

Aurinkoenergia arktisella alueella

Pekka Hinkkainen

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri

Tekijä	Pekka Hinkkainen	Vuosi	2016
Ohjaaja	Ins. (YAMK), Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Kemin Energia Oy		
Työn nimi	Aurinkoenergia arktisella alueella		
Sivu- ja liitemäärä	58 + 4		

Uusiutuvan energian hyödyntäminen on teknologian jatkuvan kehityksen ja ilmastomuutoksen seurauksena kasvava trendi. Aurinkoenergia on yksi uusiutuvista ja puhtaista energialähteistä ja auringosta saatua energiaa voidaan hyödyntää lämmön- ja sähköntuotannossa.

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia arktisella alueella sekä selvittää aurinkosähkön tuottamiseen tarvittavat laitteet ja niiden soveltuvuus arktiselle alueelle. Työssä selvitettiin aurinkosähköjärjestelmän toiminta teoriassa ja teoreettiset toimintaedellytykset arktiselle alueelle. Lisäksi työssä tarkasteltiin Kemin Energia Oy:n asennuttamien aurinkosähköjärjestelmien sähköntuotantoa.

Työn tuloksena todettiin, että aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää arktisellakin alueella. Arktisen alueen tuotannollinen aika sijoittuu alkukeväälle - loppusyksylle ja arktisella alueella on suuret vuotuiset lämpötilavaihtelut, joten järjestelmää suunniteltaessa tulee huomioida nämä asiat parhaan mahdollisen tuotannon takaamiseksi.

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, arktinen alue

Industry and Natural Resources
Mechanical and Production Engineering

Author	Pekka Hinkkainen	Year	2016
Supervisor	MEng, Ari Pikkarainen		
Commissioned by	Kemin Energia Oy		
Subject of thesis	Solar Energy in Arctic Region		
Number of pages	58 + 4		

The utilization of renewable energy is increasingly important due to the focus on sustainable development and climate change. Solar energy is a renewable and clean source of energy and can be used in the production of heat and electricity.

This study investigated how solar energy can be utilized in the arctic region. The technology required for the production of solar energy and their suitability for the arctic region were also examined. The project was based on the theoretical analysis of the photovoltaic system and the theoretical requirements for the functionality of solar energy in the arctic region. In addition, the electricity productions of the photovoltaic systems installed by Kemin Energia Oy were examined in this study.

The results of the investigation suggest that solar energy can be utilized in the arctic region. The production time of solar energy in the arctic region is early spring/late autumn. The annual changes in the average temperature should be taken into account in order to ensure best possible production.

Key words: solar energy, solar electricity, photovoltaic system, arctic region

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KEMIN ENERGIA OY	9
2.1	Historia	9
2.2	Sähkönsiirto ja lämmöntuotanto	11
2.3	Aurinkosähköjärjestelmät	11
3	AURINKOENERGIA	13
3.1	Aurinko energialähteenä	13
3.2	Auringon säteily maapallolle	14
3.3	Auringon säteily Suomessa	16
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA JA KOMPONENTIT	19
4.1	Aurinkokenno	19
4.2	Aurinkopaneeli	21
4.2.1	Yksikidekenno	23
4.2.2	Monikidekenno	24
4.2.3	Ohutkalvokenno	26
4.3	Aurinkopaneelityyppien keskinäinen vertailu	27
4.4	Muut komponentit	29
4.4.1	Invertteri	29
4.4.2	Lataussäädin	30
4.4.3	Akku	30
4.4.4	KytKentä ja kaapelointi	31
4.5	Tuottoon vaikuttavat tekijät	31
4.5.1	Sijainti	31
4.5.2	Suuntaus	31
4.5.3	Kallistuskulma	33
4.5.4	Lämpötila	35
4.5.5	Ulkoiset tekijät	35
5	AURINKOENERGIAN SOVELTUVUUS ARKTISELLE ALUEELLE	37
5.1	Ilmasto	37
5.2	Soveltuvat laitteet	38
5.2.1	Soveltuvat paneelit	39
5.2.2	Muut laitteet	39

6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	40
6.1	Aurinkosähköjärjestelmä 1 (2 kW)	40
6.2	Aurinkosähköjärjestelmä 2 (3,12 kW)	40
6.3	Aurinkosähköjärjestelmä 3 (3,06 kW)	41
6.4	Aurinkosähköjärjestelmä 4 (3,06 kW)	41
6.5	Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä	42
7	KEMIN ENERGIAN AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	43
7.1	Tekniset tiedot.....	43
7.1.1	25 kW aurinkosähköjärjestelmä	43
7.1.2	5 kW aurinkosähköjärjestelmä	44
7.2	Tuotto	44
7.2.1	25 kW aurinkosähköjärjestelmä	45
7.2.2	5 kW aurinkosähköjärjestelmä	47
8	TIETOPAKETTI ASIAKKAILLE	50
8.1	Ennen järjestelmän hankintaa	50
8.2	Järjestelmän valinta	50
8.3	Hankinta ja asennus	51
8.4	Kustannukset	51
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHTEET	55
	LIITTEET	59

ALKUSANAT

Haluan kiittää toimeksiantajaa Kemin Energia Oy:tä opinnäytetyön aiheesta. Suuri kiitos kuuluu myös ohjaavalle opettajalle Ari Pikkaraiselle ja TKI-osaston projekti-insinöörille Mikko Rintalalle, joilta sain apua ja tarvittavaa tietoa opinnäytetyön tekemiseen.

Lopuksi haluan myös kiittää puolisoani, ystäviäni ja perhettäni opinnäytetyöprosessin aikana saamastani tuesta

Oulussa 2016

Pekka Hinkkainen

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

GWh	Gigawattitunti
kW	Kilowatti
KWh	Kilowattitunti
PV	Photovoltaic
TKI	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta
V	Voltti
Wp	Watt-peak (Aurinkopaneelin nimellisteho)

1 JOHDANTO

Uusiutuvien ja puhtaiden energialähteiden käyttö on kasvava trendi koko maailmassa. Pariisin ilmastopöytäkirjan hyväksyminen on varma käännekohta uusiutuvien energiamuotojen suosiolle. Järjestelmien jatkuva kehitys sekä valtioiden yhteinen panos hidastaa ilmaston lämpenemistä takaavat hyvän kasvualustan uusiutuville energiamuodoille.

Aurinkoenergia on osa niin kutsuttua uusiutuvaa ja päästötöntä energiaa. Tämän kyseisen energiamuodon hyödyntäminen on vielä kohtalaisen pientä suhteutettuna siihen, että aurinko on maapallon merkittävin energialähde, sillä melkein kaikki maapallolla olevasta energiasta on lähtöisin auringosta. Aurinkoenergia tulee kasvattamaan suosiotaan räjähdysmäisesti tulevina vuosina, joten on ajankohtaista tuoda ihmisten tietoisuuteen aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia muuallakin kuin lämpimillä alueilla.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja kartoittaa aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia arktisella alueella sekä tuoda lukijalle lisää informaatiota aurinkoenergiasta ja sen toiminnasta. Opinnäytetyössä tehdään kirjallisuustutkimus, jonka pohjalta pystytään vertailemaan eri laitteiden soveltuvuutta arktiselle alueelle. Lisäksi opinnäytetyössä valmistetaan lyhyt tietopaketti aurinkoenergiasta kiinnostuneille lukijoille. Tutkittavana kohteena opinnäytetyössä on toimeksiantajan Kemin Energia Oy:n asennuttamat aurinkovoimalat Kemin Karjalahdella. Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Lapin ammattikorkeakoulun sekä Kemin Energia Oy:n kanssa.

2 KEMIN ENERGIA OY

Kemin Energia Oy on Kemissä sijaitseva energia-alan osakeyhtiö, joka toimii sähköntoimittajana ja kaukolämmöntuottajana. Kemin Energia Oy toimii osana Oulun Sähkömyynti Oy:tä yhdessä Oulun Energian, Tornion kaupungin sähkölaitoksen, Keminmaan Energia Oy:n ja Tervolan kunnan sähkölaitoksen kanssa. Kemin Energia Oy:n liikevaihto on 16 miljoonaa euroa ja sen palveluksessa on 45 energia-alan ammattilaista. Yhtiö toimittaa sähköä 15 000 asiakkaalle yhteensä 170 miljoonaa kilowattituntia. Yhtiön toimittamalla kaukolämmöllä lämmitetään 3,6 miljoonaa rakennuskuutiometriä, joiden lämmönkäyttö on yhteensä 160 miljoonaa kilowattituntia. Puolet kemiläisistä asuu taloissa, joihin Kemin Energia Oy toimittaa kaukolämmön. (Kemin Energia Oy 2015.)

2.1 Historia

Vuonna 1912 Kemin Sähköosakeyhtiö perustettiin kemiläisten yksityishenkilöiden toimesta, mutta muutamaa vuotta myöhemmin myös Kemin kaupunki ja Kemin maalaiskunta tulivat yhtiön osakkaiksi. Sähköyhtiön ensimmäiset asiakkaat käyttivät sähköä valaistukseen. Yhtiön toiminnan alusta alkaen Kemin kaupunki osti sähköä katujen ja koulujen valaistukseen. Varsin pian Kemin Sähköosakeyhtiö rakensi verkostoaan Kemin kaupungin alueen lisäksi Kemin maalaiskuntaan, Tervolaan, Kaakamoon ja Simoon. 1930-luvulla Kemin Sähköosakeyhtiö luopui maaseutuverkostaan. Kemin Sähköosakeyhtiö myi Tervolan sähköverkon Tervolan kunnalle vuonna 1938. Samana vuonna Kemin kaupunginvaltuusto päätti ryhtyä toimiin yhtiön kunnallistamiseksi, jonka seurauksena Kemin Sähköosakeyhtiön yhtiökokous päätti purkaa yhtiön ja myydä sen omaisuuden Kemin kaupungille. Kemin Sähköosakeyhtiön viimeisenä toimintavuonna 1938 sähköä myytiin 814 000 kilowattituntia. (Kemin Energia Oy 2015.)

Vuoden 1939 alussa Kemin kaupungin sähkölaitos ryhtyi jatkamaan siitä, mihin Kemin Sähköosakeyhtiö päätti 26 vuotta kestäneen toimintansa. Sähkölaitos jatkoi maaseutuverkosta luopumista. Vuonna 1952 sähkölaitos luopui viimeisestä maaseutuverkosta myymällä Simon verkot Rantakairan Sähkö Oy:lle. Tämän jälkeen Kemin kaupungin sähkölaitos keskittyi pelkästään kemiläisten sähköasioiden hoitamiseen. Sähkönkäyttö kasvoi 1950-luvun puoliväliin mennessä lähes kymmenkertaiseksi verrattuna sotaa edeltäneeseen aikaan, sillä vuonna 1954 sähköä myytiin 7 miljoonaa kilowattituntia. Kasvu jatkui myös seuraavilla vuosikymmenillä ja myyntimäärät olivat vuonna 1968 44 miljoonaa kilowattituntia, vuonna 1975 75 miljoonaa kilowattituntia ja vuonna 1985 121 miljoonaa kilowattituntia. Vuonna 1975 Kemin kaupungin sähkölaitos aloitti kaukolämpötoiminnan, joka on kasvanut siinä määrin, että kaukolämpö on tällä hetkellä kaupungin suosituin lämmitysmuoto. Kaukolämmön myötä sähkölaitoksen nimi muutettiin vuonna 1980 Kemin kaupungin energialaitokseksi. (Kemin Energia Oy 2015.)

Kemin kaupunki harjoitti energialaitostoimintaa 61 vuotta, kunnes se vuonna 1999 päätti perustaa Kemin Energia Oy -nimisen osakeyhtiön ja myydä harjoittamansa liiketoiminnan sille. Kemin Energia Oy aloitti toimintansa vuoden 2000 alussa. Vuonna 2001 Oulun Energia, Tornion kaupungin energialaitos, Keminmaan Energia Oy, Tervolan kunnan sähkölaitos ja Kemin Energia Oy perustivat alueellisen sähkömyyntiyhtiön, Oulun Sähkömyynti Oy:n, jolle ne siirsivät sähkömyynnin asiakassuhteensa. Kemin Energia Oy on näin yhteistyössä energia-yhtiöiden kanssa, joiden alueella sen edeltäjä Kemin Sähköosakeyhtiö aikanaan aloitti sähköistämisen. (Kemin Energia Oy 2015.)

Kemin Energia Oy:n kuvassa 1 näkyvä 32 megawatin turvetta ja puuta polttoaineenaan käyttävä lämpölaite valmistui syksyllä 2006 ja yhtiö alkoi tuottaa kaiken asiakkaiden tarvitseman kaukolämmön. Lämpölaitoksessa on 7,5 megawatin savukaasujen pesu- ja lämmöntalteenottolaitteisto, joka takaa lämpölaitokselle pienet päästöt ja korkean hyötysuhteen. (Kemin Energia Oy 2015.)



Kuva 1. Kemin Energia Oy:n lämpölaitos (Kemin Energia Oy 2015)

2.2 Sähkönsiirto ja lämmöntuotanto

Kemin Energia Oy:llä on sähköasiakkaita noin 15 000 ja vuonna 2014 se siirsi sähköä 163 gigawattituntia. Kaukolämpöä Kemin Energia Oy myi vuonna 2014 147,4 gigawattituntia ja lämpöasiakaskiinteistöjä oli 433 kappaletta. (Kemin Energia Oy 2015.)

2.3 Aurinkosähköjärjestelmät

Kemin Energia Oy asennutti elokuussa 2015 kaksi aurinkosähköjärjestelmää Kemin Karjalahdelle. Kuvassa 2 nähdään Karjalahdella sijaitseva suurempi järjestelmä. Karjalahden aurinkosähköjärjestelmät ovat kokoluokiltaan 25 ja 5 kilowattia. Järjestelmien tuottama sähkö käytetään kaukolämmön tuotantoon. Kemin Energia Oy:n aurinkovoimaloita tutkitaan tarkemmin luvussa 7. (Kemin Energia Oy 2015.)



Kuva 2. Kemin Energia Oy:n 25 kilowatin aurinkovoimala (Kemin Energia Oy 2015)

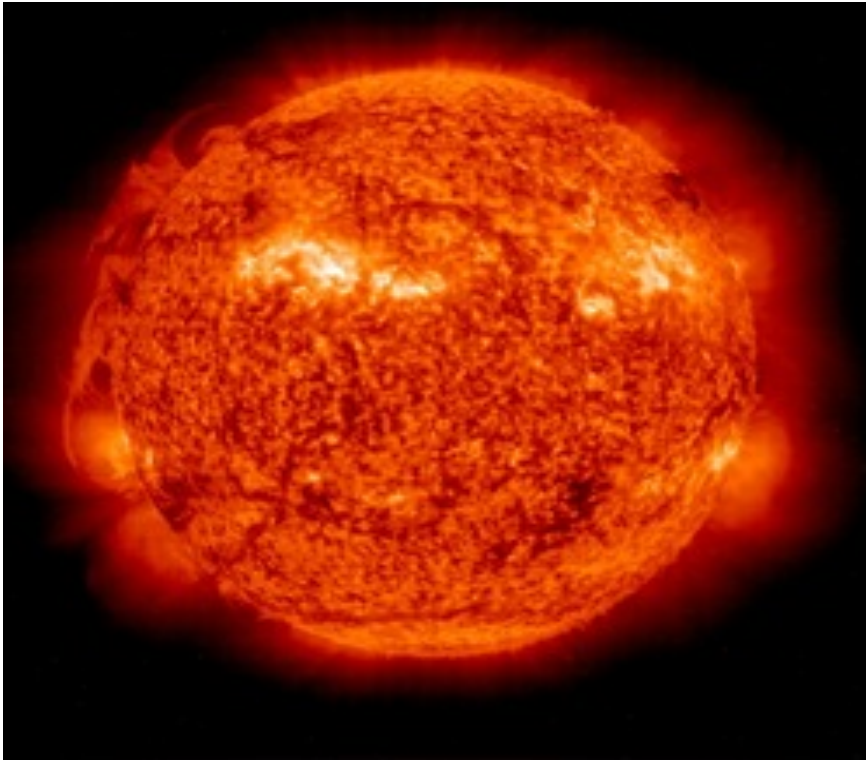
3 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergiasta puhuttaessa tarkoitetaan auringosta säteilevän energian hyödyntämistä yleensä aktiivisessa muodossa. Aurinkoenergiaa voidaan kuitenkin hyödyntää sekä passiivisesti että aktiivisesti. Passiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan esimerkiksi rakennuksien ikkunoista sisään tulevaa lämpöä ja valoa. Aktiivinen hyödyntäminen puolestaan on auringonsäteilyn muuntamista sähköksi aurinkopaneelien avulla sekä lämmöksi aurinkokeräimillä. Koska aurinkoenergia on päästötöntä ja niin kutsuttua uusiutuvaa energiaa, se on kasvattanut suosioaan ilmastonmuutoksen ollessa ajankohtainen. Kansainvälisen ilmastopöytäkirjan ansiosta aurinkoenergiaa tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään yhä enemmän. (Suomen aurinkoenergia Oy 2015.)

