



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology

AURINKOVOIMALAN KANNATTAVUUSANALYYSI

Profitability of a solar power plant

Juho Lasonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Juho Lasonen

Aurinkovoimalan kannattavuusanalyysi

2014

Kandidaatintyö.

29 sivua, 12 kuvaa, 5 taulukkoa ja 1 liite.

Tarkastaja: Professori Jero Ahola

Hakusanat: Aurinkovoimala, kannattava, investointi

Kiitokset: Haluan esittää kiitokset työn ohjaajalle Jero Aholalle sekä Savonlinna Works Oy:n yhteyshenkilölle Wayna Moncadalle.

Savonlinna Works Oy on Savonlinnassa toimiva konepajayritys, joka valmistaa sellutehtaan osia, pääasiassa sellupesureita ja se on Andritz Oy:n tytäryhtiö. SWO on suunnitellut asentavansa yrityksen katolle 300 kW:n aurinkovoimalaa säästääkseen rahaa sähkölaskussa. Tällä hetkellä kaikki kulutettu energia ostetaan ulkopuolisilta energiayhtiöiltä.

Tässä työssä tarkastellaan kyseisen voimalan energiantuottopotentiaalia. Työssä lasketaan tuotetun energian perusteella saadut vuosittaiset säästöt. Säästöjen avulla voidaan arvioida voimalan kannattavuutta. Lasketaan myös aurinkovoimalan tuottamalle energialle hinta, jota verrataan ostetun energian hintaan. Kannattavuuden arvioinnissa käytetään yleisiä menetelmiä: takaisinmaksuaikaa, sekä annuiteetti- ja nykyarvomenetelmää.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme in Electrical Engineering

Juho Lasonen

Profitability of a solar power plant

2014

Bachelor's Thesis.

29 pages, 12 pictures, 5 tables and 1 attachment.

Examiner: Professor Jero Ahola

Savonlinna Works Oy is a machine workshop operating in Savonlinna, which manufactures parts for pulp mills, mainly pulp washers. SWO is a subsidiary for Andritz Oy. They are planning to install a solar power plant with a nominal power of 300 kW on their roof to save money on electric bills. At the moment all the energy consumed is purchased from external energy companies.

This study investigates the power plant's energy production potential. Annual savings are calculated from the energy produced with the solar plant. Savings can be used to assess the profitability of the plant. Price of the energy produced by solar power is also calculated and it is compared to the price of purchased energy. There are three methods used to assess the profitability: the payback time as well as annuity and discounting methods.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	AURINKOVOIMALAITOKSEN TEORIAA	7
3	ARVIO AURINKOVOIMALAN KANNATTAVUUDESTA PERUSTUEN YLEISEEN HINTATASOON.....	8
3.1	Mahdollisen laitoksen sijainti ja sijoitus	8
3.2	Säteilyenergia Savonlinnassa	10
3.3	Mahdollinen tuotettu energia ja säästöt.....	13
3.4	Takaisinmaksuaika	15
3.5	Hankkeen kannattavuus.....	15
4	SÄHKÖN KOKONAISHINNAN KEHITYS SUOMESSA	19
5	AURINKOVOIMALAN TARKKA KANNATTAVUUSARVIOINTI TARJOUKSIIN PERUSTUEN	20
6	VOIMALAN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI HOMER -OHJELMISTOLLA	24
7	YHTEENVETO.....	27

LÄHTEET

LIITTEET

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

ALV	Arvonlisävero	
SWO	Savonlinna Works Oy	
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö	
a	Annuiteettikerroin	
A	Annuiteetti	[€]
D	Diskonnttauskerroin	
E_a	Neliökohtainen säteilyenergia vuodessa	[Wh/m ²]
E_{PV}	Aurinkovoimalan nimellisteho	[Wh]
\bar{E}_{vrk}	Neliökohtainen keskimääräinen säteilyenergia vuorokaudessa	[Wh/m ²]
η_s	Aurinkovoimalan hyötysuhde	
N	Investointi	[€]
P_n	Aurinkovoimalan nimellisteho	[W]
r	Korkokanta	
t	Pitoaika	
t_k	Huippupaistetunnit	[h/a]

