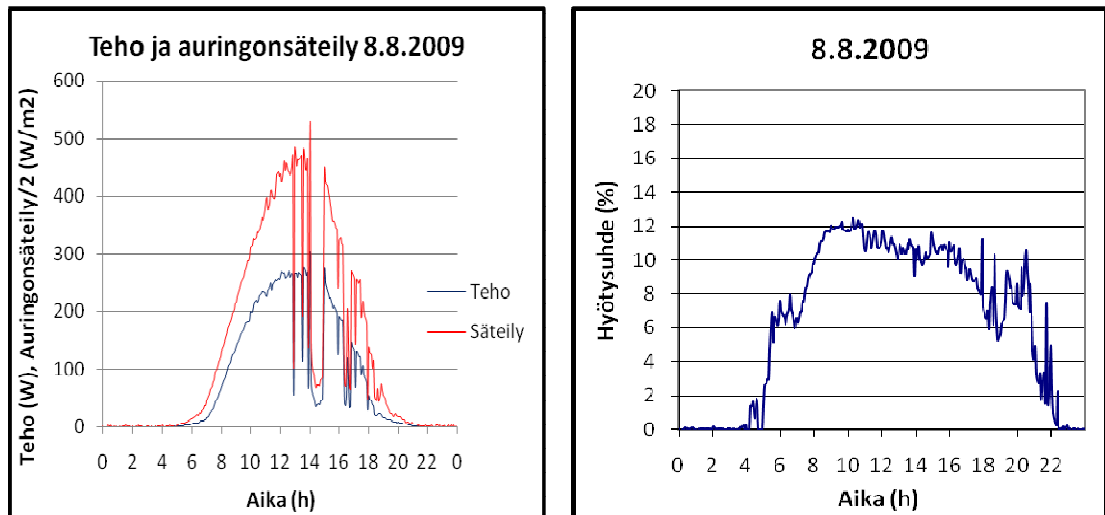
Kuva 40. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 24.7.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

24.7.2009 oli hyvin aurinkoinen päivä, jolloin taivaalla kulki vain joitakin yksittäisiä pilvilautoja. Auringonsäteily keskipäivällä oli noin 1000 W/m^2 ja aurinkopaneelien tehontuotto lähes 300 W . Koko vuorokauden energiantuotto oli $1,93 \text{ kWh}$. Paneelien nimellisteho on 340 W , joten saavutettu teho oli noin 10% alle nimellistehon. Tämä selittyy pääosin invertterin hyötysuhteella, joka valmistajan ilmoituksen mukaan on 95% . Loppuosa selittyy johtimien tehohäviönä ja paneelien hyötysuhteen laskuna lämpötilan vaikutuksesta. Hyötysuhde putosi kello 10 ja 16 välisenä aikana noin 12% :sta alle 9% :iin.



Kuva 41. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 20.7.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

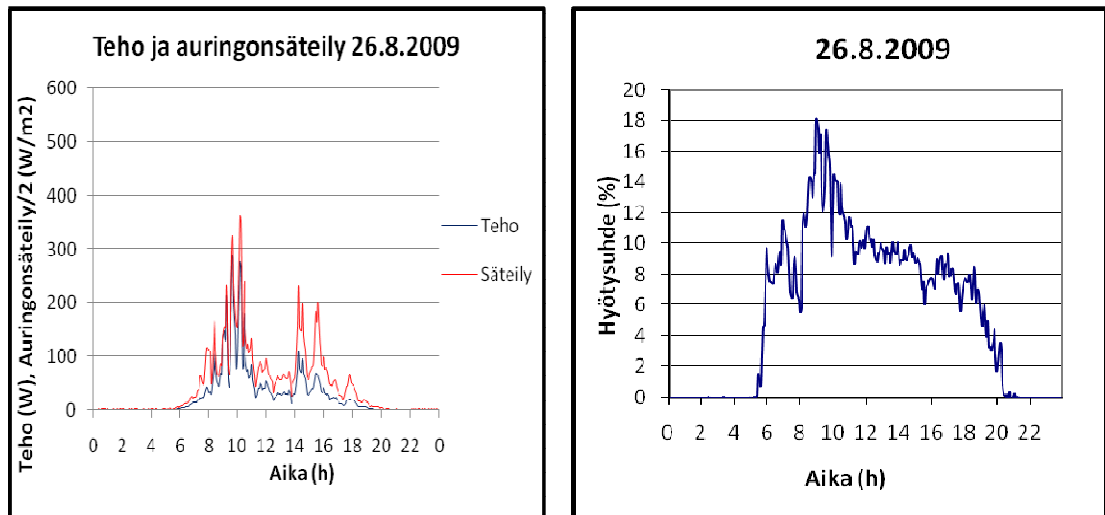
20.7.2009 aamupäivällä taivas oli paksujen pilvien peitossa, mutta iltapäivällä pilviverho oli hieman ohuempi. Paneelien maksimiteho jäi alle 100 W ja koko vuorokauden energiantuotto oli $0,383 \text{ kWh}$. Paneelien hyötysuhde oli alle 10% , ja normaalia hyötysuhteen alenemista päivän mittaa ei havaita. Vaikka auringonsäteilyn voimakkuus vaihtelee melko paljon iltapäivällä, hyötysuhde pysyy lähes vakiona.



Kuva 42. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 8.8.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

Kuvasta 42 näkyy, että aamupäivä 8.8.2009 kello 13 asti oli aurinkoista, mutta iltapäivällä oli vaihtelevaa pilvisyyttä. Keskipäivällä auringonsäteily oli voimakkaimmillaan noin 930 W/m^2 , jolloin paneelien teho oli noin 270 W. Kello 14 havaitaan hyvin voimakas säteilypiikki 1060 W/m^2 , mikä ilmeisesti johtuu niin sanotusta pilvenreunaefektistä. Tällöin paneeliin kohdistuu sekä suoran auringosta että pilven reunasta heijastunut säteily, mikä näkyy myös piikkinä paneelien tehontuotossa. Samanlainen piikki havaitaan molemmissa käyrissä myös pilven poistumisen jälkeen kello 15. Pilvi on ollut hyvin tumma, todennäköisesti sadepilvi, koska sen on heikentänyt 85 % auringonsäteilyn voimakkuutta ja pudottanut paneelien tehon noin 40 W:iin. Koko vuorokauden energiantuotto oli 1,79 kWh.

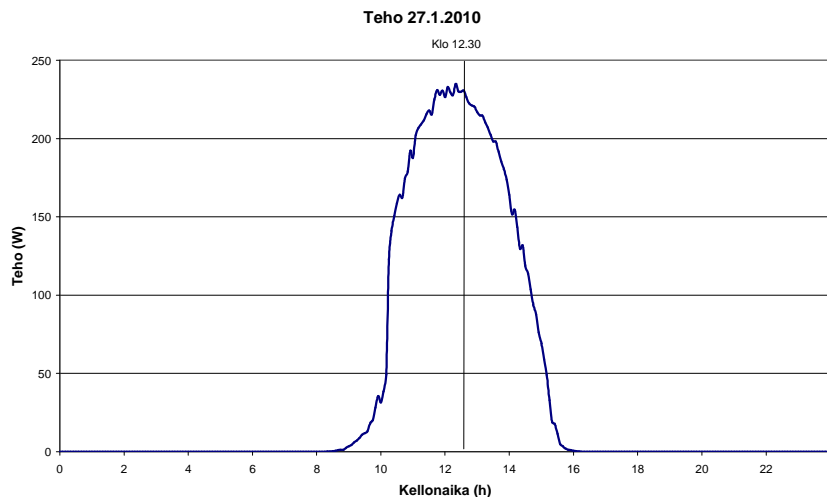
Vaikka auringonsäteilyn voimakkuus on vaihdellut huomattavasti päivän aikana, on paneelien tehontuotto muuttunut samassa suhteessa ja hyötysuhde säilynyt lähes vakiona. Hyötysuhteessa havaitaan myös tässä tapauksessa tyypillinen lasku noin 12 %:ista alle 9 %:iin päivän aikana.