3.1 Aurinko energialähteenä

Tieto auringon rakenteesta on vuosien saatossa muuttunut useaan otteeseen. Nykytiedon mukaan kuvassa 3 näkyvää aurinkoa pidetään kaasupallona, jonka ulkokuori muodostuu pääasiassa vedystä (75%), sekä heliumista (23%). Loppuosa kuoresta sisältää erinäisiä alkuaineita. Tietoa auringon koostumuksesta on saatu spektrianalyysillä, joka on osoittanut, että auringossa on myös maapallolla tuntemattomia alkuaineita. (Erat ym. 2008, 10-12.)

Ydinvoimaloiden energiantuotanto perustuu fission, jossa hajotetaan uraanin isotooppia U-235. Hajottamalla kaikki atomit yhdestä kilosta kyseistä uraania vapautuu energiaa 19 miljoonaa kWh. Auringossa puolestaan tapahtuu päinvastainen reaktio eli fuusio. Fuusioreaktiossa vety ja helium yhdistyvät vapauttaen energiaa. Yhden heliumkilon muodostaminen vapauttaa energiaa 180 miljoonaa kWh. (Erat ym. 2008, 10-12.)

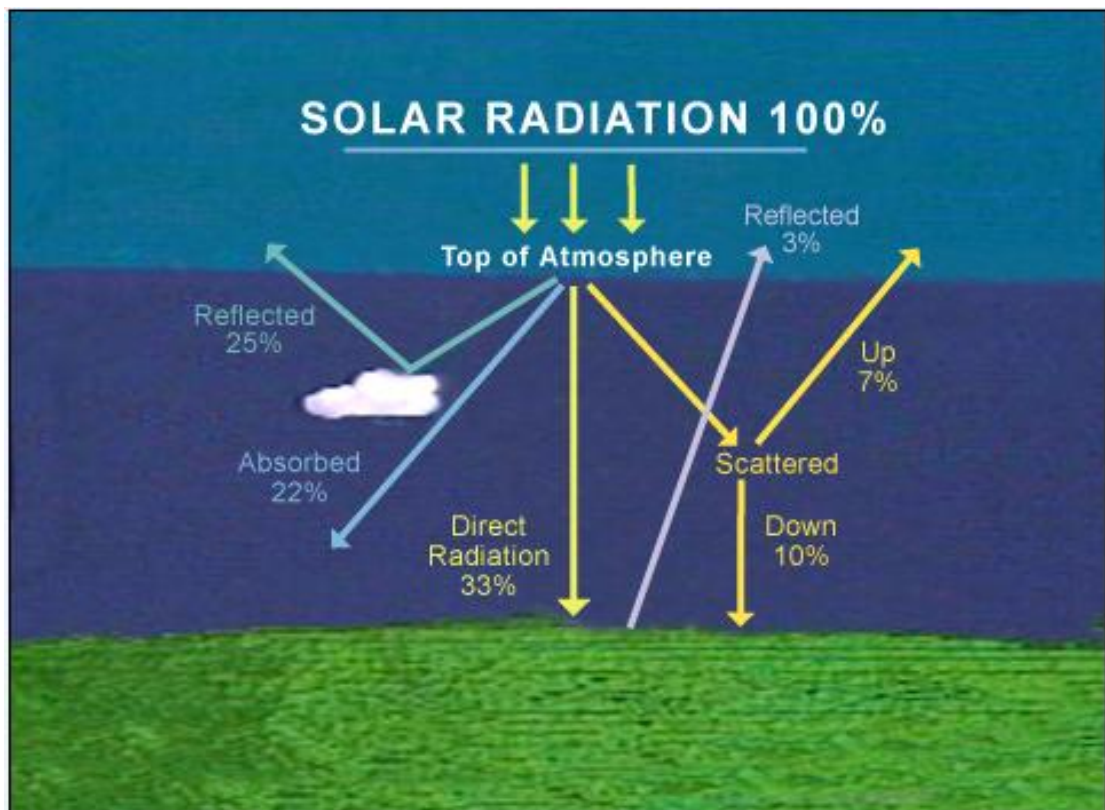


Kuva 3. Aurinko (Nummila 2010)

3.2 Auringon säteily maapallolle

Auringon kokonaistehoksi on määritelty $3,8 \times 10^{23}$ kW. Tästä määrästä maapallolle tulee $1,7 \times 10^{14}$ kW. On tutkittu, että maapallon ilmakehän reunalla säteilyä vastaan kohtisuorassa olevalle pinnalle osuvan auringonsäteilyn teho on 1,35 - 1,39 kW/m². Tämä arvo saadaan käsitteestä aurinkovakio, joka tarkoittaa sitä energiamäärää, joka auringosta tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän rajalla olevalle 1m²:n pinnalle. Aurinkovakion arvo vaihtelee $\pm 3,5$ %, johtuen maapallon ja auringon etäisyyksien vaihtelusta. Tätä auringosta lähtöisin olevaa energiaa, joka ilmakehän vaikutuksen jälkeen kohtaa maanpinnan, kutsutaan välittömäksi auringonvaloksi. Pilvettömänä päivänä välittömän auringonvalon arvo on noin 0,8 – 1,0 kW/m². (Erat ym. 2008, 10-12.)

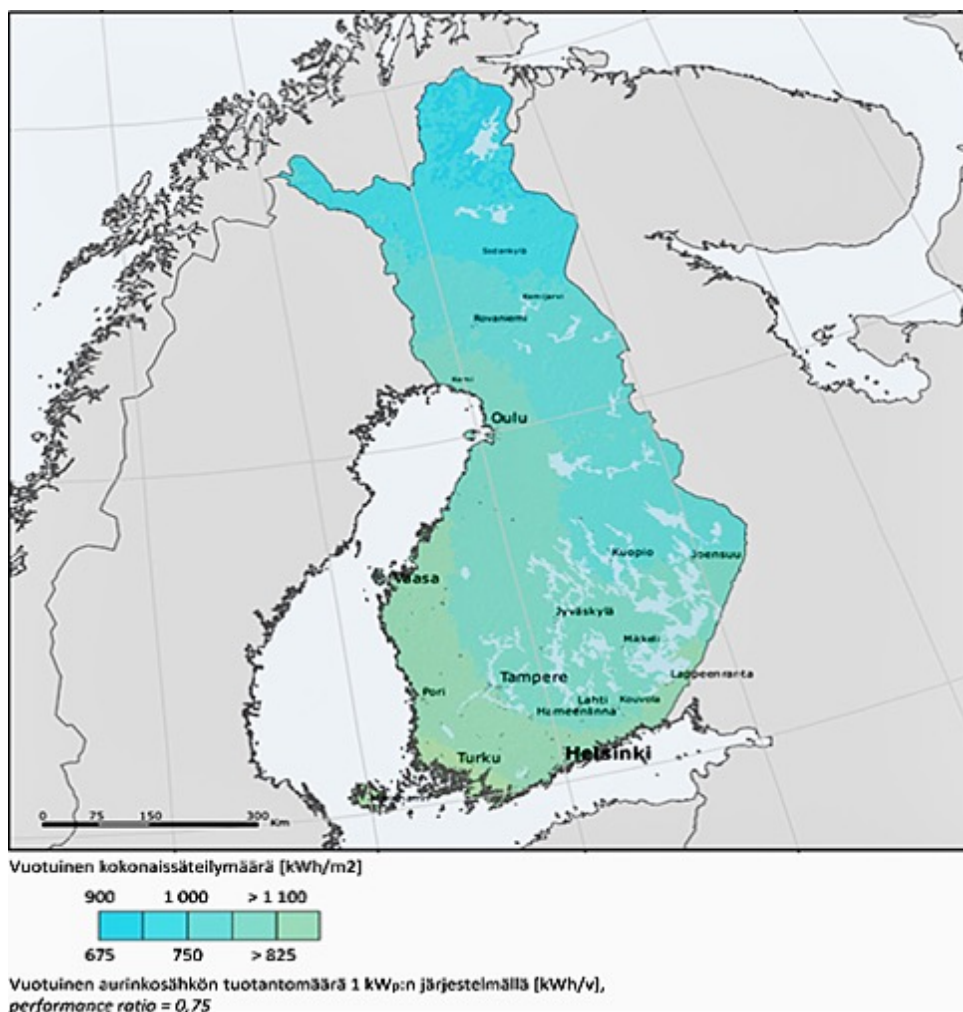
Ilmakehä koostuu vesihöyrystä sekä erilaisista molekyyleistä, joten auringonsäteiden suora pääsy maanpinnalle heikkenee. Ilmakehässä oleva pöly sekä saasteet heikentävät myös auringonsäteiden pääsyä maanpinnalle. Säteily voidaan jakaa kuvion 1 mukaan kolmeen ryhmään: suora auringonsäteily, hajasäteily ja ilmakehän vastasäteily. Suora auringonsäteily on suoraan ilmakehän läpi tuleva säteily, joka osuu maanpintaan. Hajasäteily eli diffuusinen säteily on puolestaan ilmakehän molekyylien, pilvien sekä maanpinnan heijastamaa. Vastasäteilyn aiheuttaa ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi sekä otsoni, jolloin osa säteilystä heijastuu takaisin maanpintaan. Maanpinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia saadaan näiden kolmen säteilyn summasta. (Erat ym. 2008, 10-12.)



Kuvio 1. Auringon säteilyn jakautuminen (Everredtronics.com 2015)

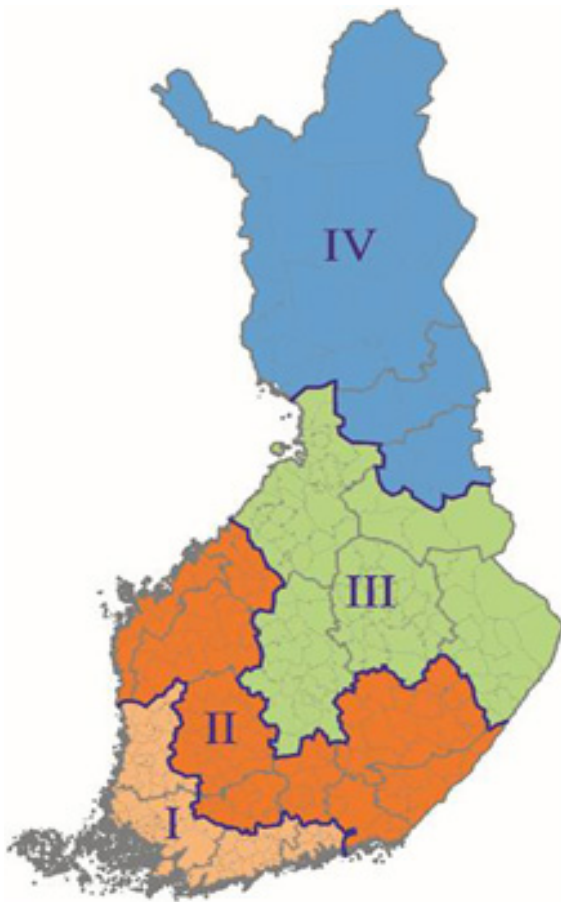
3.3 Auringon säteily Suomessa

Suomessa hajasäteilyn osuus on merkittävä. Noin puolet vuotuisesta säteilystä on hajasäteilyä. Tämän korostaa aurinkopaneelien sijainnin, suuntauksen sekä kallistuskulman merkittävyyttä. Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen välinen aurinkosäteilyn ero ei ole merkittävän suuri, sillä Etelä-Suomessa vuotuinen aurinkosäteily vaakapinnalle on noin 980 kWh/m^2 ja Sodanylässä mitattuna tämä arvo on noin 790 kWh/m^2 . Vuotuisen kokonaissäteilyn määrä Etelä-Suomessa on lähes samaa suuruusluokkaa kuin Keski-Euroopassa. Suomessa säteily keskittyy kuitenkin enemmän alkukevään - loppusyksyn kuukausille, jolloin aurinkovoimailoiden tuotto vaihtelee enemmän vuodenaikojen mukaan. Kuviossa 2 on havainnollistettu vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa. (Motiva.fi 2015.)



Kuvio 2. Vuotuinen kokonaissäteily määrä (Motiva.fi 2015)

Ilmatieteenlaitos on suorittanut energialaskennan testivuotia, joissa Suomi on jaettu neljään eri lämpötilavyöhykkeeseen. Lämpötilavyöhykkeet ovat nähtävissä kuviossa 3. I-II -lämpötilavyöhykkeiden säähavaintoasemat sijaitsevat Vantaalla, III -lämpötilavyöhykkeen säähavaintoasema sijaitsee Jyväskylässä ja IV -lämpötilavyöhykkeen säähavaintoasema sijaitsee Sodankylässä. (Ilmatieteenlaitos 2012.)



Kuvio 3. Testivuosien lämpötilavyöhykejako (Ilmatieteenlaitos 2012)

Testivuosina Ilmatieteenlaitos on mitannut samalla auringon kokonaissäteilyenergiaa erisuuntaisille pinnoille jokaisella lämpötilavyöhykkeellä. IV -lämpötilavyöhykkeen auringon kokonaissäteilyenergian arvot eri ilmansuuntiin oleville pystypinnoille ja 45 asteen kallistuskulmissa oleville pinnoille on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille (Ilmatieteenlaitos 2012)

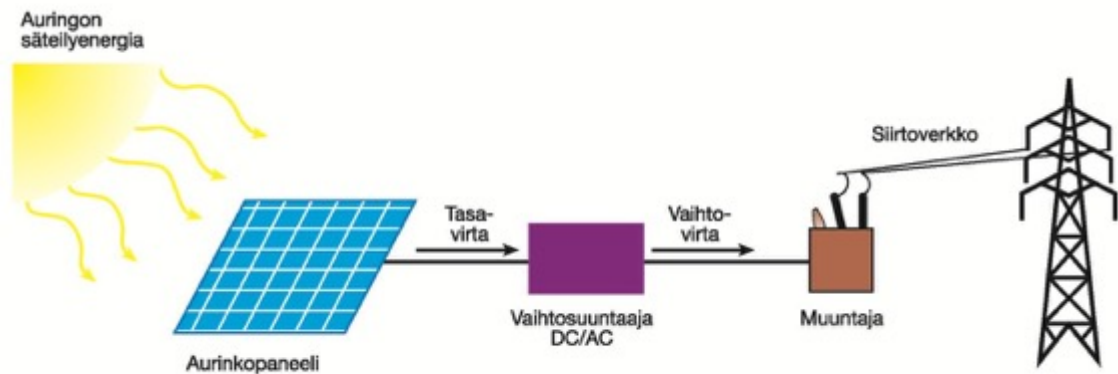
Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin osoittaville pystypinnoille vyöhykkeellä IV (Sodankylä)								
G _{säteily, pystypinta} , kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	1,2	1,2	1,2	1,5	1,8	1,5	1,2	1,2
Helmikuu	11,0	11,0	13,8	23,3	29,9	24,6	14,7	11,0
Maaliskuu	37,8	37,8	48,1	69,2	83,6	72,1	50,5	38,3
Huhtikuu	62,0	78,0	115,4	148,9	157,7	141,6	108,6	75,7
Toukokuu	61,0	81,1	104,0	103,9	92,5	95,7	93,0	73,5
Kesäkuu	77,2	92,9	113,2	109,4	100,7	109,3	113,1	92,8
Heinäkuu	67,1	85,9	111,0	115,3	108,6	108,6	101,6	79,3
Elokuu	39,4	49,9	67,9	80,9	86,1	88,0	74,3	51,9
Syyskuu	20,8	29,6	55,7	83,8	94,5	78,3	50,1	27,5
Lokakuu	9,4	9,5	14,5	26,1	32,4	25,0	13,9	9,6
Marraskuu	2,5	2,5	2,8	4,8	6,2	5,1	3,0	2,5
Joulukuu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Koko vuosi	389,3	479,6	647,8	767,3	794,3	750,0	624,2	463,4

Taulukko 2. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 asteen kallistuskulmassa oleville pinnoille (Ilmatieteenlaitos 2012)

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä IV (Sodankylä), kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	1,3	1,3	1,4	1,7	2,0	1,7	1,4	1,3
Helmikuu	11,0	11,0	14,0	22,7	28,0	23,7	15,2	11,1
Maaliskuu	35,1	37,3	50,5	72,4	85,1	75,0	54,1	38,2
Huhtikuu	58,9	83,3	125,0	168,2	181,8	159,5	121,6	77,3
Toukokuu	78,7	103,5	130,5	145,3	141,3	133,8	121,5	92,2
Kesäkuu	98,8	119,5	145,9	159,4	159,7	157,2	148,8	117,3
Heinäkuu	86,3	111,0	143,1	162,5	164,3	154,2	135,5	102,4
Elokuu	52,6	65,9	88,3	111,3	121,5	117,1	97,9	68,1
Syyskuu	25,9	36,8	66,2	97,2	109,3	93,1	61,8	34,8
Lokakuu	11,7	11,9	17,4	27,9	33,2	27,2	16,7	12,0
Marraskuu	2,7	2,7	3,0	4,7	5,8	4,9	3,2	2,7
Joulukuu	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Koko vuosi	463,2	584,4	785,3	973,6	1032,1	947,6	777,7	557,5