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on tutkia aurinkovoimalan kannattavuutta Savonlinnassa. Aurinkovoimala sijoitettaisiin mahdollisesti Savonlinna Works Oy:n katolle. Työssä on esitetty myös kuvat mahdollisista sijoituskohteista. Voimalan koko olisi 300 kW. Aurinkovoimalan kannattavuutta tarkastellaan sen tuottaman energian perusteella. Tuotettu energian määrä kerrotaan arvioidulla sähköhinnalla, mistä saadaan voimalan vuosittain tuottama säästö. Paneelien eliniäksi on oletettu 30 vuotta. Voimalan takaisinmaksuaika saadaan jakamalla voimalan hinta vuosittaisilla säästöillä. Takaisinmaksuajan ollessa pienempi kuin 30 vuotta voidaan voimalaa pitää kannattavana.

Voimalan tuottama energia on arvioitu internetistä saatavien sovellusten avulla (JRC 2013 ja ASDC 2013). Sovelluksiin sijoitetaan yrityksen koordinaatit ja sovellukset antavat auringon säteilytiedot lähimmältä mittauspisteeltä. Toinen sovellus antaa myös voimalan paneelien optimaalisen asennuskulman. Optimaalisella asennuskulmalla voimala tuottaa suurimman mahdollisen energiamäärän vuosittain. Säteilytiedot on kuvattu pylväsdiagrammeilla. Työssä on esitetty myös yhtälöt tuotetun energian laskemiseen säteilytiedoista.

Aluksi tehdään suuntaa antava arvio voimalan kannattavuudesta vuoden 2013 keskihinnan mukaan (voimala asennettuna n. 1,7–2 €/W_p sis. ALV). Hinta kerrotaan voimalan nimellisteholla, mistä saadaan investoinnin suuruus. Voimalan kannattavuutta arvioidaan takaisinmaksuajalla sekä annuiteetti- ja diskonttausmenetelmillä. Annuiteetti- ja diskonttausmenetelmissä on korkokannalle annettu eri arvoja, jolloin nähdään, mikä korkokanta on kannattavaa investoinnille. Menetelmien tulokset on esitetty taulukoituina. Kannattavuuden arvioinnissa on myös laskettu aurinkovoimalan hinta. Hinnan laskemisen perustana on se, että kun aurinkovoimalaan investoidaan, ostetaan aurinkoenergiaa tietyllä hinnalla tietylle ajanjaksolle. Tällä hetkellä ei ainakaan näytä siltä, että sähkön kokonaishinta lähtisi laskuun. Päinvastoin se nousee kokoajan. Joten jos aurinkovoimalla saadaan halvempaa energiaa kuin ostettu niin sijoitus olisi kannattava, koska aurinkoenergian hinta on 30 vuoden päästä sama kuin ostohetkellä. Työssä perehdytään myös hieman sähköhinnan kehitykseen Suomessa.

Kannattavuuden arvioimiseksi on myös käytetty Homer-ohjelmaa. Ohjelma laskee suoraan aurinkovoimalan tuottaman kassavirran siihen syötettyjen säteilytehojen ja sähköhinnan arvoilla. Homerilla saadut tulokset on esitetty kuvina kappaleessa 4.

Aurinkovoimalan todellinen hinta on saatu kysymällä tarjouksia yrityksiltä, jotka toimittavat maahan aurinkovoimalan osia. Tarjoukset pyydettiin kahtena optiona. Optio 1:ssä pyydettiin tarjous valmiiksi asennetusta 300 kW:n voimalasta ja optio 2:ssa hinnat pelkille voimalan komponenteille (paneelit, invertterit ja kaapelointi). Tässä työssä keskitytään vain optio 1:een, sillä optio 2:ssa joutuu itse arvioimaan asennuksen suuruuden, joka voi olla todella epätarkkaa.