Kuva 43. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 26.8.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

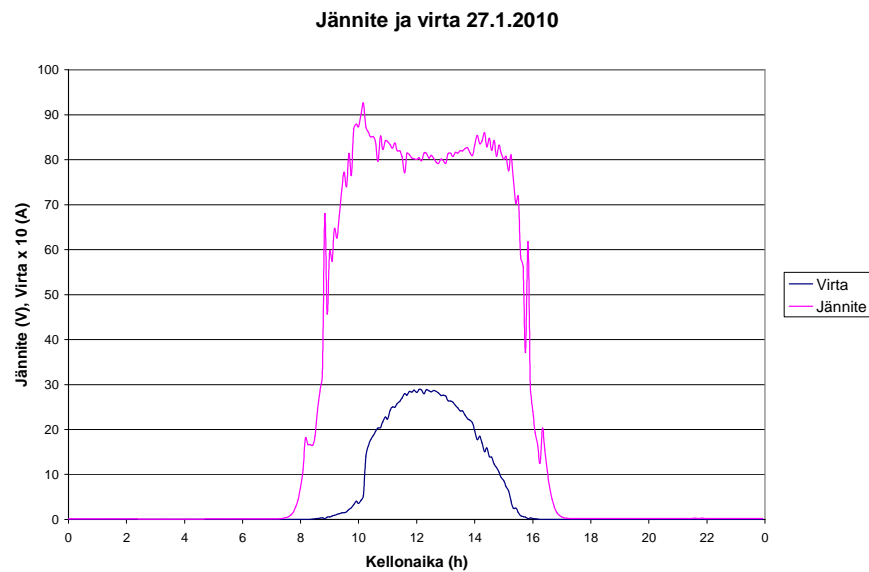
26.8.2009 oli hyvin pilvinen ja sateinen päivä (Kuva 43). Aamupäivällä pilviverho ajoittain oheni, mutta keskipäivällä klo 11-14 taivas oli hyvin paksujen sadepilvien verhoama, jonka jälkeen pilviverho hieman oheni. Auringonsäteily oli aamupäivällä suurimmillaan noin 600 W/m^2 , keskipäivällä noin 100 W/m^2 ja iltapäivän kirkkaimpina hetkinä noin 400 W/m^2 . Paneelien energiantuotto kävi aamupäivällä hetkittäin jopa arvossa 280 W, mutta oli keskipäivällä vain 20-50 W, ja nousi iltapäivällä parhaimmillaan noin 100 W:iin. Koko vuorokauden energiantuotto oli vain 0,63 kWh.

Hyötysuhteessa havaitaan aamupäivällä huomattavan korkeita arvoja, jopa noin 18 %. Tämä voi johtua siitä, että auringonsäteilyä mittaava pyranometri on noin 20 m paneelien takana, jolloin paneeleihin on voinut kohdistua valoa hieman eri tavalla pilvien lomasta kuin pyranometriin. Keskipäivästä eteenpäin hyötysuhdekäyrän muoto vastaa tyypillistä mittauskäyrää.



Kuva 44. Paneeliston tuottama hetkellinen teho 27.1.2010.

Kuvassa 44 on esitetty aurinkopaneelien tuottama hetkellinen teho 27.1.2010. Paneelit oli suunnattu noin 30° itään. Pyranometrin päällä oli lunta ja siitä ei saatu luotettavia mittauksia. Tehotuotto alkoi nousta jyrkästi noin kello 10, se saavutti maksimin kello 12 ja tuotto alkoi pudota jyrkästi taas noin kello 15. Tehon jyrkkä nousu ja lasku selittyvät todennäköisesti sillä, että talvella ilmassa on hyvin vähän vesihöyryä absorboimassa auringon valoa. Sen vuoksi paneelit alkavat tuottaa hyvin energiaa vaikka aurinko on vielä lähellä horisonttia. Kuitenkin päivän lyhydestä johtuen paneelit tuottivat hyvin energiaa vain noin 5 tunnin ajan. Koko vuorokauden energiantuotto oli 0,93 kWh.

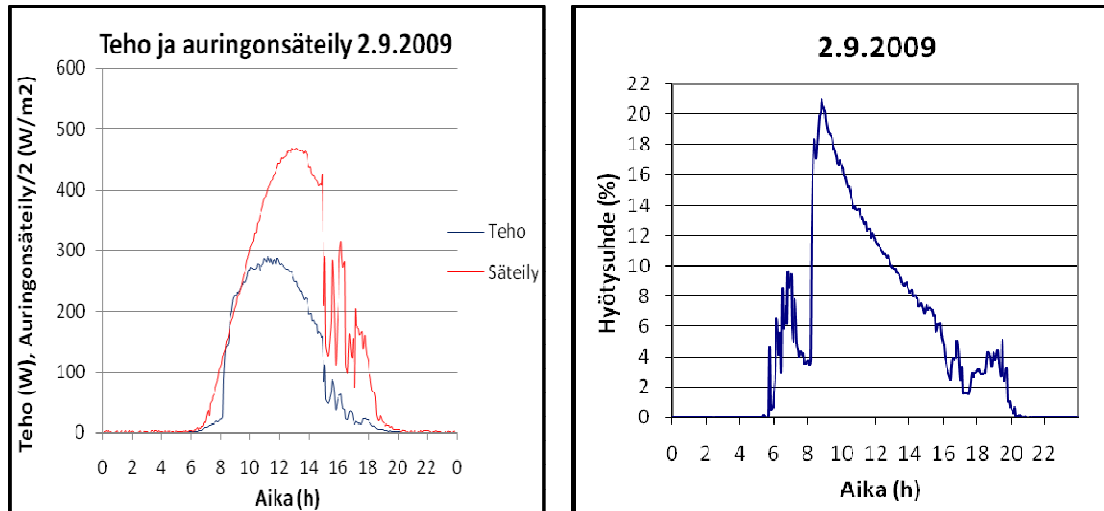


Kuva 45. Paneeliston hetkellinen virta ja jännite 27.1.2010.