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA JA KOMPONENTIT

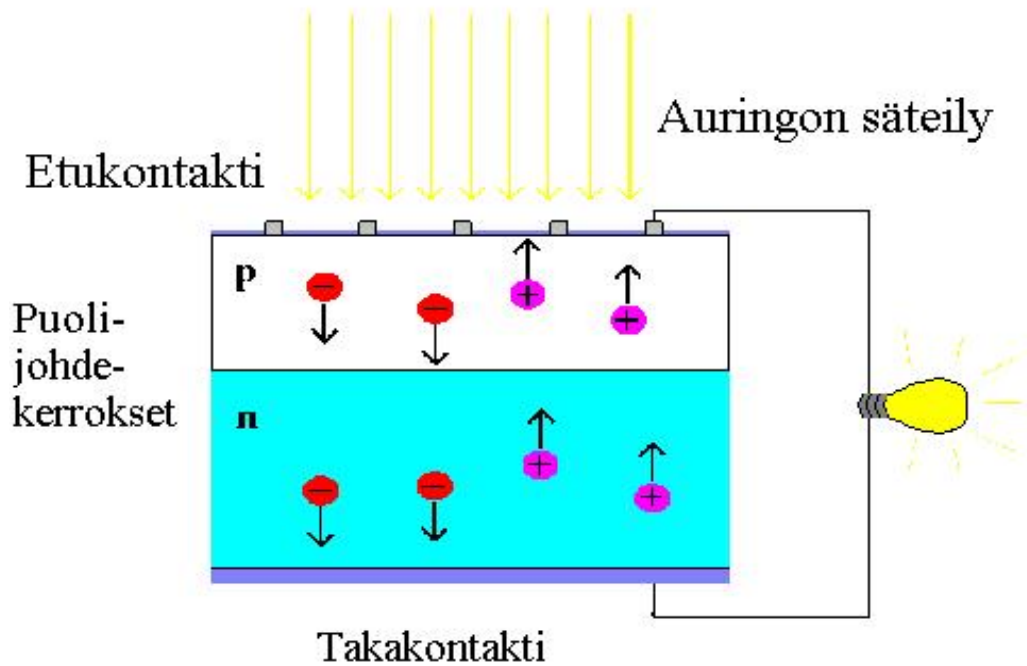
Aurinkosähköä tuotetaan tavallisesti aurinkopaneeleilla, joiden kennot muuntavat auringonsäteilyn sähköksi. Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa, joka muunnetaan vaihtovirraksi. Aurinkovoimaloilla voidaan tuottaa sähköä sähköverkkoon, tai vaihtoehtoisesti niitä voidaan käyttää sähköverkon ulkopuolella sähköntuotantoon. Silloin kun aurinkovoimaloita käytetään sähköverkon ulkopuolella, niihin lisätään akkuja, joilla mahdollistetaan sähkön saannin jatkuvuus. Kuviossa 4 on havainnollistettu aurinkovoimalan toimintaperiaate. (Energiateollisuus 2015)



Kuvio 4. Aurinkovoimalan toimintaperiaate (Energiateollisuus 2015)

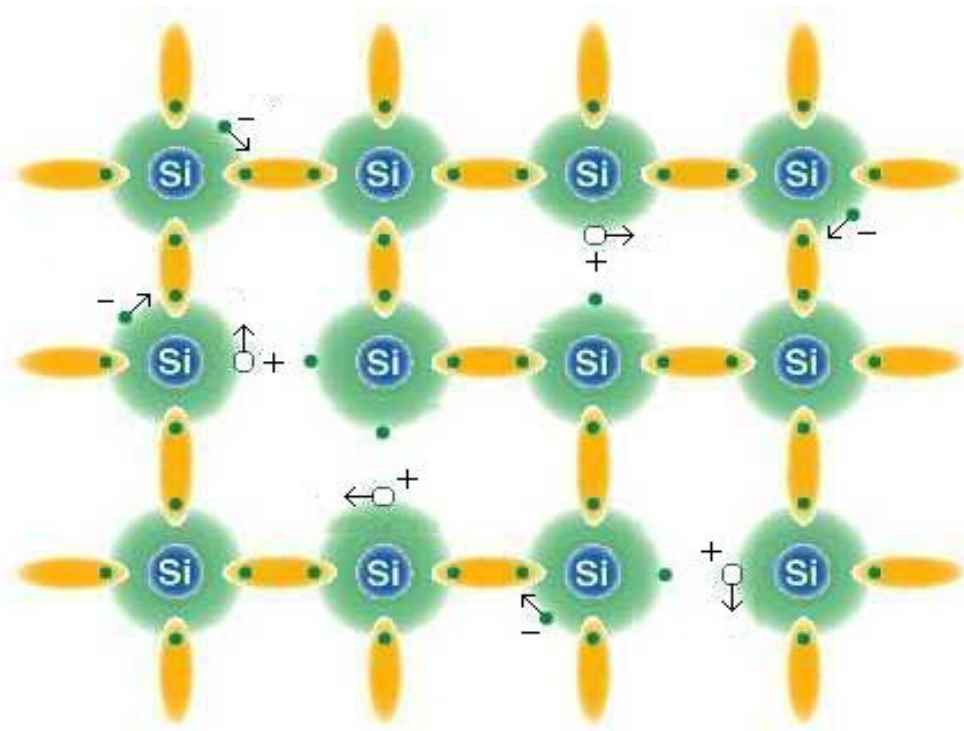
4.1 Aurinkokenno

Aurinkosähkö perustuu valosähköiseen ilmiöön (engl. photovoltaic), jossa auringosta säteilevä energia muutetaan sähköksi lisälaitteiden avulla. Auringon säteily koostuu fotoneista, jotka osuessaan aurinkokennon puolijohdemateriaaliin vapauttaa elektroneja. Kennot koostuvat kahdesta, lähes samanlaisesta puolijohdemateriaalista. Kennojen p-materiaali sekä n-materiaali eroavat toisistaan varausjakauman suhteen, josta johtuen aurinkokennon sisälle syntyy sähkökenttä, joka mahdollistaa säteilyn vapauttamien varauksenkuljettajien kulkeutumisen eri suuntiin kennon sisällä kuvion 5 mukaan. (Helsinki University of Technology 2016.)



Kuvio 5. Aurinkokennon toimintaperiaate (Helsinki University of Technology 2016)

Puolijohteet ovat kiteisen mikrorakenteen omaavia materiaaleja, joiden hyödyllisyys perustuu niiden sähkönjohtavuusominaisuuksien säätelymahdollisuuksiin, joihin voidaan vaikuttaa erinäisten alkuaineiden lisäyksellä. Auringonvalon fotonin osuessa aurinkokennossa olevaan puolijohteeseen se irrottaa kidehilassa olevasta atomista yhden elektronin. Fotonissa ollut energia siirtyy puolijohdemateriaalissa olleelle elektronille vapauttaen sen kidehilasta. Vapautunut elektroni jättää taakseen tyhjän elektronitilan, eli aukon. Täten atomille jää positiivinen varaus, joka tekee atomista positiivisen varauksenkuljettajan. Kuviossa 6 on havainnollistettu aurinkokennossa olevia negatiivisia elektroneja ja positiivisia aukkoja, jotka liikkuvat puolijohdemateriaalissa kuljettaen sähköä. (Helsinki University of Technology 2016.)



Kuvio 6. Negatiiviset elektronit ja positiiviset aukot kidehilassa (Helsinki University of Technology 2016)

4.2 Aurinkopaneeli

Yleisin aurinkopaneeleissa käytetty puolijohdemateriaali on pii (Si). Piitä saadaan valmistettua hiekasta, jota kuumennetaan valokaariuunissa hiilen kanssa yli 2000 °C asteessa. Kuumennettaessa hiili reagoi hapen kanssa, minkä seurauksena syntyy hiilidioksidia ja piitä. Piin ollessa painavampaa se painuu uunin pohjalle, jolloin se voidaan erottaa hiilidioksidista. Tällä prosessilla saadaan 99 % puhdasta piitä, jolloin se ei ole vielä tarpeeksi puhdasta soveltuakseen puolijohdemateriaaliksi. Tämän jälkeen Pii jauhetaan ja annetaan sen reagoida vetykloridin kanssa 300 °C asteessa, josta syntyy trikloorisilaania, joka lopuksi reagoi vielä 1100 °C asteisen vedyn kanssa. Lopputuotteena on 99.9999 % puhdasta monikidepiitä. Yksikiteisen piin valmistuksessa edellä mainittu monikiteinen pii sulatetaan vielä 1414 °C asteessa, jonka jälkeen siitä muokataan yksi iso kide. Yksikiteinen ja monikiteinen piiaiho on esitetty kuvissa 4 ja 5. (Techradar 2009.)



Kuva 4. Yksikiteinen piiaihio (Tindo Solar 2016)



Kuva 5. Monikiteinen piiaihio (PV Education 2016)

Markkinoiden yleisimmät aurinkokennot ovat valmistettu yksikiteisestä, monikiteisestä, sekä amorfisesta piistä. Kennot ovat kooltaan yleensä noin 0,2-0,3 mm paksuja ja pinta-alaltaan (90-160) mm x (120-160) mm. Yhdestä aurinkokennosta saadaan noin 0,5 V:n suuruinen jännite, jolloin niitä kytketään useita sarjaan aurinkopaneeliin. Tämän seurauksena saadaan jännitettä kasvatettua. Yleensä käytetään vähintään 36 kennon aurinkopaneeleita, jolloin jännitteestä saadaan riittävän suuri lataamaan esimerkiksi 12 V:n akkuja. (Suntekno 2010.)

4.2.1 Yksikidekenno

Yksikiteiseksi muokatusta piihiosta sahataan ohuita piikiekkoja, joista muotoillaan suorakulmiota muistuttavia kennoja. Täten kennoja saadaan asennettua paneeliin enemmän ja tiiviimmin, eikä pinta-ala kasva liian suureksi. Pyöreinä piikiekkoina käytettäessä kennojen kulmiin jää aukot, jolloin se kasvattaa paneelin pinta-alaa ja jättää hukkatilaa. Kuvassa 6 näkyvä yksikiteisen kenno on ollut pitkään yleisin tyyppi aurinkopaneeleissa, mutta yksikiteisen piin valmistus on kallista, joten se nostaa paneelin hintaa korkeammaksi, kuin monikiteisestä piistä valmistetun paneelin. Yksikiteisten kennojen teho on noin 75 - 140 Wp/m² välillä ja niiden hyötysuhde vaihtelee 15 - 22 % välillä. Kuvassa 7 nähdään yksikidekennoista valmistettuja aurinkopaneeleita. (Lähde, Karirinne, Rantamäki & Teräsvirta 2012, 17.)



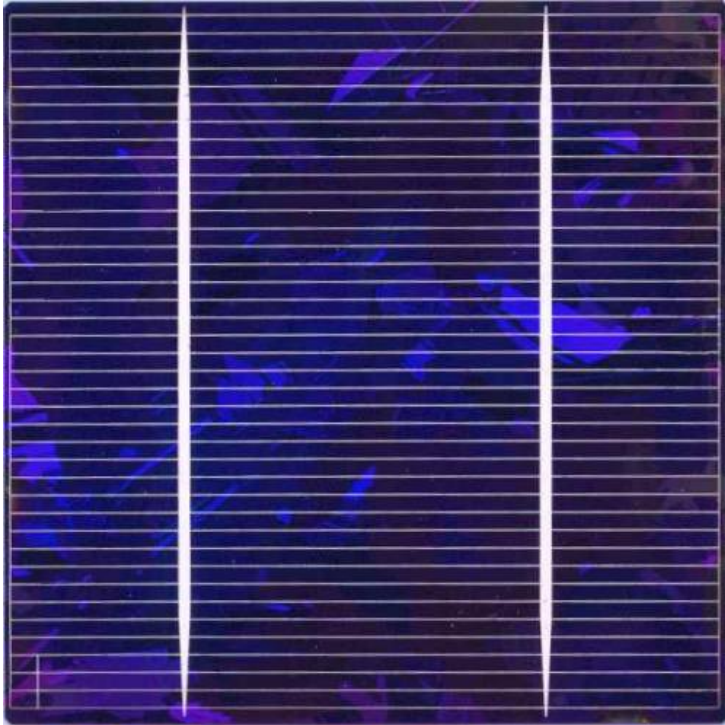
Kuva 6. Yksikiteinen piikenno (Ningbo Best Solar Energy Technology Co., Ltd 2016)



Kuva 7. Yksikidepaneeleita (Alibaba.com 2016)

4.2.2 Monikidekenno

Kuvan 8 mukaisia monikiteisiä kennoja tehdään suorakulmaisista aihioista, johon on puristettu yhteen useita kiteitä. Kiderakenne näkyy selvästi aurinkokennon pinnalla. Suorakulmaisesta muodosta johtuen kennot saadaan asennettua tiiviimmin paneeliin, jolloin monikidekennon neliömetriltä saatava tuotto on samaa luokkaa, kuin yksikiteisellä kennolla, vaikka monikiteisen kennon hyötysuhde jääkin pienemmäksi. Monikiteisten kennojen teho on noin 75 - 140 Wp/m² ja hyötysuhde vaihtelee 10 - 15 %:n välillä. Monikiteisestä piistä valmistetut kennot ovat halvempia, sillä niiden valmistusprosessi ei vaadi yhtä tarkkaa ja monivaiheista työtä. Kuvassa 9 nähdään monikidekennoista valmistettuja aurinkopaneeleita. (Lähde ym. 2012, 18.)



Kuva 8. Monikiteinen piikkenno (PV education 2016)



Kuva 9. Monikidepaneeleita (BLPower.com 2016)

4.2.3 Ohutkalvokenno

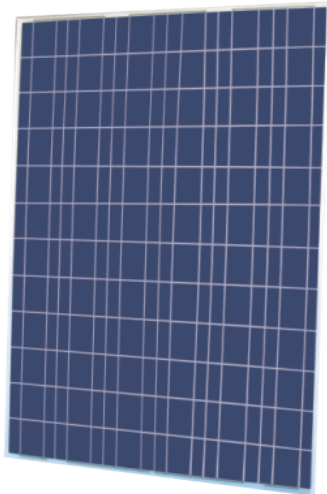
Kuvassa 10 näkyvä ohutkalvokenno valmistetaan erittäin ohuesta puolijohdemateriaalista, yleisimmin amorfisesta piistä. Ohutkalvokennojen valmistukseen kuuluu vähemmän materiaalia ja ne ovat edullisempia valmistaa. Tehossa ja hyötysuhteessa ohutkalvokennot eivät pärjää yksi- ja monikiteisille kennoille. Hyötysuhde on noin 10 %:n luokkaa ja tehot liikkuvat välillä 40 - 65 Wp/m². Kennot koostuvat ohuesta kalvosta, jonka pinnalle asennetaan puolijohdemateriaalia. Ohutkalvokennojen paino, sekä joustavuus antavat kennoille hyvin laajan käyttömahdollisuuden. Nämä kennot ovatkin suosittuja esimerkiksi veneissä. (Lähde ym. 2012, 19.)



Kuva 10. Ohutkalvokenno (ECEE 2016)

4.3 Aurinkopaneelityyppien keskinäinen vertailu

Tässä luvussa vertaillaan edellä mainittujen kolmen aurinkopaneelityypin teknisiä tietoja. Kuvissa 11 - 13 on esitetty esimerkki jokaisesta paneelityypistä.