2 AURINKOVOIMALAITOKSEN TEORIAA

Aurinkoenergian installoitu kapasiteetti koko maailmassa vuonna 2012 oli noin 102 GW (EPIA 2013). Aurinkovoimalla tuotettu energia vuonna 2012 oli noin 93 TWh, mikä on noin 0,41 % kaikesta tuotetusta sähköenergiasta (BP 2013). Maapallon pinnalle tulee keskimäärin säteilytehoa ilmakehän läpi noin 1 kW/m². Aurinkoisissa paikoissa, kuten autiomaissa lähellä päiväntasaajaa säteilyenergia on noin 2500 kWh/m² vuodessa, kun taas tundroilla säteilyenergia jää alle 1000 kWh/m²:n vuodessa. Suomessa säteilyteho on noin 1000 kWh/m² vuodessa. Helsingissä voidaan saada heinäkuussa noin 180 kWh/m² ja tammikuussa vain 10 kWh/m² (Uusiutuva energia 2013).

Aurinkopaneelit muuntavat auringon säteilyn suoraan sähköenergiaksi. Nykyiset aurinkopaneelit ovat hyötysuhteiltaan noin 10–20 %. Inverttereiden hyötysuhteet ovat noin 95–98 % ja kaapelointien häviöt 1–5 % luokkaa. Aurinkovoimalan järjestelmähyötysuhde on noin 50–80%, mikä kuvaa laitteiston kokoonpanosta ja käyttösuhteista johtuvia häviöitä. Järjestelmähyötysuhteessa on huomioitu mm. mahdollisesta akustosta ja sääoloista, kuten talvella paneelien päällä olevasta lumesta johtuvat häviöt. Suurin osa kaupallisten aurinkopaneelien kennoista on valmistettu piistä. Paneeli toimii siten, että auringon valon osuessa kennoon se irrottaa elektronin rungon atomeista. Elektronin tilalle jää positiivinen aukko, ja yhdistettynä kuormitukseen tämä aiheuttaa sähkövirran. Aurinkoenergia voidaan muuttaa myös lämmöksi aurinkokeräimillä. Keräinten avulla voidaan lämmittää esimerkiksi käyttövettä. (VTT Prosessit 2004, Uusiutuva energia 2013)

Aurinkopaneelien tuottama teho on määritelty niiden nimellistehon mukaan. Aurinkopaneelin määrittellään tuottavan nimellistehonsa silloin, kun säteilyteho on 1 kW/m². Huippupaistetunti kuvaa tilannetta, jolloin säteilyenergia on 1 kWh/m². Tämä on tilanne kirkkaana kesäpäivänä puolenpäivän aikaan (Uusiutuva energia 2013). Voimalan vuosittain tuottama energia voidaan laskea yhtälöstä

$$E_{PV} = P_n t_k \eta_s, \quad (2.1)$$

missä P_n on voimalan nimellisteho, t_k vuosittaiset huippupaistetunnit ja η_s järjestelmän hyötysuhde. Aurinkoenergian hinta [snt/kwh] voidaan laskea yhtälöstä

$$\text{energian hinta} = \frac{a * \text{voimalan hinta}}{t_k} * 100 \text{snt}/\text{€}, \quad (2.2)$$

missä a on annuiteettikerroin. Voimalan hinta sijoitetaan yhtälöön yksikössä €/kW (Uusiutuva energia 2013). Vuosittainen säteilyenergia saadaan laskettua yhtälöstä

$$E_a = 365vrk/a * \bar{E}_{vrk}, \quad (2.3)$$

missä \bar{E}_{vrk} on vuorokauden keskimääräinen säteilyenergia neliometriä kohti.