Kuvassa 45 on esitetty paneeliston hetkellinen virta ja jännite 27.1.2010. Päivä oli hyvin kylmä ja lämpötila oli alle -25°C koko päivän ajan. Tämän vuoksi paneeliston jännite oli hyvin korkea 80 - 90 V. Vastaava heinäkuussa 1.7.2009 mitattu jännite oli 65 - 70 V. Eroa oli 15 - 20 V eli noin 25 %. Paneelien valmistajien ilmoittama jännitteen lämpötilakerroin on $-0,33\%/K$ (Liite 2). Jos lämpötilan muutos on 75°C , pitäisi paneelien jännitteen muuttua silloin noin 25 %. Heinäkuussa paneelien lämpötilan olisi pitänyt olla noin $+50^\circ\text{C}$, jotta saavutetaan 75°C lämpötilaero. Tämä on hyvin mahdollista, koska auringonpaisteessa paneelit ovat polttavan kuumia.

Paneelien virta oli heinäkuussa 1.7.2009 keskipäivällä hieman yli 4 A, kun tammikuussa se oli alle 3 A. Paneelien jännitteen nousu talvella parantaa heikon valaistuksen aiheuttamaa virrantuottoa. Tämän vuoksi heinäkuussa mitattu suurin teho 265 W ei ole kovin paljon suurempi kuin tammikuun pakkasilla mitattu teho 230 W. Tehontuottoa lisäsi auringonvalon heijastuminen lumesta.

7.2 Akkujärjestelmän testaustuloksia

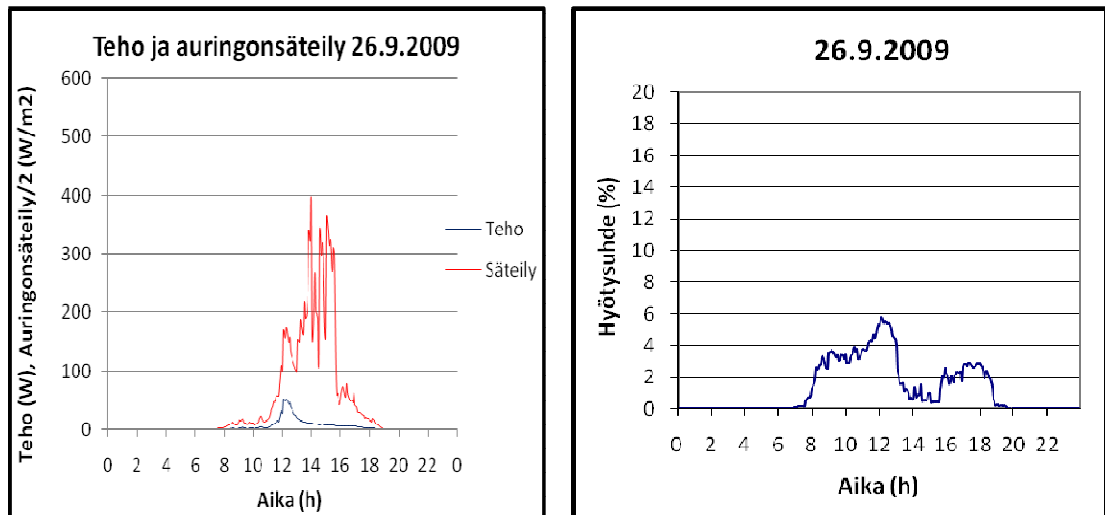


Kuva 46. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 2.9.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

Kuvassa 46 on esitetty paneelien teho ja auringonsäteily 2.9.2009, kun teho syötetään säätimen kautta akkuihin. Paneelit oli suunnattu noin 60° itään. Päivä oli hyvin aurinkoinen ja auringonsäteily oli keskipäivällä noin 930 W/m^2 ja paneelien teho 280 W. Kello 15 jälkeen esiintyi jonkin verran pilvisyyttä. Merkittävää auringonsäteily ja tehokäyrissä on se, että tehokäyrä nousee hyvin nopeasti auringon noustessa. Tämä johtuu siitä, että paneelit on käännetty itää kohti, jolloin aurinko osuu niihin aamulla ensimmäiseksi. Illalla vastaavasti aurinko kääntyy pois paneeleista ja niiden tehontuotto putoaa nopeasti. Paneelien energiantuotto oli hyvä kello 8 ja kello 15 välisenä aikana. Näin energiantuottoa saatiin siirrettyä noin tuntia aikaisemmaksi verrattuna suoraan etelään päin suunnattuihin paneeleihin. Vaikka paneeleja oli käännetty 60° itään, saadaan tuottoa pidennettyä vain yksi tunti, koska auringon valoa ei ole aamulla tarjolla. Koko vuorokauden energiantuotto oli 1,71 kWh.

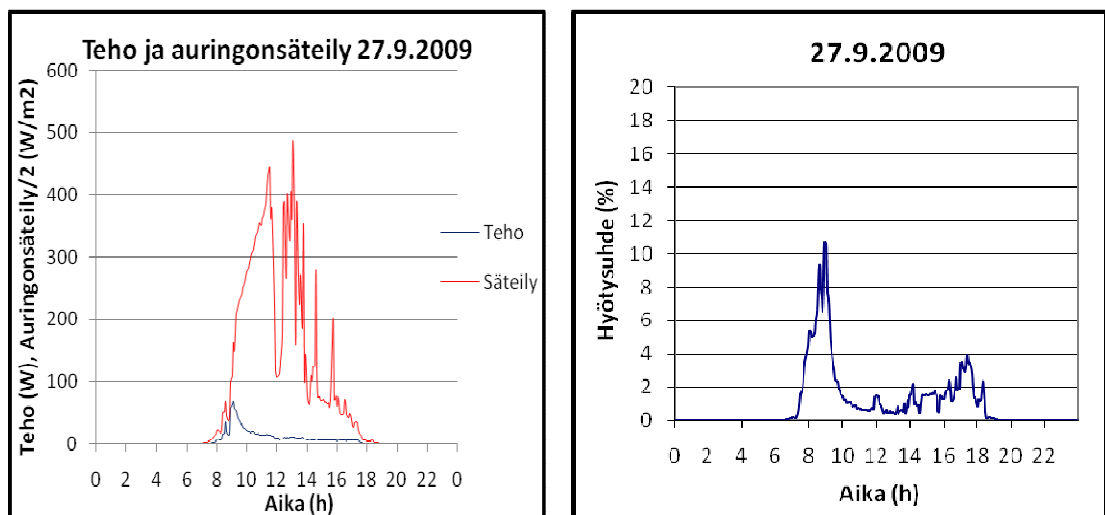
Paneelien suuntaus näkyy myös hyötysuhdekäyrässä. Aluksi hyötysuhde näyttäisi olevan jopa 20 %. Tämä on kuitenkin virheellinen arvo, koska aluksi paneeleihin osuu enemmän auringonvaloa kuin auringonsäteilyä mittaavaan pyranometriin sillä paneelit oli suunnattu 60° itään.

Käyrästä nähdään hyvin myös säätimen toiminta. Säädin rajoittaa energiansyöttöä akkuihin, koska akkujen jännite osoittaa niiden alkavan täytyä.