Nimellisteho: 320 Wp
 Jännite maksimiteholla: 37.50 V
 Virta maksimiteholla: 8.53 A
 Järjestelmän maksimijännite: DC1000 V
 Hyötysuhde (Kenno): 18.28 %
 Hyötysuhde (Paneeli): 16.48 %
 Lämpötila-alue: -40 - +85 °C
 Valmistusmaa: Kiina

Kuva 11. KDM Monikidepaneeli KD-P320 (Kingdom Solar 2016)



Nimellisteho: 320 Wp
 Jännite maksimiteholla: 36.80 V
 Virta maksimiteholla: 8.79 A
 Järjestelmän maksimijännite: DC1000 V
 Hyötysuhde (Kenno): 18.60 %
 Hyötysuhde (Paneeli): 16.48 %
 Lämpötila-alue: -40 - +85 °C
 Valmistusmaa: Kiina

Kuva 12. KDM Yksikidepaneeli KD-M320 (Kingdom Solar 2016)



Nimellisteho: 100 Wp

Jännite maksimiteholla: 19.40 V

Virta maksimiteholla: 6.30 A

Järjestelmän maksimijännite: DC1000 V

Hyötysuhde (Paneeli): 6.90 %

Lämpötila-alue: -40 - +85°C

Valmistusmaa: Saksa

Kuva 13. Schott ASI 100 ohutkalvopaneeli (JHRoerden 2016)

Teknisistä tiedoista voidaan päätellä, että aurinkopaneelityypeillä on eroavaisuuksia. Yksikidepaneelissa hyötysuhde on paras sekä samalla nimellisteholla saadaan suurempi virta ja toimivuus alhaisemmalla jännitteellä. Monikidepaneelit eivät merkittävästi häviä yksikidepaneeleille. Ohutkalvopaneelit ovat selkeästi suorituskyvyltään heikompia, mutta niiden käyttökohteet ovatkin erilaisia. Kaikkien paneelien lämpötila-alueet ovat laajat sekä järjestelmän maksimijännitteet ovat samaa suuruusluokkaa. Paneelien hinnat vaihtelevat valmistajien mukaan, mutta ne noudattavat samaa kaavaa, jolloin yksikiteiset paneelit ovat kalleimpia ja ohutkalvopaneelit ovat edullisimpia. Paneelien tekniset tiedot voivat vaihdella valmistajien mukaan, mutta tämä antaa suuntaa paneelityyppien eroavaisuuksista.

4.4 Muut komponentit

Aurinkosähköjärjestelmät eivät koostu pelkästään aurinkopaneeleista, vaan ne vaativat muitakin komponentteja toimiakseen. Tässä luvussa on esitelty muita järjestelmään kuuluvia komponentteja.

4.4.1 Invertteri

Kuvissa 14 ja 15 esitetyt invertterit eli vaihtosuuntaajat muuntavat aurinkopaneelista saadun tasajännitteen 230 V:n vaihtojännitteeksi. Kotitalouslaitteet käyttävät 230 V:n vaihtojännitettä, jolloin invertteri mahdollistaa aurinkosähköjärjestelmien käytön kotitalouksissa. Invertteri tulee mitoittaa siten, että sen teho tulee olla vähintään yhtä suuri kuin käytettyjen sähkölaitteiden teho. Inverttereitä on saatavilla useita erilaisia, eri tehoille ja eri jännitteille. Yleisimmät ovat 12 V:n, 24 V:n ja 48 V:n tulojännitteille. Mikäli aurinkosähköjärjestelmä kytketään yleiseen sähköverkkoon, on järjestelmään asennettava siihen soveltuva esimerkiksi kuvan 15 mukainen verkkoinvertteri. (JN-Solar 2016.)



Teho: 350 W
 Hetkellinen teho: 700 W
 Tulojännite: 12 V
 Lähtöjännite: 230 V

Kuva 14. Invertteri (JN-Solar 2016)



Teho: 1300 W
 Maksimitulojännite: 600 V
 Lähtöjännitealue: 115 - 480 V

Kuva 15. Verkkoinvertteri (JN-Solar 2016)

4.4.2 Lataussäädin

Aurinkosähköjärjestelmä kytketään akustoon kuvan 16 mukaisen lataussäätimen avulla. Lataussäätimen tehtävänä on estää akkujen yllilatautuminen sekä estää virran pääsy takaisin paneeliin. Lataussäätimen tyyppi valitaan aurinkopaneelin maksimivirran mukaan. Lataussäätimiä ei tarvitse verkkoon kytketyissä järjestelmissä, jolloin niitä käytetään verkon ulkopuolisissa akullisissa järjestelmissä. (JN-Solar 2016.)



Kuva 16. Lataussäädin (Naps Max power) (JN-Solar 2016)

4.4.3 Akku

Akut toimivat aurinkosähköjärjestelmän varastona, johon tuotettua sähköä varastoidaan. Akuilla taataan aurinkosähköjärjestelmää käytettäessä sähkön saataisuus niinä aikoina, kun paneeli ei tuota sähköä. Kuvassa 17 on esitetty yksi aurinkosähköjärjestelmissä käytettävä akkutyyppe. (JN-Solar 2016.)



Kuva 17. Ritar RAD-sarjan suljettu Akku (JN-Solar 2016)

4.4.4 KytKentä ja kaapelointi

AurinkosähkÖjärjestelmän kaapelointia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon useita tekijöitä. Kaapelit tulee mitoittaa hieman suuremmaksi, kuin järjestelmän suurin mahdollinen virta eli oikosulkuvirta. Kaapeleiden tulee kestää vähintään 1,25-kertainen määrä virtaa oikosulkuvirtaan nähden. Kaapeloinnissa tulee myös ottaa huomioon ulkoiset rasitukset, kuten lämpötilavaihtelut ja kosteus. (Isojunno 2014, 25.)

4.5 Tuottoon vaikuttavat tekijät

Aurinkopaneelin tuottoon vaikuttaa useita tekijöitä, mutta kolme tärkeintä tekijää ovat sijainti, suuntaus sekä kallistuskulma. Muita tekijöitä ovat esimerkiksi lämpötila ja ulkoiset tekijät, kuten varjot, lumi, siitepöly ja saasteet.

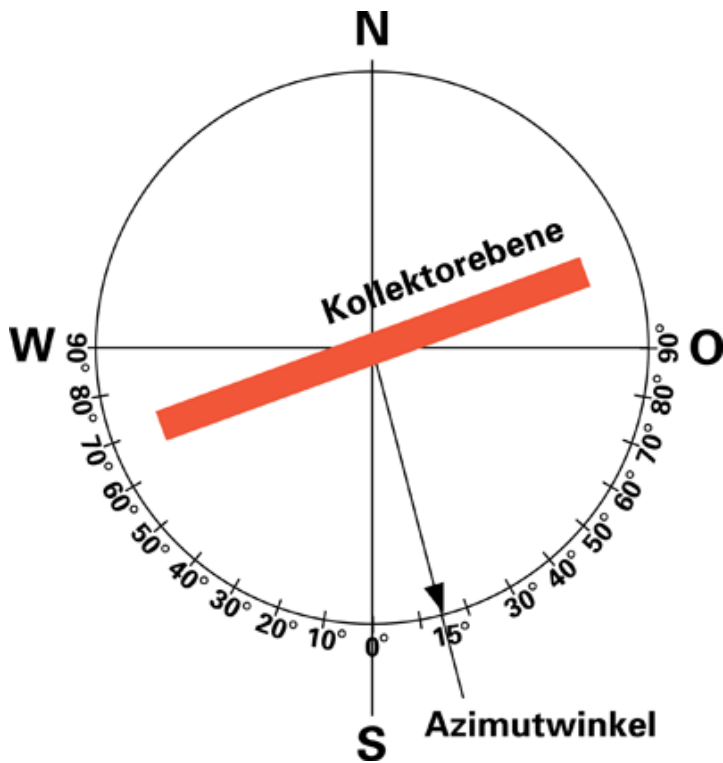
4.5.1 Sijainti

Paneelin energiatuoton kannalta on tärkeää, että paneeli on esteettömässä paikassa. Aurinkopaneeli kannattaa sijoittaa siten, että sen päälle ei osu varjoja esimerkiksi muista rakennuksista tai puista. Koska Suomessa aurinkoenergian saatavuus keskittyy lähinnä alkukevääseen - loppusyksyyn, tulee paneeli sijoittaa siten, että mahdollisimman suuri osa auringon säteilystä tavoittaa paneelin tänä aikana (Aurinkosähkötalo Eurosolar 2016.)

4.5.2 Suuntaus

Suuntauksella tarkoitetaan aurinkopaneelin atsimuuttikulmaa, joka on esitetty kuviossa 7. Atsimuuttikulma kertoo mihin ilmansuuntaan paneeli on suunnattu. Atsimuuttikulmaa mitataan asteissa ja se kiertää pohjoissuunnasta myötöpäivään. Etelän ja lännen välistä astelukua merkitään joskus myös (-) –merkkisillä asteilla. Suomessa parhaan hyödyn saa silloin, kun aurinkopaneelin atsimuuttikulma on

0° ($\pm 10^\circ$). Taulukossa 3 on esitetty Kemin leveyspiirillä (24.336 E ja 65.441 N) vuoden 2015 auringon säteilyn atsimuuttikulmat jokaisen kuukauden ensimmäinen päivä kello 12.00 (SUS design 2016.)



Kuvio 7. Atsimuuttikulma (UEBA 2016)

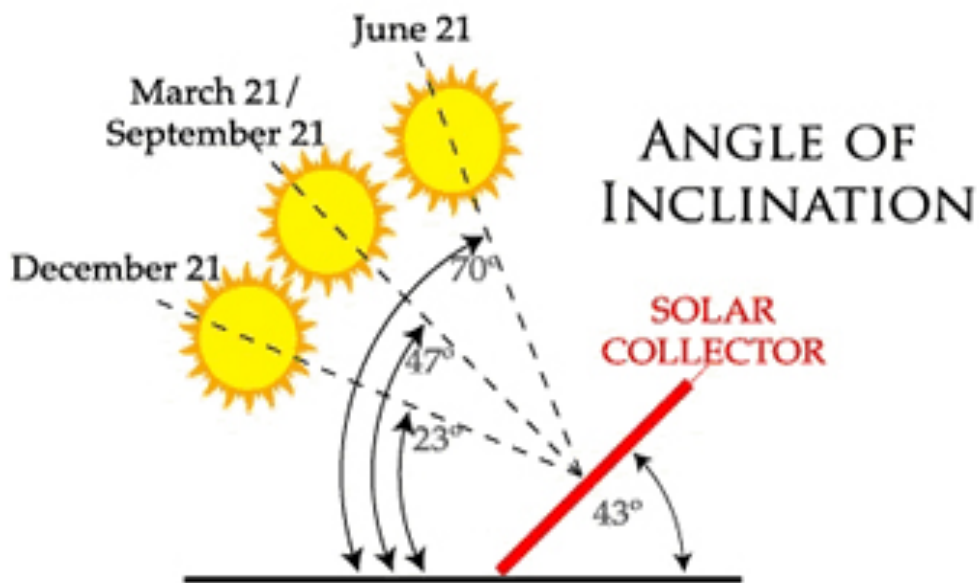
Taulukko 3. Auringon atsimuuttikulmat Kemissä vuonna 2015

Päivämäärä	Atsimuuttikulma
1.1.2015	-5.99°
1.2.2015	-8.71°
1.3.2015	-9.07°
1.4.2015	-7.59°
1.5.2015	-6.20°
1.6.2015	-6.88°
1.7.2015	-9.01°
1.8.2015	-9.35°

1.9.2015	-6.70°
1.10.2015	-3.34°
1.11.2015	-1.54°
1.12.2015	-2.68°

4.5.3 Kallistuskulma

Tärkein aurinkopaneelin tuottoon vaikuttava tekijä atsimuuttikulman lisäksi on sen kallistuskulma, joka on havainnollistettu kuviossa 8. Auringon säteily osuu aurinkopaneelin kohtisuorasti silloin, kun sen kallistuskulma on sama kuin auringon korkeus horisontista. Auringon korkeus vaihtelee päivittäin ja vuodenaikojen mukaan. Taulukossa 4 on esitetty Kemin leveyspiirillä (24.336 E ja 65.441 N) vuoden 2015 auringon säteilyn kulmat jokaisen kuukauden ensimmäinen päivä kello 12.00 (SUS design 2016.)



Kuvio 8. Auringon kulma horisontista ja aurinkopaneelin kallistuskulma (TheSolarplanner.com 2016)

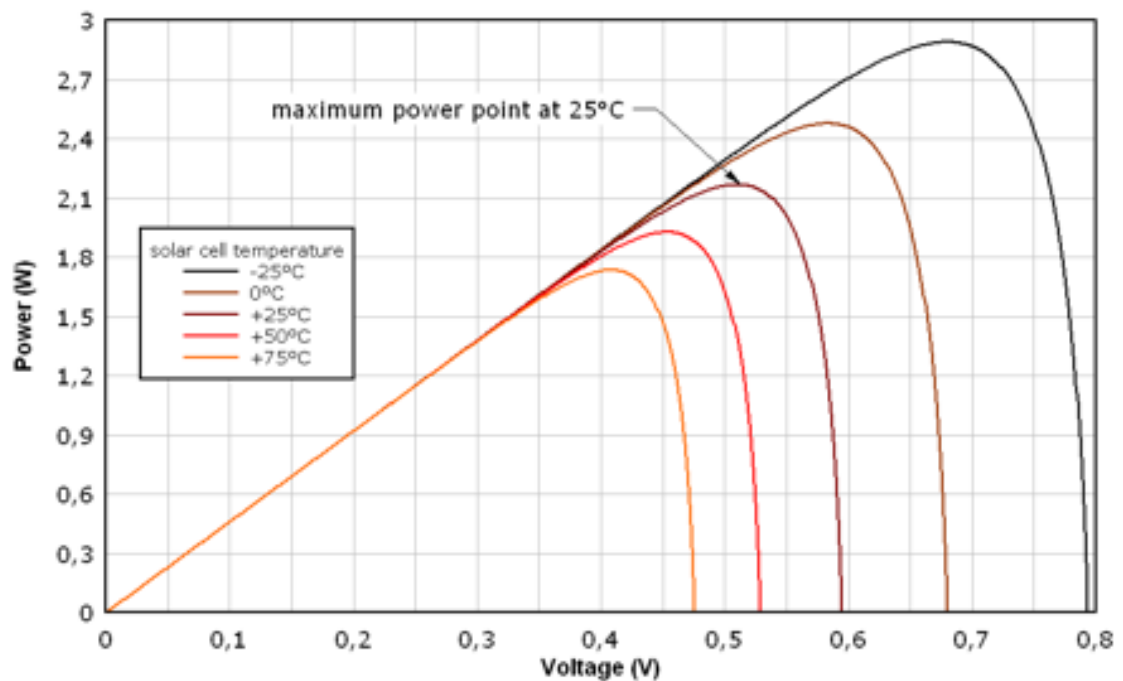
Taulukko 4. Auringon säteilyn kulma Kemissä vuonna 2015

Päivämäärä	Auringon kulma horisontista
1.1.2015	1.41°
1.2.2015	7.14°
1.3.2015	16.64°
1.4.2015	28.87°
1.5.2015	39.49°
1.6.2015	46.47°
1.7.2015	47.46°
1.8.2015	42.35°
1.9.2015	32.74°
1.10.2015	21.38°
1.11.2015	10.16°
1.12.2015	2.75°

Paneelin kallistuskulma voidaan laskea esimerkiksi auringon matalimman kulman ja korkeimman kulman keskiarvona. Matalimmillaan aurinko oli vuonna 2015 tammikuussa, jolloin sen kulma on 1.41° ja korkeimmillaan heinäkuussa 47.46°. Näiden keskiarvona saadaan kallistuskulmaksi saadaan noin 25°. Auringon korkeus vaihtelee kuitenkin päivittäin nolasta maksimiin ja noin puolet säteilystä on hajasäteilyä, joten aurinkopaneelia ei kannata suunnata pelkästään suoraa auringonsäteilyä varten. Hyvä aurinkopaneelien kallistuskulma Suomessa on noin 30 - 45°. (Suntekno 2010.)

4.5.4 Lämpötila

Aurinkopaneelin lämpötila on yksi tehontuottoon vaikuttavista tekijöistä. Korkeammassa lämpötilassa paneelin virta kasvaa ja sen tyhjäkäyntijännite putoaa. Virran kasvu on pieni verrattuna paneelin tyhjäkäyntijännitteen putoamiseen, joka tässä tapauksessa on suurempi tekijä paneelin tehontuoton kannalta. Jännitteen alenemaa voidaan verrata aurinkopaneelin tehon alemaan. Kuviossa 9 nähdään lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin teho-jännitekäyrään. (Suntekno 2010.)



Kuvio 9. Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin virtaan ja tyhjäkäyntijännitteeseen (PV Resources 2015)

4.5.5 Ulkoiset tekijät

Paneelin sijoituksessa tulee ottaa huomioon tuottoon vaikuttavat ulkoiset tekijät. Paneelin päälle osuva ohutkin varjo voi pudottaa tuottoa oleellisesti. Siitepöly on suuri vaikuttava tekijä varsinkin alkukesästä, jolloin se saattaa liata aurinkopaneelin pinnan. Paneeli tulisi puhdistaa siitepölystä mahdollisimman usein alkuke-

sän aikana. Talvella ja keväällä lumi on vaikuttava tekijä sähköntuottoon. Talvi-
kuukausina tuotto on kuitenkin hyvin pientä, joten pimeimpinä kuukausina ei lu-
men kertymisellä ole olennaista merkitystä. Paneeleiden kallistuskulman ja pin-
nan materiaalin tulisi ehkäistä lumen kertyminen paneelin pinnalle, mutta tämä
on kuitenkin mahdollista, joten kevätkuukausina tulisi paneelin pinta pitää puh-
taana lumesta. Kuvissa 18 ja 19 nähdään tuotantoon vaikuttavia ulkoisia tekijöitä.