3 ARVIO AURINKOVOIMALAN KANNATTAVUUDESTA PERUSTUEN YLEISEEN HINTATASOON

Tässä kappaleessa tarkastellaan 300 kW:n aurinkovoimalan tuottamaa energiaa ja siitä saatavia säästöjä. Mahdollisten säästöjen avulla tarkastellaan investoinnin kannattavuutta Savonlinna Works Oy:n kannalta. Savonlinna Works Oy on osa Andritz Oy:tä, joka kuuluu Andritz AG:hen. Savonlinnan toimipisteessä valmistetaan sellutehtaan osia, pääasiassa sellupesureita. SWO työllistää noin 130 henkilöä. Investoinnin suuruus on arvioitu aurinkovoiman vuoden 2013 keskihinnan mukaan, ja tarkemmat hintatiedot voimalalle esitetään myöhemmissä kappaleissa. Kannattavuuden arvioinnissa käytetään kolmea menetelmää: takaisinmaksuaikaa, sekä annuiteetti- ja nykyarvomenetelmää. Kappaleessa esitellään myös Savonlinnassa saatava säteilyenergian määrä, joka on saatu internetistä olevien sovellusten avulla (JRC 2013 ja ASDC 2013). Sähköhintatiedot sekä energian kulutus on saatu suoraan Savonlinna Works Oy:ltä. Tarkastellaan myös investoinnin kannattavuutta Homer-ohjelmistolla, joka laskee automaattisesti tuotetun energian ja siitä saatavat säästöt.

3.1 Mahdollisen laitoksen sijainti ja sijoitus

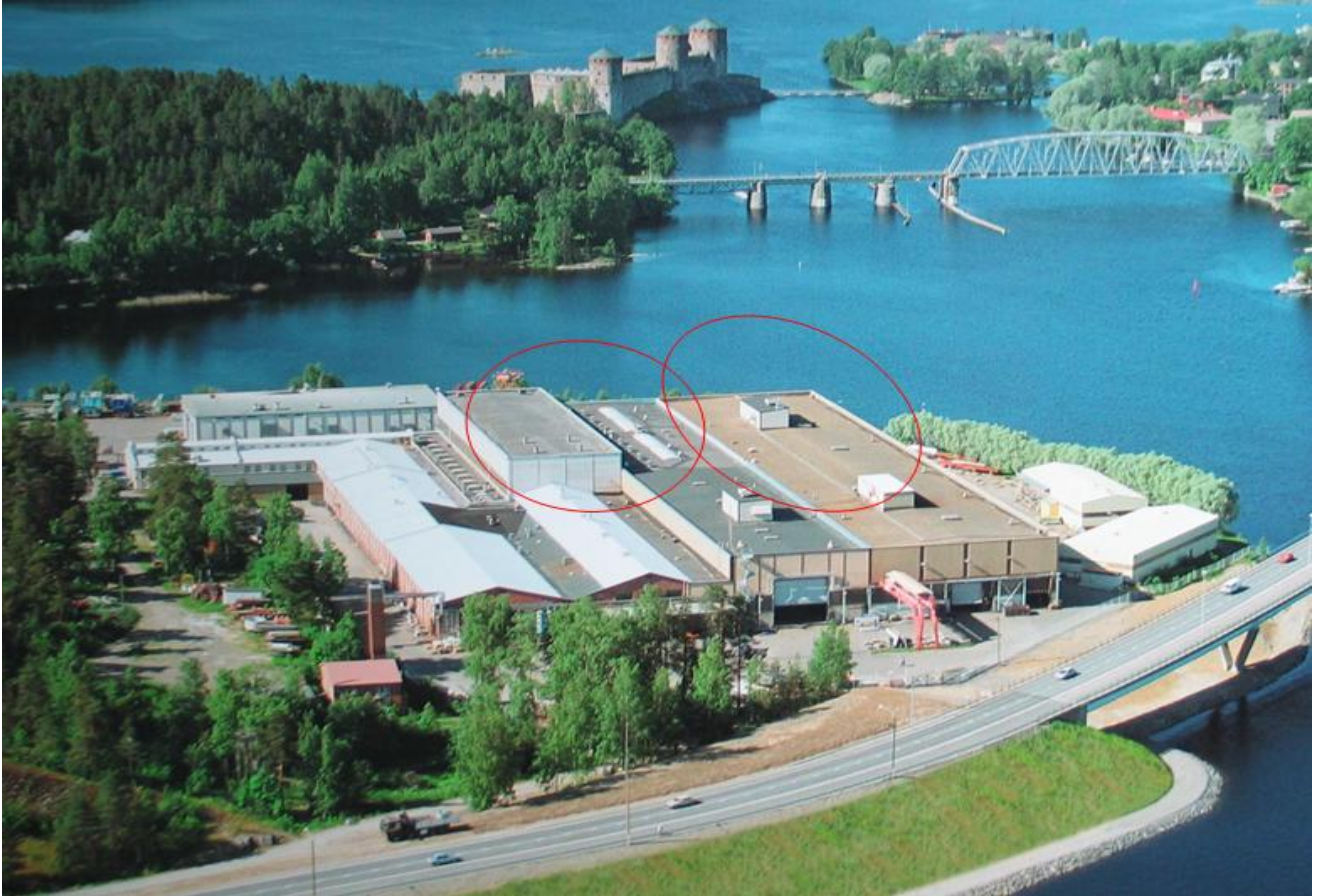
Aurinkovoimalan sijoituspaikkakunta olisi siis Savonlinna ja tarkemmin Kyrönsalmi Savonlinnan-punkaharjuntien (tie 14) varressa. Sijoituspaikka on aukea eikä siellä ole auringonpaistetta haittaavaa puustoa tai rakennuksia. Aurinkovoimalan voisi sijoittaa esimerkiksi yrityksen katolle. Se on malliltaan huopakatto ja jos aurinkovoimala sinne sijoitettaisiin, pitäisi asennusmenetelmää tarkastella tarkemmin katon kestävyuden kannalta. Myös esimerkiksi reikien poraaminen kattoon voi myöhemmin aiheuttaa kosteusvaurioita. Kuvissa 3.1.1 ja 3.1.2 on esitetty yrityksen kattotasoa.