Kuva 47. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 26.9.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

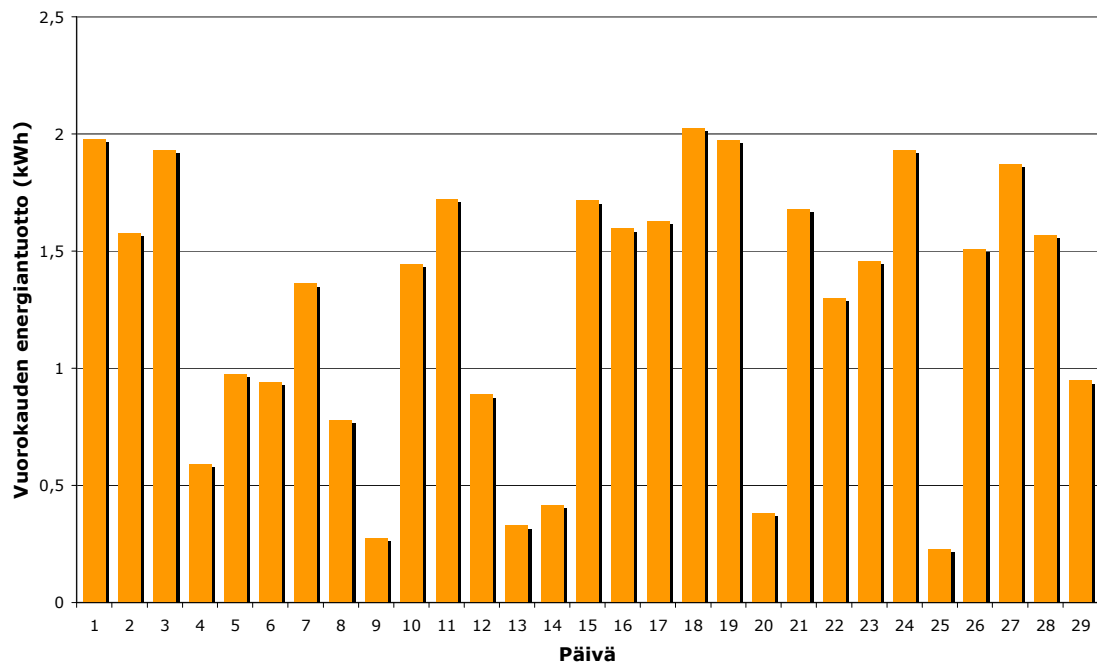
Kuvassa 47 on esitetty akkuun kytkettyjen paneelien teho ja auringonsäteily 26.9.2009. Myös tässä mittauksessa aurinkopaneelit oli suunnattu 60° itään. Akkua purettiin koko ajan 5 W halogeenilampulla. Yön aikana se ehti purkaa akkua sen verran, että akun jännite oli hieman pudonnut. Kun aurinko alkoi paistaa kello 12 jälkeen, säädin katkaisi kuitenkin nopeasti tehonsyötön, koska paneelien 50 W teholla akku latautui hyvin nopeasti täyteen. Tämän vuoksi hyötysuhde jäi hyvin alhaiseksi. Koko vuorokauden aikana akkuun syötettiin energiaa vain 0,10 kWh.



Kuva 48. a) Paneelien teho ja auringonsäteily 27.9.2009. b) Järjestelmän hyötysuhde.

27.9.2009 oli melko aurinkoinen päivä, vaikka iltapäivällä oli jo jonkin verran pilvilautoja. Auringonsäteily oli suurimmillaan 880 W/m² ja kello 13 aikaan olevassa piikissä jopa 980 W/m². Koko vuorokauden energiantuotto oli vain 0,13 kWh.

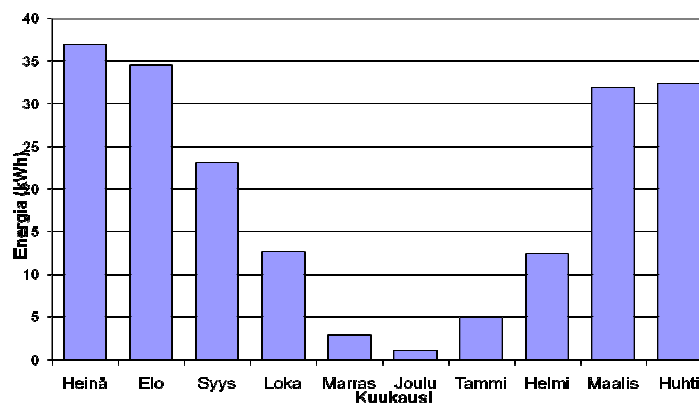
Aurinkoenergia heinäkuussa 2009



Kuva 49. Aurikosähkön vuorokautinen energiantuotto heinäkuussa 2009.

Paneelien tuottama energia heinäkuussa 2009 on esitetty kuvassa 49. Suurimmillaan energiantuotto oli noin 2 kWh ja pienimmillään noin 0,3 kWh vuorokaudessa. Keskimääräinen energiantuotto oli noin 1,3 kWh vuorokaudessa. Koko kuukauden energiantuotto oli 37 kWh. Kun paneelien energiantuotto parhaimmillaan oli heinäkuussa noin 300 W, voidaan arvioida, että tällä teholla keskimääräinen energiantuotto saavutettaisiin noin 4 h aikana.

Kuukausittainen energiantuotto 2009-2010



Kuva 50. Kuukausittainen energiantuotto 1.7.2009 – 30.4.2010.

Kuvassa 50 on esitetty kuukausittainen energiantuotto heinäkuusta 2009 maaliskuuhun 2010. Suurin energiantuotto oli heinäkuussa 2009 noin 37 kWh ja pienin joulukuussa, jolloin energiaa saatiin vain 1 kWh. Maaliskuussa energiaa saadaan jo lähes yhtä hyvin kuin kesäkuukausina. Tämä johtuu siitä, että kylmä sää pitää aurinkopaneelien

jännitteen korkeana ja lumi heijastaa tehokkaasti auringonsäteilyä. Jos touko- ja kesäkuun välisenä aikana saadaan energiaa likimain 35 kWh kuukaudessa, on koko vuoden energiantuotto noin 265 kWh. Tämä on likimain saman verran kuin aurinkopaneelien teho kertaa auringonpaistetuntien määrä eli $300 \text{ W} \times 1000 \text{ h} = 300 \text{ kWh}$. Auringonpaistetuntien määrä Varkauden korkeudella on noin 1000 h (ks. Taulukko 1).

Aurinkopaneelien energiantuotto on hyvin pieni lokakuun puolesta välistä helmikuun loppupuolelle eli noin 4 kuukauden ajan. Tänä aikana saatiin vain noin 10 kWh sähköenergiaa. Tämä on alle 5 % koko vuoden energiantuotosta.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Hajautettu sähköntuotanto on lisääntynyt ja tulee lisääntymään kiihtyvällä tahdilla asuin- ja liikekiinteistöissä sähköenergian hinnan noustessa. Järjestelmien sähkön tuotto on vielä alle puolet kiinteistön koko sähkön tarpeesta, mutta lähitulevaisuudessa järjestelmien koko kasvaa kovaa vauhtia.

Hajautetun sähköntuotannon lisääntyminen voi aiheuttaa paljon vaikeasti ennustettavia kuormituksen vaihteluita sähkönjakeluverkkoihin. Tästä syystä reaaliaikaiset ja tarkat energiamittaukset sekä hajautetun tuotannon tehokas hallinta on tärkeää. Hyvin suunniteltuna ja hallittuna se voi parantaa sähkönjakeluverkkojen käyttövarmuutta, edistää sähkömarkkinoiden toimintaa sekä parantaa yleistä energiatehokkuutta.