Kuva 18. Kertynyt lumi aurinkopaneelien pinnalla (Fireflower 2016)



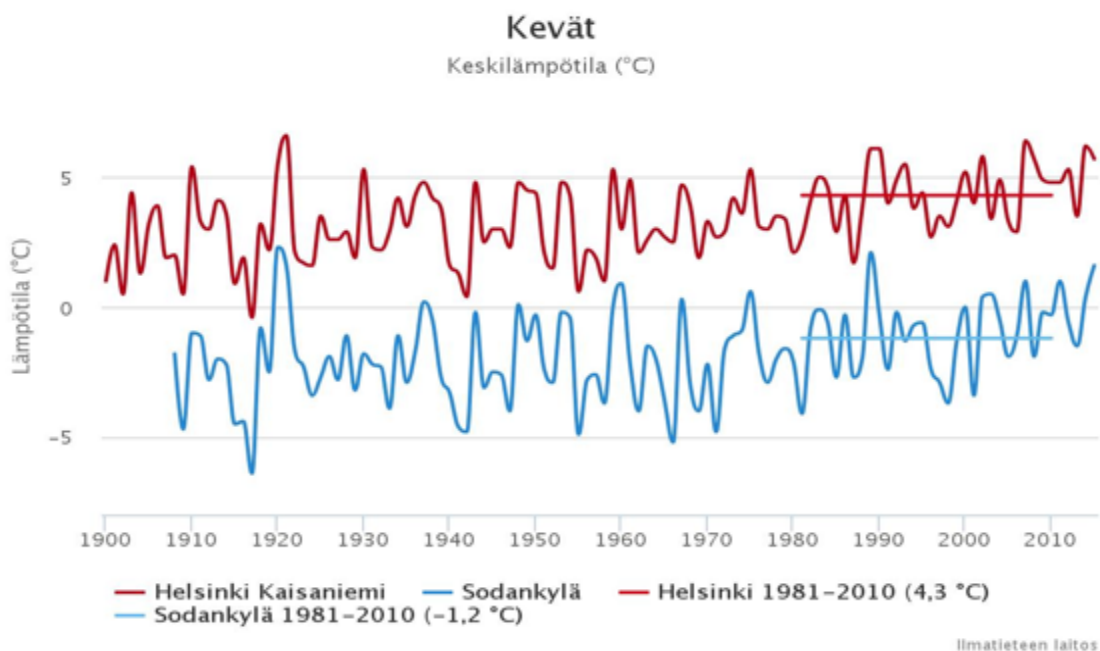
Kuva 19. Puiden varjo aurinkopaneelien päällä (Homepower.com 2016)

5 AURINKOENERGIAN SOVELTUVUUS ARKTISELLE ALUEELLE

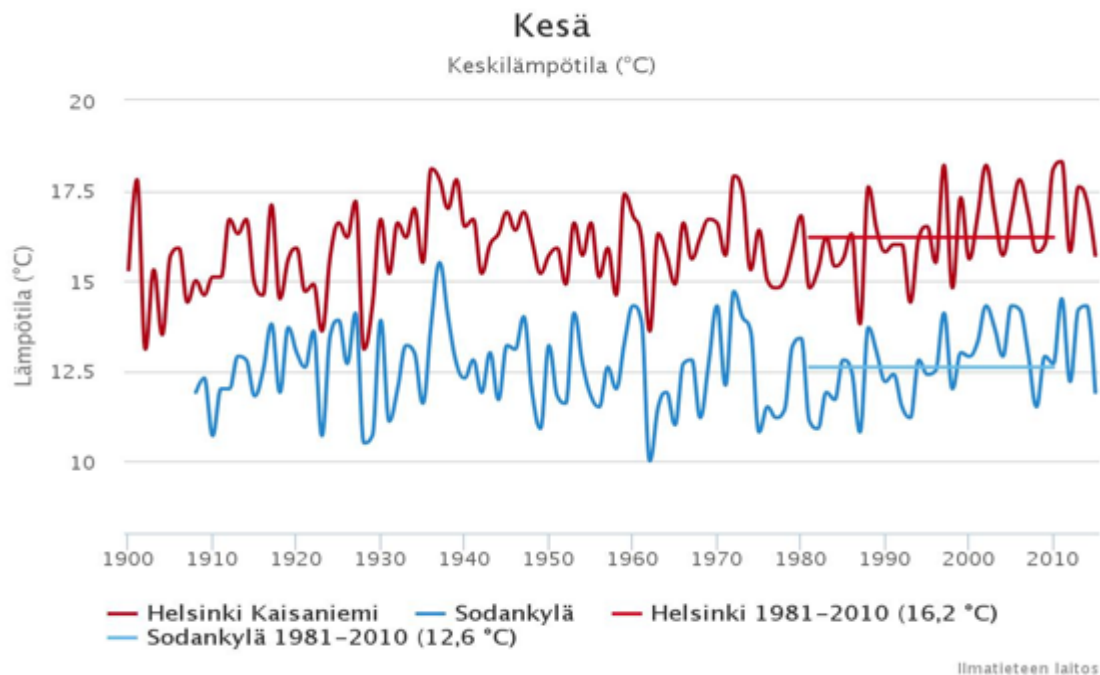
Tässä opinnäytetyössä arktisesta alueesta puhuttaessa tarkoitetaan ilmatieteenlaitoksen tekemän lämpötilavyöhykejaon neljännen lämpötilavyöhykkeen aluetta Suomen rajojen sisällä. Arktisen alueen ominaispiirteet, kuten lyhyt kesä ja suuren vuotuiset lämpötilavaihtelut luovat omat haasteensa aurinkoenergian hyödyntämiseksi.

5.1 Ilmasto

Olenneimmat tekijät arktisessa ilmastossa ovat vuotuinen kokonaissäteilyenergia sekä alueen lämpötilat. Arktiselle alueelle tyypillinen ilmasto on lumiset ja kylmät talvet sekä suhteellisen lämpimät kesät. Auringon säteily keskittyy kevät- ja kesäkuukausille, jolloin talvella aurinkoenergian saanti on olematonta. Vuodenaikojen keskilämpötiloissa on eroja Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen välillä. Kuvioissa 10 ja 11 on esitetty kevään ja kesän keskilämpötilavaihtelut vuosilta 1900 - 2010.



Kuvio 10. Kevään keskilämpötilat Helsingissä ja Sodankylässä (Ilmatieteenlaitos 2016)



Kuvio 11. Kesän keskilämpötilat Helsingissä ja Sodankylässä (Ilmatieteenlaitos 2016)

Aurinkopaneelien tuotto on parempaa matalammalla lämpötilalla (ks. Kuvio 9), joten voidaan päätellä, että lämpötilojen puolesta arktisella alueella on jopa paremmat edellytykset aurinkoenergian hyödyntämiseen, kuin eteläisillä alueilla. Arktisella alueella vuotuinen kokonaissäteilyenergia on pienempi, kuin eteläisillä alueilla, mutta kun verrataan Suomen sisäisiä tilastoja ei eroavaisuudet ole merkittävän suuria.

5.2 Soveltuvat laitteet

Laitteiden valintaan vaikuttaa arktisen alueen ääriolosuhteet, eli käytännössä talvikuukausien kylmimmät lämpötilapiikit. Talvikuukausina aurinkoenergian saanti on olematonta, mutta laitteiden tulee kestää ja pysyä toimintakykyisenä talven yli.

5.2.1 Soveltuvat paneelit

Suurin osa aurinkopaneeleista toimivat laajalla lämpötila-alueella, joka on noin -40 - +85 °C. Tämä lämpötila-alue riittää täyttämään arktisen alueen ilmaston asettamat vaatimukset. Arktisella alueen tuotannollisen kauden ollessa lyhyt, kannattaa paneelia valittaessa panostaa hyötysuhteeseen. Yksikiteisestä piistä valmistetut paneelit omaavat parhaan hyötysuhteen, jolloin niillä saa parhaimman mahdollisen tuoton.

5.2.2 Muut laitteet

Aurinkovoimalan muut laitteet valitaan aurinkopaneelien ja käyttötarkoituksen mukaan. Kun on löydetty soveltuva paneeli arktiselle alueelle, valitaan siihen sopivat komponentit, kuten invertteri ja kaapelit sekä mahdollisesti lataussäädin ja akusto. Kaapeleiden tulee kestää arktista ilmastoa, jolloin niiden tulee kestää kosteutta ja kylmyyttä. Muiden komponenttien ei tarvitse sijaita ulkona, jolloin niiden soveltuvuudesta ei ilmaston puolesta ole haasteita. Koska arktisella alueella aurinkoenergian hyödyntäminen keskittyy kapealle aikavälille, halutaan varmasti saada kaikki mahdollinen hyöty irti. Tästä johtuen muut komponentit kannattaa valita siten, että saadaan mahdollisimman hyvä hyötysuhde.

6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Tässä luvussa tutkitaan erilaisia aurinkosähköjärjestelmäpaketteja ja vertaillaan paneelien ja inverttereiden teknisiä tietoja. Järjestelmien toimittajat tarjoavat valmiita aurinkosähköjärjestelmiä ilman asennusta tai asennettuina. Nämä ovat helpoin vaihtoehto hankkia aurinkosähköjärjestelmä. Vertailtavien järjestelmien kokoluokat ovat 2 kW:n ja 5 kW:n välillä.

6.1 Aurinkosähköjärjestelmä 1 (2 kW)

Valitusta 2 kW:n aurinkosähköjärjestelmä listattiin seuraavat tiedot:

- 8 kpl 250 Wp: monikidepaneeli (Ruukki)
- ABB:n invertteri, UNO-2.0-I-OUTD-S
- Asennukseen tarvittavat kaapelit ja kattotyypin mukaiset asennustelineet
- Kokonaispinta-ala 20,4 m²

Tässä aurinkosähköjärjestelmässä olevat paneelit ovat monikiteisestä piistä valmistettuja. Paneelin teoreettinen hyötysuhde on 16 % ja käyttölämpötila-alue on -40...+85 °C. Invertterin teoreettinen hyötysuhde on 96,6 % ja sen kynnysjännite on 120 Volttia. (Taloon.com 2016.)

6.2 Aurinkosähköjärjestelmä 2 (3,12 kW)

Valitusta 3,12 kW:n aurinkosähköjärjestelmä listattiin seuraavat tiedot:

- 12 kpl 260 Wp:n monikidepaneeli (Innotech Solar)
- Fronius Symo Light 3 kW -verkkoinvertteri
- Asennukseen tarvittavat kaapelit ja kattotyypin mukaiset asennustelineet

- Kokonaispinta-ala 20 m²

Tässä aurinkosähköjärjestelmässä olevat paneelit ovat monikiteisestä piistä valmistettuja. Paneelin teoreettinen hyötysuhde on 15,8 - 16,4 % ja käyttölämpötila-alue on -40...+80 °C. Invertterin teoreettinen hyötysuhde on 96,2 % ja sen kynnyssjännite on 200 Volttia. (Finnwind Oy 2016)

6.3 Aurinkosähköjärjestelmä 3 (3,06 kW)

Valitusta 3,06 kW:n aurinkosähköjärjestelmä listattiin seuraavat tiedot:

- 12 kpl 255 Wp:n monikidepaneeli (Amerisolar)
- ABB TRIO 5.8-TL-OUTD-S -verkkoinvertteri
- Asennukseen tarvittavat kaapelit ja kattotyypin mukaiset asennustelineet

Tässä aurinkosähköjärjestelmässä olevat paneelit ovat monikiteisestä piistä valmistettuja. Paneelin teoreettinen hyötysuhde on 15,9 % ja käyttölämpötila-alue on -40...+85 °C. Invertterin teoreettinen hyötysuhde on 97,4 % ja sen kynnyssjännite on 200 Volttia. (Aurinkosähkö.net 2016.)

6.4 Aurinkosähköjärjestelmä 4 (3,06 kW)

Valitusta 3,06 kW:n aurinkosähköjärjestelmä listattiin seuraavat tiedot:

- 12 kpl 255 Wp:n monikidepaneeli (Q-Cells)
- StecaGrid 3203 -verkkoinvertteri
- Asennukseen tarvittavat kaapelit ja kattotyypin mukaiset asennustelineet

Tässä aurinkosähköjärjestelmässä olevat paneelit ovat monikiteisestä piistä valmistettuja. Paneelin teoreettinen hyötysuhde on 15,3 % ja käyttölämpötila-alue on -40...+85 °C. Invertterin teoreettinen hyötysuhde on 97,4 % ja sen kynnysjännite on 250 Volttia. (Suomen Maalämpötukku 2016.)

Vertailusta voidaan havaita, että paneelien välillä on pientä eroa ilmoitetuissa hyötysuhteissa, mutta nämä erot eivät ole merkittäviä. Kaikkien paneelien käyttölämpötila-alue riittää arktisiin olosuhteisiin. Suurimpina eroina ovat inverttereiden kynnysjännitteet, mikä voi olla merkittävä tekijä arktisella alueella, sillä pienemmän kynnysjännitteen omaavat invertterit käynnistyvät pienemmällä aurinkopaneelista saadulla jännitteellä.

6.5 Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä

Verkkoon kytketyssä järjestelmässä on etuna se, että siinä on aina sähköverkko tukena taustalla, kun aurinkosähköä ei ole saatavilla. Tällöin sähköttömiä hetkiä ei juurikaan tule. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä tulee muistaa, että verkon sähkökatkojen aikana, tai huoltotöiden aikana ei aurinkosähköjärjestelmäkään tuota sähköä. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien sähkötyöt saa tehdä ainoastaan yritys, jolla on sähköasennusoikeudet. Verkkoon kytketyille järjestelmälle on aina tehtävä käyttöönottotarkastus. Sähköurakoitsija tarkastaa järjestelmän ennen käyttöönottoa. Asennuksen tilaajan kannattaa vaatia urakoitsijalta tarkastuspöytäkirja käyttöönottotarkastuksesta. Pienet, eli yleensä tehoiltaan alle 3 kW:n järjestelmät kytketään yhteen vaiheeseen kolmesta. Kytkentä toteutetaan yksivaiheisella verkkoinvertterillä. Yksivaiheisessa kytkennässä sähkö ohjataan suoraan niille laitteille, jotka on kytketty kytketty tähän vaiheeseen, eivätkä kahden muun vaiheen laitteet saa aurinkosähköä. Suuremmat järjestelmät kytketään kaikkiin kolmeen vaiheeseen kolmivaiheisella verkkoinvertterillä, jolloin kaikki kohteen sähkölaitteet saavat aurinkosähköä. (Motiva 2014.)

7 KEMIN ENERGIAN AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Kemin Energia Oy asennutti syksyllä 2015 kaksi aurinkovoimalaa Kemin Karjalahdelle. Voimalat sijaitsevat Karjalahden lämpölaitoksen polttoaineen vastaanottohallin, sekä polttoaineen varastointihallin katoilla. Voimalat ovat suuruudeltaan 25 kilowattia ja 5 kilowattia.

7.1 Tekniset tiedot

Tässä luvussa on esitetty Kemin Energia Oy:n järjestelmien laitteiden sijainti, tekniset tiedot, suuntaukset ja kallistuskulmat.

7.1.1 25 kW aurinkosähköjärjestelmä

Kemin Energia Oy:n kuvassa 33 näkyvä suurempi aurinkosähköjärjestelmä sijaitsee polttoaineen vastaanottohallin katolla, lämpölaitoksen vieressä. Järjestelmän kokonaispinta-ala on 168 m² ja nimellisteho 25 kW. Järjestelmä koostuu 105 yksittäisestä 250 Wp:n paneelista, joiden hyötysuhde on 17,1 %. Aurinkopaneelit on kiinnitetty kiinteällä alumiinikiinnityksellä hallin kattoon. Paneelien atsimuuttikulma on -28°, eli se on suunnattu etelän ja lounaan väliin. Kallistuskulma on 17°. Järjestelmän invertteri on 25 kilowatin SMA Sunny Tripower. (Kemin Energia Oy 2016.)



Kuva 20. 25 kilowatin aurinkosähköjärjestelmä (Rintala 2015)

7.1.2 5 kW aurinkosähköjärjestelmä

Kemin Energia Oy:n kuvassa 22 näkyvä pienempi aurinkosähköjärjestelmä sijaitsee polttoaineen varastointihallin katolla lämpölaitoksen läheisyydessä. Järjestelmän kokonaispinta-ala on 32 m² ja nimellisteho 5 kW. Järjestelmä koostuu 20 yksittäisestä 260 Wp:n paneelista, joiden hyötysuhde on 17,8%. Kiinnitystapa, sekä atsimuuttikulma ovat samat, kuin suuremmassa järjestelmässä, mutta kallistuskulma on 12°. Järjestelmän invertteri on 5 kilowatin SMA Sunny Tripower. (Kemin Energia Oy 2016.)