Olosuhteet Suomessa aurinkoenergian tuottamiseen ovat lähes yhtä hyvät kuin Keski-Euroopassa. Tällä perusteella Suomessa on tekniset mahdollisuudet seurata Saksan esimerkkiä aurinkosähkön hyödyntämisessä. Verkkoinvertterijärjestelmät ovat asuinrakennuksien omaan sähköntuotantoon tarkoitettuja järjestelmiä, joka tarvitsevat valtakunnallisen sähkön asuinrakennukseen toimiakseen.

Vuoden pimeimpänä aikana marraskuusta - tammikuuhun Suomessa on hyvin vähän auringonpaistetta, mutta vastaavasti kesällä sitä saadaan enemmän kuin Afrikassa eli aurinkosähkö soveltuu vähintäänkin erinomaisesti lomakäytössä oleville mökeille.

Savonia-ammattikorkeakoulun aurinkosähköjärjestelmä sopii hyvin erilaisten aurinkopaneelien ja olosuhteiden testaamiseen, koska mittaustuloksia saadaan seurattua hetkellisarvoina ja niistä saadaan monipuoliset dokumentit myöhempää käsittelyä varten. Järjestelmää voidaan myös muunnella erilaisiin järjestelmiin ja paneeliyhdistelmiin sopivaksi

Mittauksista saadaan esimerkiksi paneelien hetkellinen teho, auringonsäteily arvo sekä järjestelmän kokonaishyötysuhde. Saadut mittaustulokset ovat lähellä valmistajan ilmoittamia tehoarvoja.

Paneelien kääntyvää telinettä kannattaisi jatkossa muuttaa helpommin säädettäväksi sekä saada automaattisesti moottorilla kääntyvä paneelitelineet valmiiksi, jolloin saadaan aurinkoa seuraavan järjestelmän tuloksia.

LÄHTEET

- [1] <http://www.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/sanasto/index.html>
hakupäivä 8.9.2009
- [2] Aurinkoenergia dokumentti, Jorma Honkanen
- [3] <http://www.genergia.fi/aurinkoenergiaopas/>
hakupäivä 1.19.2010
- [4] Aurinkopaneelit dokumentti, Jorma Honkanen
- [5] [http://www.energia.fi/content/root_content/energiateollisuus/fi/julkaisut ja tutkimukset](http://www.energia.fi/content/root_content/energiateollisuus/fi/julkaisut_ja_tutkimukset) hakupäivä 1.3.2010
- [6] <http://www.suntekno.fi/index.jsp?pid=211>
hakupäivä 1.1.2010
- [7] <http://fi.wikipedia.org>
hakupäivä 16.10.2009
- [8] <http://www.tukes.fi>
hakupäivä 1.3.2010
- [9] <http://www.energia.fi/fi/julkaisut>
hakupäivä 3.3.2010
- [10] http://www.fmi.fi/saa/tilastot_9.html
hakupäivä 3.6.2010



SOLARA SM340S

Hoher Wirkungsgrad und Leistungsgarantie

Die leistungsfähige Siliziumtechnologie und die Anti-Reflexions-Schicht ermöglichen optimale Wirkungsgrade. Dies garantiert hohe Leistungen auch bei diffusem Licht und in lichtarmen Monaten. Die Solarmodule der SOLARA S-Serie verfügen über eine Garantie von bis zu 26 Jahren.

Montage

Die Module der SOLARA S-Serie haben einen sehr robusten und seewasserbeständigen Aluminium-Profilrahmen. Dies erhöht die Stabilität und die Montagefreundlichkeit. Zudem verfügen die Solarmodule über eine große, wasserdichte Anschlussdose.

High efficiency and performance guarantee

The efficient silicon technology and the anti-reflective layer allow for optimum efficiency. This guarantees high performance also during low irradiation and months with diminished light. The solar modules of the SOLARA S-Series come with up to 26 years guarantee.

Mounting

The modules of the SOLARA S-Series have a robust and sea-water resistant aluminium frame. The frame profile provides stability and makes the modules easy to install. Furthermore, the solar modules feature a waterproof junction box.

Technische Daten SM340S / Technical Data SM340S

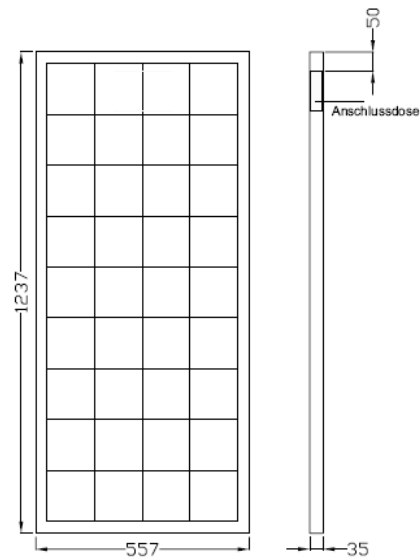
Art.-Nr	SM340S
Durchschnittlicher Tagesertrag im Sommer average daily output in summer (Germany)	340 Wh/d
Maximale Leistung (Pmax) peak power Pmax	85 Wp
Systemspannung system voltage	12 V
Spannung Maximalleistung voltage at peak power	18 V
Leerlaufspannung open circuit current	21,9 V
Strom bei Maximalleistung current at peak power	4,72 A
Kurzschlussstrom short circuit current	5,15 A
Anzahl der Solarzellen number of cells	36
Abmessung der Solarzellen cell dimension	125 x 125 mm
Maße in mm (L x B x H) dimension in mm	1237 x 557 x 35
Höhe mit Anschlussdose height incl. junction box	35 mm
Anschluss connection	Dose/ junction box
Gewicht/Glasstärke weight/thickness of glass	7,9 kg/3,2 mm
Leistungsgarantie* performance guarantee*	26J auf 80% der Leistung/26 yrs at 80% performance.

* Nach Maßgabe der Centrosolar AG-Garantiebedingungen (inkl. Produkt- und Leistungsgarantie) / According to the CENTROSOLAR guarantee conditions (incl. product and performance guarantee).

Unter anderem wurden folgende Tests erfolgreich durchgeführt: elektrische Isolation, Temperaturbeständigkeit, Luftfeuchtigkeitsbeständigkeit, Hitzebeständigkeit, Salzbeständigkeit, statische Belastbarkeit. Alles gemäß Protokoll IEC 61215.
The following tests were realised successfully: electrical isolation, temperature stability, humidity stability, heat stability, salt stability, static impact. According to IEC 61215.

Die hier angegebenen Daten, Tests und Zertifikate können je nach Modul abweichend sein.
All data, tests and certificates can vary depending on module type.

Nach STC (Standard Testbedingungen), AM 1,5, 1 kW/m², 25 °C, Pmin -10%, Änderungen auf Grund ständiger Weiterentwicklungen vorbehalten.
According to STC (Standard Test Condition), AM 1.5, 1 kW/m², 25 °C, Pmin -10%. Subject to change due to permanent development.



gefertigt nach deutschen und internationalen Normen:
produced according to German and international standards:



gesetzl. nicht vorgeschrieben
not legally required

Ihr Fachhändler/Your Dealer

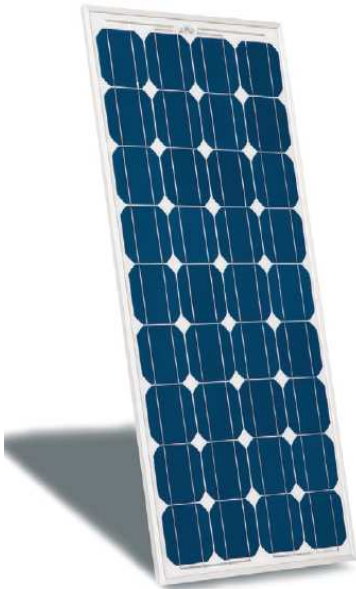
LIITE 2



We connect you to the sun

SWEDMODULE GPV75-GPV85

Monocrystalline Solar Power Modules



SwedModule on a lighthouse at Laus Holmar in Gotland, Sweden

TOP SWEDISH QUALITY

Swedish technology you can trust is one of the cornerstones in Gällivare PhotoVoltaic's philosophy. The SwedModule product range is produced using only high quality raw materials from leading European suppliers. The SwedModule is ideal for individual houses or buildings, on facades or rooftops but also for large scale solar power systems.

DESIGN OF THE SWEDMODULE

The cells are encased in high transmission low-iron tempered glass, multi-layers of ethylene vinyl acetate (EVA) as well as Tedlar film. This provides the modules with top-quality protection against external environmental effects. GPV's Solar Power Modules also have bypass diodes to minimise power loss in case of shading and protect against hot spot effect.

QUALITY CONTROL

During the production process the modules pass through several quality control check points and they are carefully checked and tested prior to delivery. The final test takes place in a solar simulator, where the modules are tested under Standard Test Conditions (STC 1000W/m²). Every modules serial number and its test data are stored in our database.

WARRANTY

GPV offer a product guarantee of five years and a 25 year performance guarantee for an 80 % power output on all standard products.

In order to further guarantee the quality of our products we are certified in accordance with:

- SS EN ISO 9001:2000 (Quality Management System)
- SS EN ISO 14001:2004 (Environmental Management System)

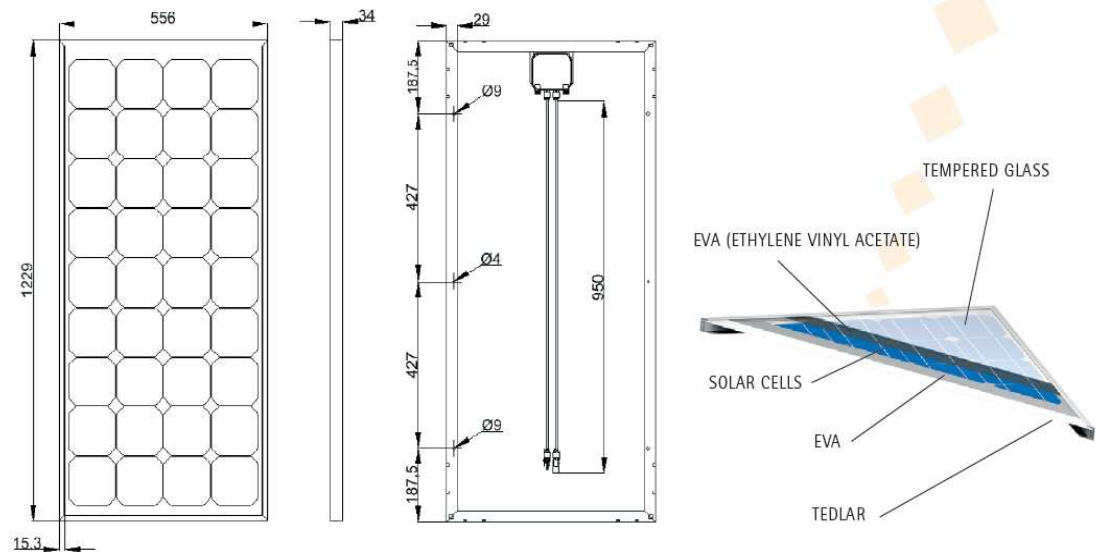
All GPV's Solar Power Modules are in compliance with the essential requirements of IEC 61215: 04.1993, EN 61215: 04.1995, TÜV Spec TZE/2.572.09 (Safety Class II).



SWEDMODULE GPV75-GPV85

Monocrystalline Solar Power Modules

CONSTRUCTION FRONT TO BACK



POWER SPECIFICATIONS

Performance under standard test conditions
1000 W/m², 25°C, 1.5 AM

	GPV75	GPV85
Maximum power (P _{max})	75 Wp	85 Wp
Open circuit voltage (V _{oc})	21.5 V	21.5 V
Maximum power voltage (V _{mpp})	17.0 V	17.5 V
Short circuit current (I _{sc})	4.70 A	5.18 A
Maximum power current (I _{mpp})	4.41 A	4.86 A

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46°C
TC I _{sc}	0.036 %/K
TC V _{oc}	-0.33 %/K

SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

Maximum system voltage: SC II 1000 V_{DC}
Maximum reverse current: Do not apply external voltages larger than V_{oc} to the module

Gällivare PhotoVoltaic AB reserves the right to make specification changes without prior notice. Please contact your nearest stockist/distributor or visit our website to obtain the latest specification sheet.

Performance at
800W/m², NOCT, AM1.5

	GPV75	GPV85
Maximum power (P _{max})	53.4 Wp	60.8 Wp
Open circuit voltage (V _{oc})	19.5 V	19.5 V
Maximum power voltage (V _{mpp})	15.2 V	15.7 V
Short circuit current (I _{sc})	3.88 A	4.28 A
Maximum power current (I _{mpp})	3.51 A	3.87 A

All values with a tolerance of ±5%

Reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200W/m², 95% (± 3 %) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

PHYSICAL SPECIFICATIONS

Cell type	monocrystalline
Cell dimension (+/- 0,5mm)	125mm x 125mm
Cells per module	36
Module weight	7,5 kg
Module size (+/- 2mm) (L x H x W)	1229 mm x 556 mm x 34 mm
Frame	Anodized aluminium

StecaGrid 300 and StecaGrid 500

The MiniString inverter series comprises the StecaGrid 300 and StecaGrid 500 inverters, with rated outputs of 300 W and 500 W, respectively.

StecaGrid 300 and StecaGrid 500 are built in a modular manner, and simple to install. With distribution over three phases, the system can at any time be expanded as desired, and thus flexibly adapts to your solar power system investment. StecaGrid 300 and StecaGrid 500 have an independent MPP tracker and achieve a very high efficiency of up to 95.8 %.