Kuva 21. 5 kilowatin aurinkosähköjärjestelmä (Rintala 2015)

7.2 Tuotto

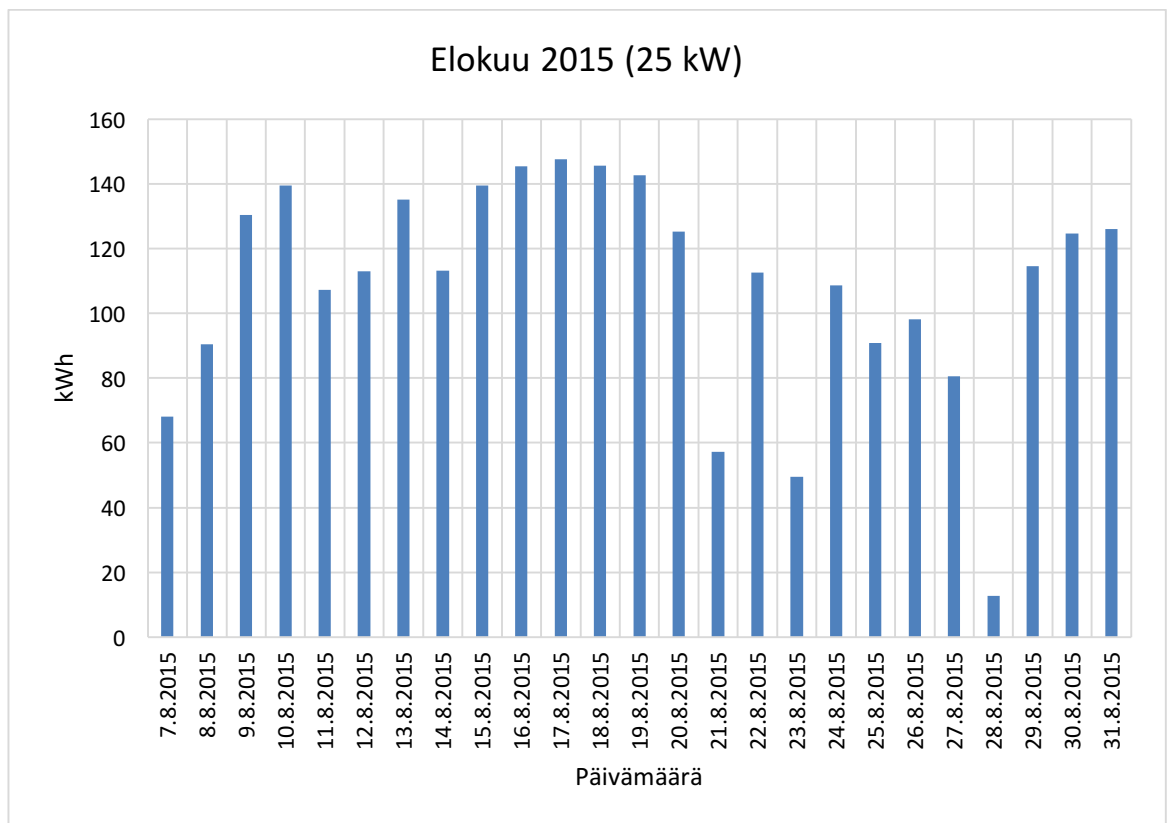
Tässä luvussa on tarkasteltu aurinkosähköjärjestelmistä saatua mittausdataa aikavälillä 7.8.2015 - 3.4.2016. Tarkasteltavia kuukausia olivat elokuu, syyskuu, lokakuu ja maaliskuu, sillä pimeimpinä kuukausina tuottoa ei juurikaan ole. Opinnäytetyön aikataulusta ja aurinkosähköjärjestelmien asennusajankohdasta joh-

tuen tuloksiin ei ollut mahdollista saada mittausdataa kesäkuukausilta. Taulukoissa 7 - 14 on esitetty molempien järjestelmien kuukausittainen tuotto tarkastelu-kuukausilta.

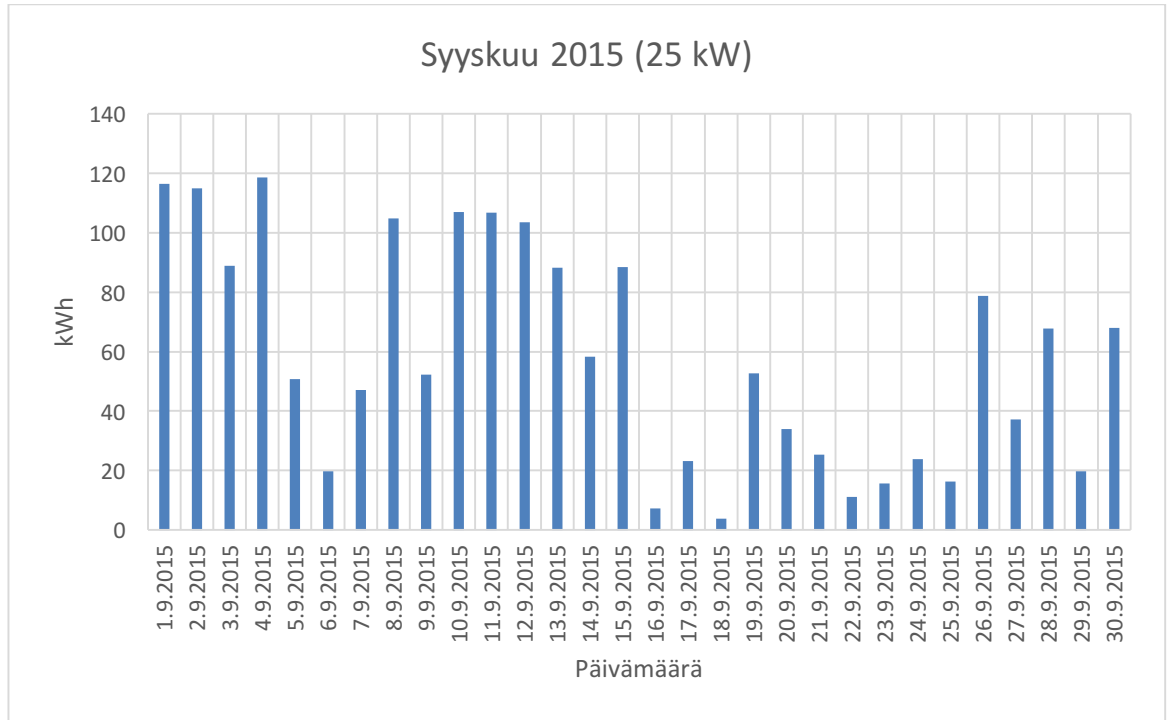
7.2.1 25 kW aurinkosähköjärjestelmä

Taulukoissa 7 - 10 on nähtävissä Kemin Energia Oy:n 25 kilowatin aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotto tarkastelukohteena olevilta kuukausilta, jotka olivat elokuu, syyskuu ja lokakuu vuonna 2015 ja maaliskuu vuonna 2016

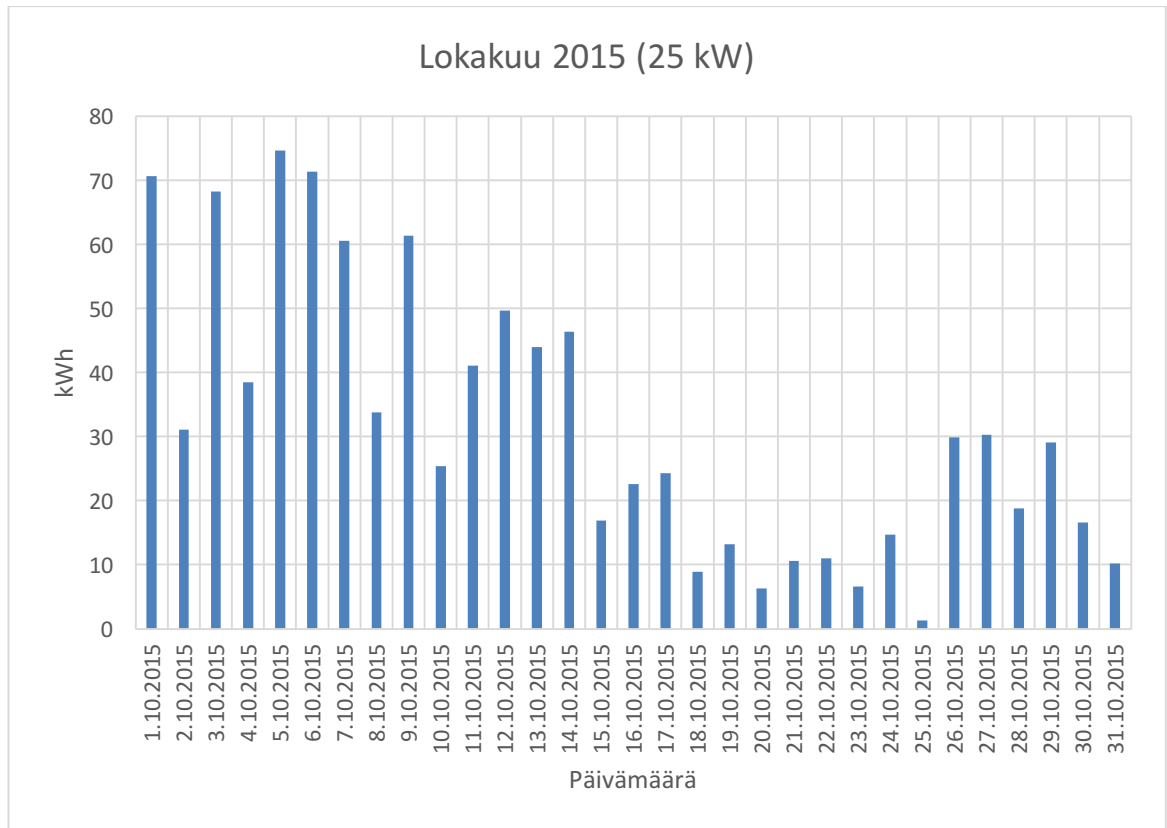
Taulukko 5. 25 kilowatin järjestelmän tuotto elokuussa 2015 (Peurasaari 2016)



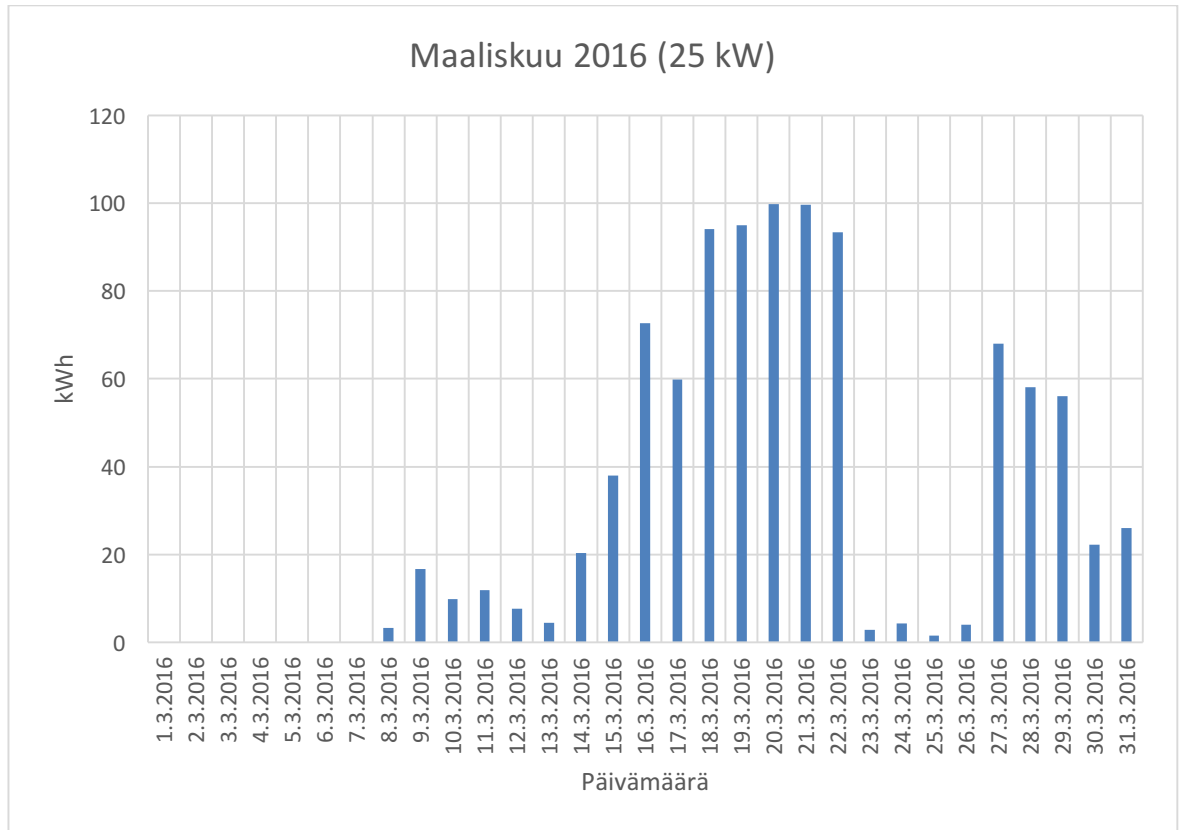
Taulukko 6. 25 kilowatin järjestelmän tuotto syyskuussa 2015 (Peurasaari 2016)



Taulukko 7. 25 kilowatin järjestelmän tuotto lokakuussa 2015 (Peurasaari 2016)



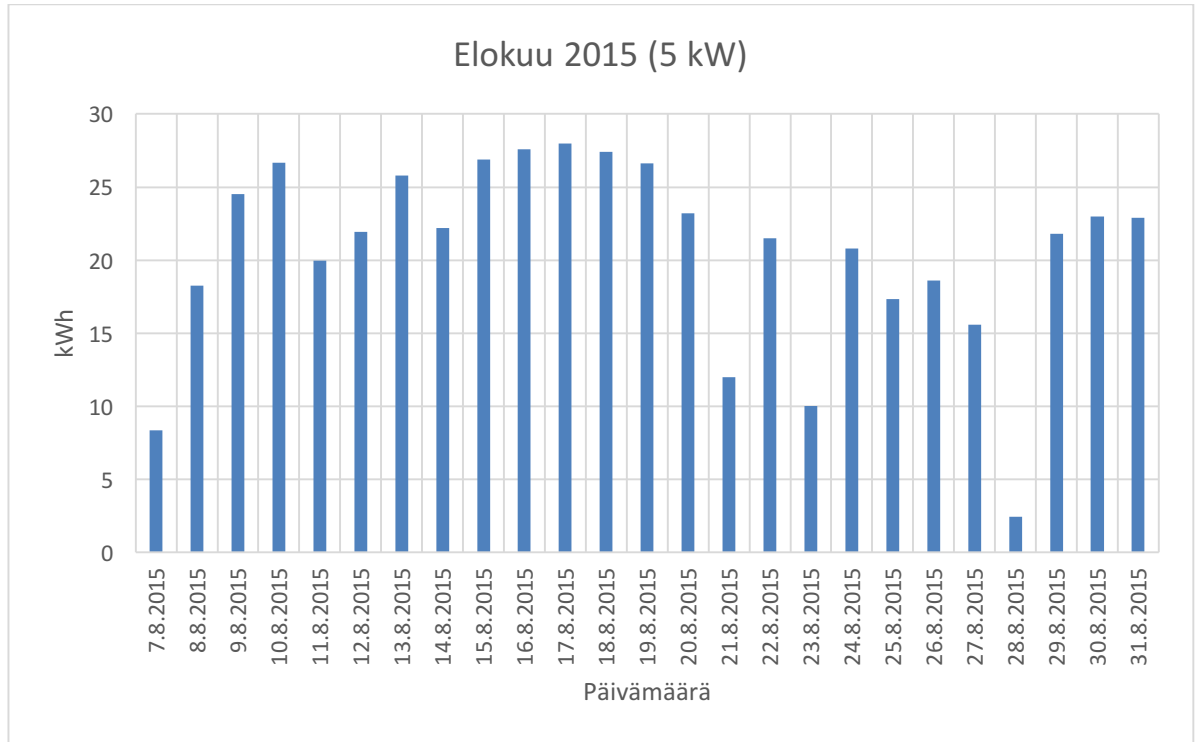
Taulukko 8. 25 kilowatin järjestelmän tuotto maaliskuussa 2016 (Peurasaari 2016)