Product features

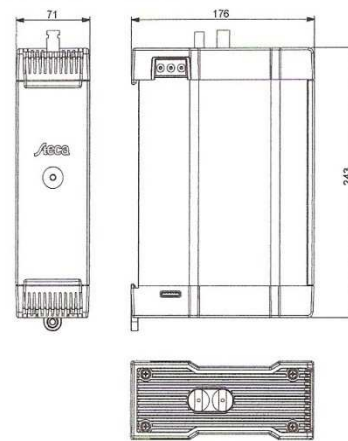
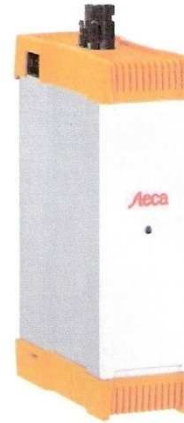
- Flexible and expandable
- High efficiency
- MiniString concept
- Low weight
- Simple installation
- One StecaGrid Control per system
- Wall-mounting with top-hat rail

Electronic protection functions

- Integrated temperature monitoring with output derating

Displays

- Multi-coloured LED shows operating status



	StecaGrid 300	StecaGrid 500
DC input side (PV-generator)		
Maximum start voltage	100 V	170 V
Maximum input voltage	135 V	230 V
Minimum input voltage	45 V	75 V
Minimum input voltage for rated output	64 V	105 V
MPP voltage	45 V ... 100 V	75 V ... 170 V
Maximum input current	5 A	
Maximum input power	320 W	530 W
Maximum recommended PV power	375 Wp	625 Wp
Derating / limiting	automatic when - input power is higher - the device is not cooled sufficiently - input currents > 5 A (higher currents are limited by the equipment and therefore will not damage the inverter)	
AC output side (Grid connection)		
Grid voltage	207 V ... 253 V [other values are possible]	
Rated grid voltage	230 V	
Maximum output current	1.5 A	2.5 A
Maximum output power	300 W	500 W
Rated power	300 W	500 W
Rated frequency	50 Hz	
Frequency	48 Hz ... 52 Hz [other values are possible]	
Night-time power loss	< 0.1 W	
Feeding phases	single-phase	
Power factor	> 0.95	
Distortion factor	< 6 % (max. power)	< 5 % (max. power)
Characterisation of the operating performance		
Maximum efficiency	94.8 %	95.8 %
European efficiency	93.4 %	94.5 %
MPP efficiency	99 %	
Power derating at full power	from 40°C	
Switch-on power	2 W	
Standby power	0 W	

	StecaGrid 300	StecaGrid 500
Safety		
Isolation principle	no galvanic isolation, transformerless	
Grid monitoring	optional via StecaGrid Control	
Operating conditions		
Area of application	indoor rooms, with or without air conditioning	
Ambient temperature	-20 °C ... +45 °C	
Relative humidity	0 % ... 95 %	
Noise emission	< 32 dBA	
Fitting and construction		
Degree of protection	IP 20	
DC input side connection	MultiContact MC 3 (Solarline 1), MC 4 (Solarline 2)	
AC output side connection	Wieland Electric GST 18i3V plug	
Data connection	Steca data coupling [provided with the inverter]	
Dimensions (X x Y x Z)	176 x 243 x 71 mm	
Weight	1.4 kg	
DC circuit breaker	no	
Cooling principle	natural convection	
Test certificate	CE mark	

[areas of application]



LIITE 5

StecaGrid Control

StecaGrid Control monitors a system with a maximum output of 3,600 watts.

In Germany, Austria and France, for example, due to the applicable standards, the use of a StecaGrid Control D1 with grid-monitoring function (MSD) and integrated residual current circuit breaker is mandatory. In countries without impedance monitoring, e.g. the Netherlands, StecaGrid Control N is used.

The frontal display of the StecaGrid Control shows both the amount of energy produced by the MiniString inverters, and the current system status.



Electronic protection functions

- Universal current sensitive residual current monitoring

Displays

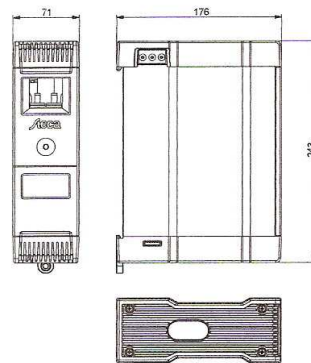
- Text LCD display
... for energy yield

Operation

- Main switch

Options

- Grid monitoring as per DIN VDE 0126-1-1 for StecaGrid Control D1



	StecaGrid Control N	StecaGrid Control D1
AC output side (Grid connection)		
Grid voltage	-*	196 V ... 253 V
Rated grid voltage		230 V
Maximum output current		16 A
Maximum output power		3,600 W
Rated frequency		50 Hz
Frequency	-*	49.8 Hz ... 50.2 Hz
Night-time power loss		2.4 W
Feeding phases		single-phase
Safety		
Grid monitoring	none	compliant with DIN VDE 0126-1-1
Earth leakage circuit breaker	30 mA [DC sensitivity is suitable for StecaGrid 300 / 500]	30 mA [DC sensitivity is suitable for StecaGrid 300 / 500]
Operating conditions		
Area of application	indoor rooms, with or without air conditioning	
Ambient temperature	-20 °C ... +45 °C	
Relative humidity	0 % ... 95 %	
Noise emission	< 30 dBA	
Fitting and construction		
Degree of protection	IP 20	
AC output side connection	1.5 m mains cable with mains plug	Wieland Electric GST 18i V plug
Data connection	Steca data coupling [provided with the inverter]	
Dimensions (X x Y x Z)	176 x 243 x 71 mm	
Weight	1.75 kg	
Test certificate	CE mark	

* is not monitored.

[areas of application]

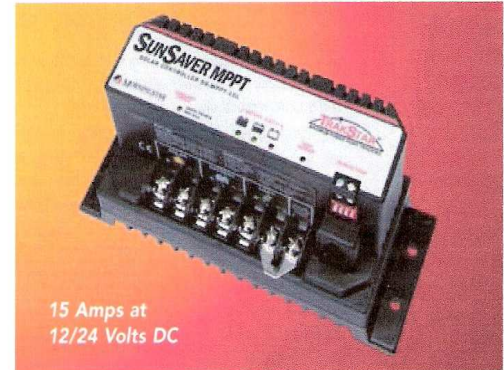


LIITE 6



SUNSAVER MPPT™

SOLAR CONTROLLER WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING



Morningstar's **SunSaver MPPT** solar controller with TrakStar Technology™ is an advanced maximum power point tracking (MPPT) battery charger for off-grid photovoltaic (PV) systems. The controller features a smart tracking algorithm that maximizes the energy harvest from the PV and also provides load control to prevent over discharge of the battery.

The SunSaver MPPT is well suited for both professional and consumer PV applications. Its charging process has been optimized for long battery life and improved system performance. This product is epoxy encapsulated for environmental protection, may be adjusted by the user via four settings switches or connection to a personal computer, and has an optional remote meter and battery temperature sensor.

Key Features and Benefits:

■ Maximizes Energy Harvest

Our TrakStar MPPT Technology features:

- peak efficiency of over 97%
- almost no power losses
- recognition of multiple power peaks during shading or mixed PV arrays
- excellent performance at low solar insolation levels

■ Use of High Voltage Modules

Enables the use of high voltage and thin film modules for off-grid battery charging.

■ Converts 36V or 24V PV Arrays

Provides a means to use up to a 36V PV array to charge either a 24V or 12V battery.

■ Lower System Cost

Less expensive than other MPPT controllers and is affordable in smaller PV systems up to 400Wp. Allows system costs to be reduced by down-sizing the PV array, using on-grid or thin film modules and decreasing cable sizes.

■ Includes Load Control

Automatically disconnects loads when the battery has been discharged to a low state of charge.

■ Smaller Size

Mechanical dimensions are less than other MPPT controllers, making it easier to install in equipment enclosures.

■ Highly Reliable

Efficient electronics, a conservative thermal design and tropicalization result in high reliability and long life.

■ Fully Adjustable

User selection via on-board switches or PC connection.

■ Extensive Electronic Protections

Fully protected against most system errors and faults.

■ Longer Battery Life

Efficient MPPT tracking and 4-stage charging increases battery life.

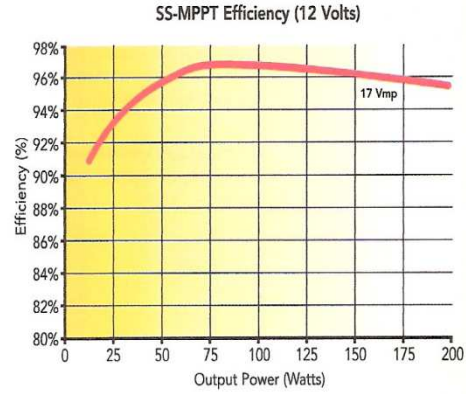
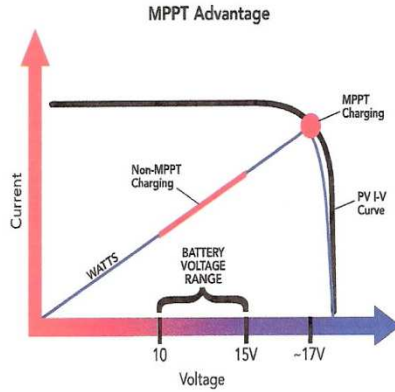
■ More Information

The status LED's and optional meter provide extensive controller and system data.

■ Data Logging

Records key operating parameters of the PV system and includes 30 days of data logging.

SUNSAVER MPPT™ SOLAR CONTROLLER



TECHNICAL SPECIFICATIONS

Electrical

- Peak Efficiency 97.5%
- Nominal Battery Voltage 12 or 24 volts
- Max. Battery Current 15 amps
- Battery Voltage Range 7-36 volts
- Max. PV Open Circuit Voltage 75 volts
- Nominal Max. PV Input
 - 12 volt battery 200 Watts
 - 24 volt battery 400 Watts
- Output Rating 15 amps load control
- Self Consumption 35 milliamps
- Transient Surge Protection 4 x 1500 Watts

Environmental

- Operating Temperature -40°C to +60°C
- Storage Temperature -55°C to +100°C
- Humidity 100% non-condensing
- Tropicalization Epoxy encapsulation
Conformal coating
Marine rated terminals

Electronic Protections

- PV: Overload, Short Circuit, High Voltage
- Load: Overload, Short Circuit
- Reverse Polarity: Battery, PV and Load
- Lightning and Transient Surges
- High Temperature
- Reverse Current at Night

Battery Charging

- Battery Types Gel, Sealed, AGM, Flooded
- 4 Stage Charging Bulk, absorption, float, equalize (optional)
- Temperature Compensation
 - Coefficient -5mV/°C / cell (25°C ref)
 - Range -30°C to +60°C
 - Set points Absorption, float, equalize

Mechanical

- Dimensions 16.9 x 6.4 x 7.3 cm
6.6 x 2.5 x 2.9 inch
- Weight 0.60 kg / 1.3 lbs
- Power Terminal 16 mm² / #6 AWG
- Enclosure Die cast aluminum with plastic cover

Options

- Remote Meter
- Remote Temperature Sensor
- PC MeterBus Adapter
- DIN Rail Mounting Clips

Certifications

- CE Compliant
- RoHS Compliant
- Manufactured in a certified ISO 9001 facility

WARRANTY: Five year warranty period. Contact Morningstar or your authorized distributor for complete terms.

AUTHORIZED MORNINGSTAR DISTRIBUTOR:

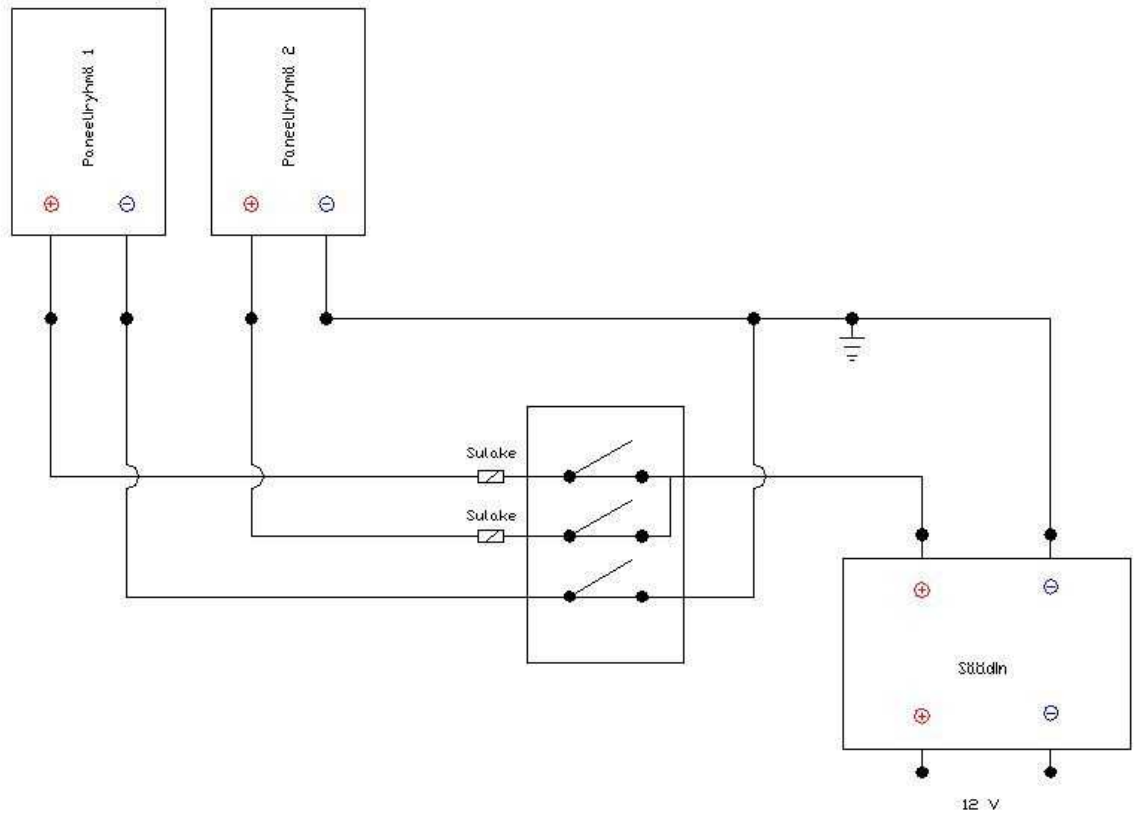


1098 Washington Crossing Road
Washington Crossing, PA 18977 USA
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458
E-mail: info@morningstarcorp.com
Website: www.morningstarcorp.com



LIITE 8

Asento 1:
Säädin rinnan



Asento 2:
Invertteri
Sarjassa