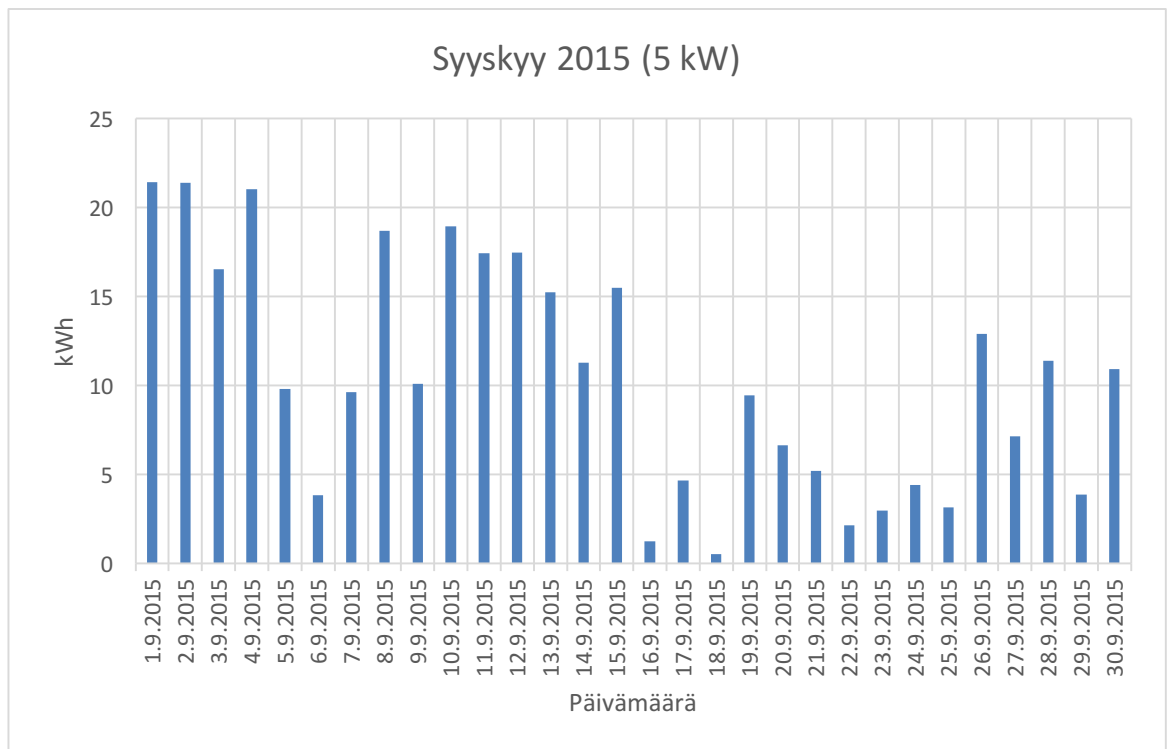
7.2.2 5 kW aurinkosähköjärjestelmä

Taulukoissa 11 - 14 on nähtävissä Kemin Energia Oy:n 5 kilowatin aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen tuotto tarkastelukohteena olevilta kuukausilta, jotka olivat elokuu, syyskuu ja lokakuu vuonna 2015 ja maaliskuu vuonna 2016.

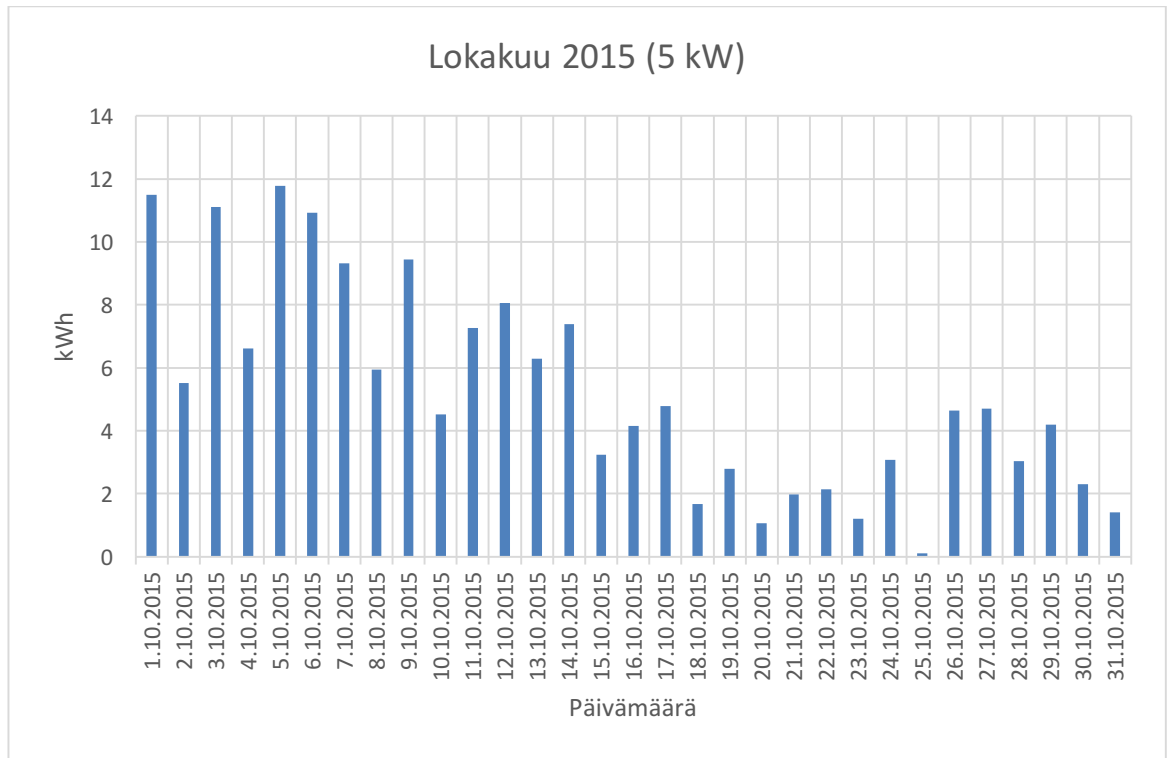
Taulukko 9. 5 kilowatin järjestelmän tuotto elokuussa 2015 (Peurasaari 2016)



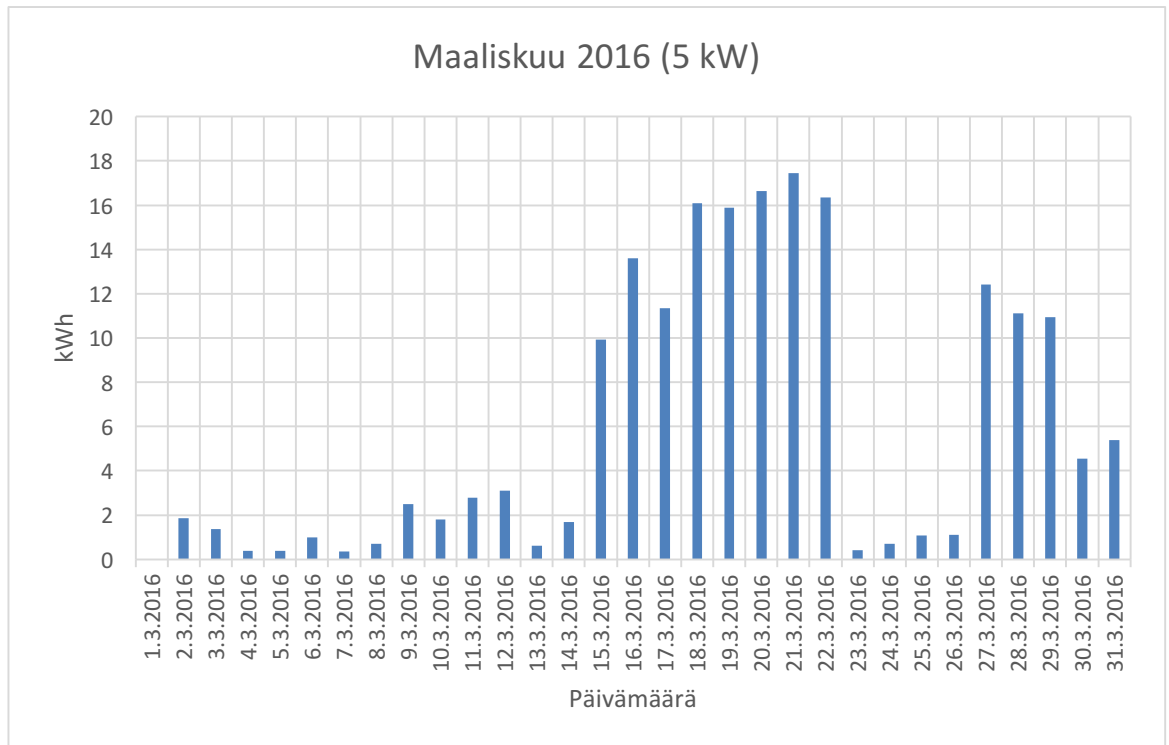
Taulukko 10. 5 kilowatin järjestelmän tuotto syyskuussa 2015 (Peurasaari 2016)



Taulukko 11. 5 kilowatin järjestelmän tuotto lokakuussa 2015 (Peurasaari 2016)



Taulukko 12. 5 kilowatin järjestelmän tuotto maaliskuussa 2016 (Peurasaari 2016)



8 TIETOPAKETTI ASIAKKAILLE

Tässä luvussa annetaan lukijalle tietoa asioista, joita tulee ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmän hankinnassa.

8.1 Ennen järjestelmän hankintaa

Ensimmäinen asia aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa on järjestelmän kannattavuuden huomioiminen. Kannattavuuteen vaikuttavat järjestelmän mitoitus, hinta, sähkönhinta ja auringon säteily määrä. Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa tarkasti, jotta sähköntuottaja saa kulutettua suurimman osan tuotetustaan sähköstä itse. Näihin asioihin kannattaa pyytää apua järjestelmän toimittajalta tai vaihtoehtoisesti alan ammattilaiselta. Seuraavaksi tulee selvittää tarvittavat lupa-asiat, joista saa kaiken tarvittavan tiedon oman kunnan rakennusvalvonnalta, sekä kaupunkikuva-arkkitehdilta. Näihin asioihin saa apua rakennusvalvonnalta, sekä järjestelmiä asentavalta yritykseltä. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä tulee tehdä sähköverkkoyhtiön kanssa liittymissopimus. Sopimuksessa sovitaan liittymismaksu, järjestelmälle asetetut vaatimukset, järjestelmän käyttö ja suojaus sekä teho- ja energia-arvojen rajat. Mikäli ylijäämäsähköä halutaan myydä verkkoyhtiölle, tulee verkkoyhtiön kanssa tehdä verkkopalvelusopimus, sekä laitteiston tulee olla verkkoyhtiön hyväksymä.

8.2 Järjestelmän valinta

Kun esitutkimus on tehty ja järjestelmä on päätetty hankkia, tulee seuraavaksi vaiheeksi järjestelmän valinta. Järjestelmää valittaessa ensimmäinen asia on valita järjestelmä verkkoon kytketyn tai verkkoon kytkemättömän väliltä. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä etuna on se, että ylijäämäsähkö on mahdollista myydä sähköyhtiölle ja sähköverkko on järjestelmän tukena. Tällöin sähköttömiä hetkiä ei sähkökatkoksia lukuun ottamatta tule ja järjestelmään ei tarvitse hankkia akustoja. Verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä, jotka yleensä ovat esimerkiksi

mökkijärjestelmiä, on etuna sähkön varastointi akustoon. Tällöin esimerkiksi yöaikana on mahdollista käyttää aurinkosähköä ilman jatkuvaa tuottoa. Kun valinta näiden järjestelmien välillä on tehty, tulee seuraavaksi tekijäksi järjestelmän hinta. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat tippuneet vuosien saatossa ja tulevat tippumaan entisestään järjestelmien yleistyessä ja kilpailun kasvaessa.

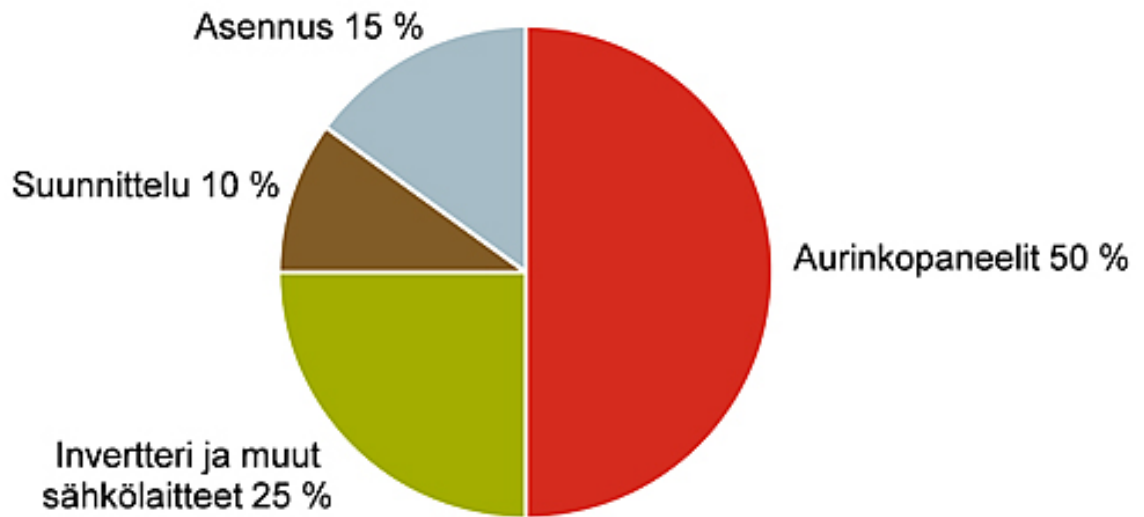
8.3 Hankinta ja asennus

Lupa-asioiden ja järjestelmän valinnan jälkeen tulee järjestelmän hankinta ja asennus. Laitteiden valmistajia ja toimittajia on lukuisia, joten hintojen kilpailuttaminen on tärkeää. Järjestelmiä toimittavat yritykset yleensä tarjoavat pakettiratkaisuja, jotka sisältävät laitteet, asennuksen ja käyttöönottotarkastuksen. Laitteiden valinnat ja mekaanisen asennuksen voi suorittaa itse, mikäli kokee osavansa, mutta sähkökytkennät saa tehdä ainoastaan asennusluvalla omaava ammattilainen. Asennusvaiheessa tulee ottaa huomioon järjestelmän sijainti, asennuskulmat sekä mahdolliset ulkoiset tuotantoon vaikuttavat tekijät, kuten varjotukset. Paneelit on hyvä suunnata osoittamaan mahdollisimman lähelle etelän ilmansuuntaa, mikäli asennuspaikka tämän mahdollistaa. Hyvä kallistuskulma paneeleille Suomessa on 30 - 45° välillä. Pienetkin aurinkopaneeleiden päälle tulevat varjot vaikuttavat paneelien tuottoon, joten järjestelmä kannattaa asentaa mahdollisimman esteettömälle paikalle. Näistä tekijöistä on tarkempaa tietoa luvussa 4.5.

8.4 Kustannukset

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat vaihtelevat järjestelmän kokoluokan, komponenttien, toimittajan ja sijainnin mukaan. Tarkasteluhetkellä 30.3.2016 kokoluokaltaan 2 - 5 kW:n aurinkosähköjärjestelmien hintahaarukka oli 4500 - 8000 €:n välillä. Järjestelmän takaisinmaksuaikaan vaikuttavat useat tekijät, kuten sähkön-

hinta, järjestelmän tuotto ja mahdollisen ylijäämäsihkon myynti. Takaisinmaksuaikaa tulee tarkastella järjestelmäkohtaisesti. Esimerkki aurinkosähkijärjestelmän hinnan muodostumisesta on esitetty kuviossa 12.



Kuvio 12. Aurinkosähkijärjestelmän hinnan jakautuminen (Motiva 2014)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aurinkoenergiasta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä auringosta saadun energian aktiivista hyödyntämistä lämmön- ja sähköntuotannossa. Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa ja sen hyödyntämismahdollisuuksia tutkitaan koko ajan ja sen hyödyntämiseen käytettäviä laitteita kehitetään jatkuvasti. Aurinkoenergian käyttö on lisääntynyt ympäri maapalloa, kuten myös Suomessa. Arktisella alueella aurinkoenergian hyödyntäminen on vielä kohtalaisen vähäistä, sillä arktinen alue luo omat haasteensa aurinkoenergian hyödyntämiselle. Arktisen alueen vuotuinen kokonaissäteilyenergia on hieman alhaisempi kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa, mutta merkittävää eroa tilastoissa ei ole.

Aurinkosähköjärjestelmät jaetaan karkeasti kahteen eri luokkaan: verkkoon kytettyihin ja verkon ulkopuolisiin järjestelmiin. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä on mahdollista myydä ylijäämäenergia sähköverkkoyhtiölle, edellyttäen sopimusta verkkoyhtiön kanssa. Verkon ulkopuoliset järjestelmät ovat yleensä esimerkiksi mökkikäyttöön tarkoitettuja järjestelmiä, jossa ei ole verkkosähköä saatavilla. Yleisimmät paneelityypit ovat yksi- ja monikiteisestä piistä valmistetut paneelit. Näillä paneelityypeillä auringosta saadusta energiasta saadaan hyödynnettyä noin 10 - 20 %. Aurinkosähköjärjestelmät voidaan asentaa käytännössä minne tahansa, mutta yleisimmät sijainnit ovat rakennusten katoilla sekä julkisivuilla. Järjestelmiä on saatavilla niin kutsuttuina ”avaimet käteen” -paketteina, jolloin toimittaja toimittaa tarvittavat laitteet ja suorittaa tarvittavat kytkennät ja tarkastukset.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia arktisella alueella. Tuloksista voidaan päätellä, että aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää myös arktisella alueella, vastoin yleistä mielikuvaa. Tuotannollinen kausi sijoittuu alkukeväälle - loppusyksylle. Etuna arktisella alueella on se, että kesät ovat valoisia ja lämpötilat ovat matalampia, sillä aurinkopaneelit tuottavat paremmin matalammalla lämpötilalla. Laitteiden puolesta haasteena arktisella alueella ovat kylmät talvet, jolloin laitteiden tulee kestää talven yli vahingoittumattomina. Kaikki paneelit joita opinnäytetyössä tutkittiin, kestävät kylmyyttä riittävän määrän

ja muut laitteet sijaitsevat yleensä sisätiloissa, jolloin laitteiden puolesta arktinen alue ei ole poissulkeva tekijä.

Tutkittavan kohteena oli Kemin Energia Oy:n Kemissä sijaitsevat aurinkosähköjärjestelmät. Näistä kerättiin mittausdataa aikavälillä elokuu 2015 - maaliskuu 2016. Tältä aikaväliltä tarkasteltiin elokuun, syyskuun, lokakuun ja maaliskuun tuloksia, sillä talvikuukausina tuottoa ei juurikaan ole. Tuloksista voidaan selkeästi havaita, että arktisen alueen tuotannollinen alkaa jo maaliskuussa ja kestää jopa lokakuuhun saakka.

LÄHTEET

Aarnio, P. 2015. Miten aurinkokenno toimii. Viitattu 6.1.2016. <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html>

Alibaba.com 2016. Mono-crystalline silicon modules. Viitattu 14.1.2016. http://www.alibaba.com/product-detail/Mono-crystalline-Silicon-modules-Mono-kristalline-module_381918671.html

Aurinkoenergia.fi 2015. Aurinkoenergia. Viitattu 11.11.2015. <http://www.aurinkoenergia.fi/Info/23/aurinkoenergia>

Aurinkosähkötalo Eurosolar 2016. Aurinkopaneelin asentaminen. Viitattu 19.1.2016. <http://www.eurosolar.fi/asentaminen/>

Aurinkosähkö.net 2016. Verkkoon kytkettävä aurinkovoimala. Viitattu 30.3.2016. <http://www.aurinkosahko.net/product/112/verkkoonkytkettava-aurinkovoimala-3-vaihe>

BLPower.com 2016. Solar Panel. Viitattu 14.1.2016. <http://www.blpower.com.pk/coming-soon/solar-panel/>

ECEE 2016. Photovoltaic power systems. Viitattu 14.1.2016. <http://ecee.colorado.edu/~ecen2060/PV.html>

Energiateollisuus 2015. Voimalaitostyytit. Viitattu 15.12.2015. <http://energia.fi/energia-ja-ymp-rist/s-hk-ntuotanto/voimalaitostyytit>

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

Everredtronics.com 2015. Solar PV panel / Solar radiation maps. Viitattu 15.12.2015. <http://www.everredtronics.com/Solar.Download.html>

Finnwind Oy 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 30.3.2016. <http://www.verkko-kauppa.finnwind.fi/tuotteet.html?id=1/22>

Fireflower alternative energy 2016. Snow and solar panels. Viitattu 20.1.2016. <http://www.fireflower-alternative-energy.com/uncategorized/snow-and-solar-panels-your-questions-answered/>

Home Power 2016. Energy basics. Viitattu 20.1.2016. <http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/energy-basics-shading-and-solar-electric-systems>

Ilmatieteenlaitos 2012. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Viitattu 15.12.2015. <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>

Ilmatieteenlaitos 2016. Vuodenaikojen tilastot. Viitattu 2.2.2016. <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuodenaikojen-tilastot>

Isojunno, V 2014. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinööriyö

JHRoerden 2016. Thin film module with a-Si cells. Viitattu 19.1.2016. <http://www.jhroerden.com/solar/descargas/SCHOTT%20ASI%2095-103%20EN.pdf>

JN-Solar 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 16.3.2016. <http://www.jn-solar.fi/fi/>

Kemin Energia Oy 2015. Yrityksen www-sivut. Viitattu 10.11.2015. <http://www.keminenergia.fi/etusivu>

Lähde, P., Karirinne, S., Rantamäki, S. & Teräsvirta, A. 2012. Aurinkoenergiajärjestelmien integrointi rakennuksiin ja kiinteistöautomaatioon. Viitattu 14.1.2016.

<http://docplayer.fi/1831802-Aurinkoenergiajarjestelmien-integrointi-rakennuksiin-ja-kiinteistoautomaatioon.html>

Motiva.fi 2015. Yrityksen www-sivut. Viitattu 16.3.2016. <http://www.motiva.fi>

Ningbo Best Solar Energy Technology Co., Ltd 2016. Products. Viitattu 21.1.2016
[http://cnbestsolar.88582.net/High-efficiency-solar-cells/mono5"\(r150\)125s-_Mono5"\(r150\)125s-32.html](http://cnbestsolar.88582.net/High-efficiency-solar-cells/mono5)

Nummila, S 2010. Auringon valtavat tsunamit varmistuivat. Viitattu 11.12.2015.
<https://www.avaruus.fi/uutiset/aurinko-planeetat-ja-kuut/auringon-valtavat-tsunamit-varmistuivat.html>

Peurasaari, J. 2016. Opinnäytetyö Email phinkkainen@gmail.com 4.4.2016. Tulostettu 4.4.2016

PV education 2016. Multi crystalline silicon. Viitattu 13.1.2016. <http://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/multi-crystalline-silicon>

PV Resources 2015. Solar Cells. Viitattu 20.1.2016. <http://www.pvresources.com/en/solarcells/solarcells.php>

Rintala, M. 2015. Aurinkoenergia Email pekka.hinkkainen@edu.lapinamk.fi 24.2.2016. Tulostettu 23.2.2016

Tindo Solar. 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 13.1.2016. <http://www.tindo-solar.com.au/poly-vs-mono-crystalline/>

Suomen aurinkoenergia Oy 2015. Aurinkoenergia. Viitattu 16.12.2015. <http://suomenaurinkoenergia.fi/aurinkoenergia>

Suomen Maalämpötukku 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 30.3.2016.
<http://www.maalampotukku.fi/product/2068/aurinkopaketti-4--306-kwp-3-vaihe>

Suntekno Oy 2016. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. Viitattu 13.1.2016. <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>

Sustainable by design 2016. Sun angle. Viitattu 19.1.2016. <http://www.sus-design.com/sunangle/>

Taloon.com 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 30.3.2016. <http://www.taloon.com/aurinkosahkopaketti-ruukki-2-kw/R-D009.A27511/dp>

Techradar 2009. How sand is transformed into silicon chips. Viitattu 14.1.2016. <http://www.techradar.com/news/computing-components/processors/how-sand-is-transformed-into-silicon-chips-599785>

Thesolarplanner.com 2016. Photovoltaic Tutorial. Viitattu 20.1.2016. http://www.thesolarplanner.com/array_placement.html

UEBA 2016. Azimutwinkel. Viitattu 20.1.2016. http://ueba.elkonet.de/static/ueba/kundenauftraege/elkonet.de/home/ausbilder_bc/bc/Kernauftrag_03/fachliche%20grundlagen/Fachtheorie/azimutwinkel/azimutwinkel.aspx.htm

Zhejiang Kingdom Solar Energy Technic Co., Ltd. 2016. General products. Viitattu 19.1.2016. <http://www.kingdomsolar.net/enproduct.asp>

LIITTEET

- Liite 1. Kemin Energia Oy, Mittausdata elokuu 2015
- Liite 2. Kemin Energia Oy, Mittausdata syyskuu 2015
- Liite 3. Kemin Energia Oy, Mittausdata lokakuu 2015
- Liite 4. Kemin Energia Oy, Mittausdata maaliskuu 2016

	STP 5000TL-20 395	STP 5000TL-20 395	STP 25000TL-30 487	STP 25000TL-30 487
	STP 5000TL-20	STP 5000TL-20	STP 25000TL-30	STP 25000TL-30
	305011395	305011395	1900712487	1900712487
	Total yield	Day yield	Total yield	Day yield
	Counter	Analog	Counter	Analog
dd.MM.yyyy	kWh	kWh	kWh	kWh
1.8.2015	---	---	---	---
2.8.2015	---	---	---	---
3.8.2015	---	---	---	---
4.8.2015	---	---	---	---
5.8.2015	0	---	---	---
6.8.2015	0	0	0,16	---
7.8.2015	8,336	8,336	68,323	68,163
8.8.2015	26,608	18,272	158,794	90,471
9.8.2015	51,122	24,514	289,144	130,35
10.8.2015	77,784	26,662	428,722	139,578
11.8.2015	97,747	19,963	535,891	107,169
12.8.2015	119,685	21,938	648,804	112,913
13.8.2015	145,466	25,781	783,991	135,187
14.8.2015	167,662	22,196	897,107	113,116
15.8.2015	194,549	26,887	1036,695	139,588
16.8.2015	222,128	27,579	1182,064	145,369
17.8.2015	250,097	27,969	1329,707	147,643
18.8.2015	277,509	27,412	1475,253	145,546
19.8.2015	304,117	26,608	1617,833	142,58
20.8.2015	327,321	23,204	1743,117	125,284
21.8.2015	339,312	11,991	1800,302	57,185
22.8.2015	360,825	21,513	1912,809	112,507
23.8.2015	370,855	10,03	1962,375	49,566
24.8.2015	391,664	20,809	2071,005	108,63
25.8.2015	409,015	17,351	2161,861	90,856
26.8.2015	427,599	18,584	2260,102	98,241
27.8.2015	443,163	15,564	2340,678	80,576
28.8.2015	445,582	2,419	2353,417	12,739
29.8.2015	467,366	21,784	2468,092	114,675
30.8.2015	490,351	22,985	2592,751	124,659
31.8.2015	513,254	22,903	2718,708	125,957

	STP 5000TL-20 395	STP 5000TL-20 395	STP 25000TL-30 487	STP 25000TL-30 487
	STP 5000TL-20	STP 5000TL-20	STP 25000TL-30	STP 25000TL-30
	305011395	305011395	1900712487	1900712487
	Total yield	Day yield	Total yield	Day yield
	Counter	Analog	Counter	Analog
dd.MM.yyyy	kWh	kWh	kWh	kWh
1.9.2015	534,672	21,418	2835,206	116,498
2.9.2015	556,055	21,383	2950,112	114,906
3.9.2015	572,592	16,537	3039,086	88,974
4.9.2015	593,628	21,036	3157,688	118,602
5.9.2015	603,438	9,81	3208,417	50,729
6.9.2015	607,29	3,852	3228,091	19,674
7.9.2015	616,939	9,649	3275,245	47,154
8.9.2015	635,643	18,704	3380,186	104,941
9.9.2015	645,76	10,117	3432,413	52,227
10.9.2015	664,69	18,93	3539,384	106,971
11.9.2015	682,135	17,445	3646,21	106,826
12.9.2015	699,625	17,49	3749,838	103,628
13.9.2015	714,851	15,226	3838,052	88,214
14.9.2015	726,149	11,298	3896,44	58,388
15.9.2015	741,661	15,512	3984,827	88,387
16.9.2015	742,923	1,262	3992,156	7,329
17.9.2015	747,608	4,685	4015,338	23,182
18.9.2015	748,155	0,547	4019,045	3,707
19.9.2015	757,598	9,443	4071,817	52,772
20.9.2015	764,234	6,636	4105,807	33,99
21.9.2015	769,426	5,192	4131,155	25,348
22.9.2015	771,571	2,145	4142,223	11,068
23.9.2015	774,554	2,983	4157,791	15,568
24.9.2015	778,964	4,41	4181,608	23,817
25.9.2015	782,124	3,16	4197,805	16,197
26.9.2015	795,018	12,894	4276,673	78,868
27.9.2015	802,155	7,137	4313,792	37,119
28.9.2015	813,557	11,402	4381,618	67,826
29.9.2015	817,42	3,863	4401,268	19,65
30.9.2015	828,358	10,938	4469,275	68,007

	STP 5000TL-20 395	STP 5000TL-20 395	STP 25000TL-30 487	STP 25000TL-30 487
	STP 5000TL-20	STP 5000TL-20	STP 25000TL-30	STP 25000TL-30
	305011395	305011395	1900712487	1900712487
	Total yield	Day yield	Total yield	Day yield
	Counter	Analog	Counter	Analog
dd.MM.yyyy	kWh	kWh	kWh	kWh
1.10.2015	839,849	11,491	4539,883	70,608
2.10.2015	845,367	5,518	4570,991	31,108
3.10.2015	856,472	11,105	4639,205	68,214
4.10.2015	863,09	6,618	4677,71	38,505
5.10.2015	874,862	11,772	4752,325	74,615
6.10.2015	885,784	10,922	4823,623	71,298
7.10.2015	895,112	9,328	4884,204	60,581
8.10.2015	901,059	5,947	4918,019	33,815
9.10.2015	910,51	9,451	4979,322	61,303
10.10.2015	915,038	4,528	5004,694	25,372
11.10.2015	922,31	7,272	5045,758	41,064
12.10.2015	930,372	8,062	5095,44	49,682
13.10.2015	936,663	6,291	5139,354	43,914
14.10.2015	944,057	7,394	5185,723	46,369
15.10.2015	947,303	3,246	5202,64	16,917
16.10.2015	951,457	4,154	5225,197	22,557
17.10.2015	956,245	4,788	5249,446	24,249
18.10.2015	957,923	1,678	5258,386	8,94
19.10.2015	960,702	2,779	5271,62	13,234
20.10.2015	961,77	1,068	5277,907	6,287
21.10.2015	963,751	1,981	5288,467	10,56
22.10.2015	965,891	2,14	5299,498	11,031
23.10.2015	967,084	1,193	5306,054	6,556
24.10.2015	970,148	3,064	5320,747	14,693
25.10.2015	970,252	0,104	5322,082	1,335
26.10.2015	974,899	4,647	5351,914	29,832
27.10.2015	979,61	4,711	5382,142	30,228
28.10.2015	982,648	3,038	5400,904	18,762
29.10.2015	986,833	4,185	5429,993	29,089
30.10.2015	989,135	2,302	5446,549	16,556
31.10.2015	990,541	1,406	5456,772	10,223

	STP 5000TL-20 395	STP 5000TL-20 395	STP 25000TL-30 487	STP 25000TL-30 487
	STP 5000TL-20	STP 5000TL-20	STP 25000TL-30	STP 25000TL-30
	305011395	305011395	1900712487	1900712487
	Total yield	Day yield	Total yield	Day yield
	Counter	Analog	Counter	Analog
dd.MM.yyyy	kWh	kWh	kWh	kWh
1.3.2016	1008,542	0	5603,593	0
2.3.2016	1010,408	1,866	5603,593	0
3.3.2016	1011,787	1,379	5603,593	0
4.3.2016	1012,185	0,398	5603,593	0
5.3.2016	1012,579	0,394	5603,593	0
6.3.2016	1013,577	0,998	5603,606	0,013
7.3.2016	1013,941	0,364	5603,606	0
8.3.2016	1014,651	0,71	5606,857	3,251
9.3.2016	1017,145	2,494	5623,526	16,669
10.3.2016	1018,938	1,793	5633,436	9,91
11.3.2016	1021,727	2,789	5645,326	11,89
12.3.2016	1024,84	3,113	5652,988	7,662
13.3.2016	1025,453	0,613	5657,436	4,448
14.3.2016	1027,144	1,691	5677,727	20,291
15.3.2016	1037,067	9,923	5715,648	37,921
16.3.2016	1050,658	13,591	5788,364	72,716
17.3.2016	1061,996	11,338	5848,198	59,834
18.3.2016	1078,097	16,101	5942,295	94,097
19.3.2016	1093,994	15,897	6037,177	94,882
20.3.2016	1110,637	16,643	6136,892	99,715
21.3.2016	1128,081	17,444	6236,541	99,649
22.3.2016	1144,417	16,336	6329,949	93,408
23.3.2016	1144,827	0,41	6332,833	2,884
24.3.2016	1145,523	0,696	6337,125	4,292
25.3.2016	1146,588	1,065	6338,676	1,551
26.3.2016	1147,698	1,11	6342,767	4,091
27.3.2016	1160,108	12,41	6410,745	67,978
28.3.2016	1171,212	11,104	6468,804	58,059
29.3.2016	1182,163	10,951	6524,818	56,014
30.3.2016	1186,711	4,548	6547,106	22,288
31.3.2016	1192,102	5,391	6573,189	26,083