Kuva 3.1.1 Yrityksen ylempi kattotaso



Kuva 3.1.2 Yrityksen alempi kattotaso



Kuva 3.1.3 Ilmakuva mahdollisesta voimalan sijoituskohteesta

Kuvista 3.1.1, 3.1.2 ja 3.1.3 nähdään, että katolla on runsaasti tyhjää tilaa. Katon rakenne ei myöskään ole asennuksen kannalta hankala, sillä katto on tasainen ja sen päällysmateriaali on huopa, johon asennustelineet voi kiinnittää esimerkiksi liimaamalla. Voimala rakennettaisiin todennäköisesti kelluvana järjestelmänä, eli kattoon ei tehtäisi mitään läpivientejä. Saatujen tarjousten perusteella voimalat tuottavat painoa katolle n. 10–20 kg/m², mikä ei tuota liian suurta raskautta katolle. Kuva 3.1.3 on otettu koillisesta päin. Paneelit asennetaan yleensä etelään päin, joten tässä tapauksessa kuvasta 3.1.3 katsottuna paneelit pitäisi asentaa suuntaamaan vasempaan yläkulmaan. 300 kW:n voimala tarvitsee pinta-alaa noin 1800–2300 m² riippuen paneelien asennuskulmasta ja ominaisuuksista. Esimerkiksi LG:n 290W N1C-G3-paneeli on teholtaan noin 176,8 W/m² ja Yinglin YL 245W P-29b-paneeli taas 150 W/m² (Civicsolar 2014).

3.2 Säteilyenergia Savonlinnassa

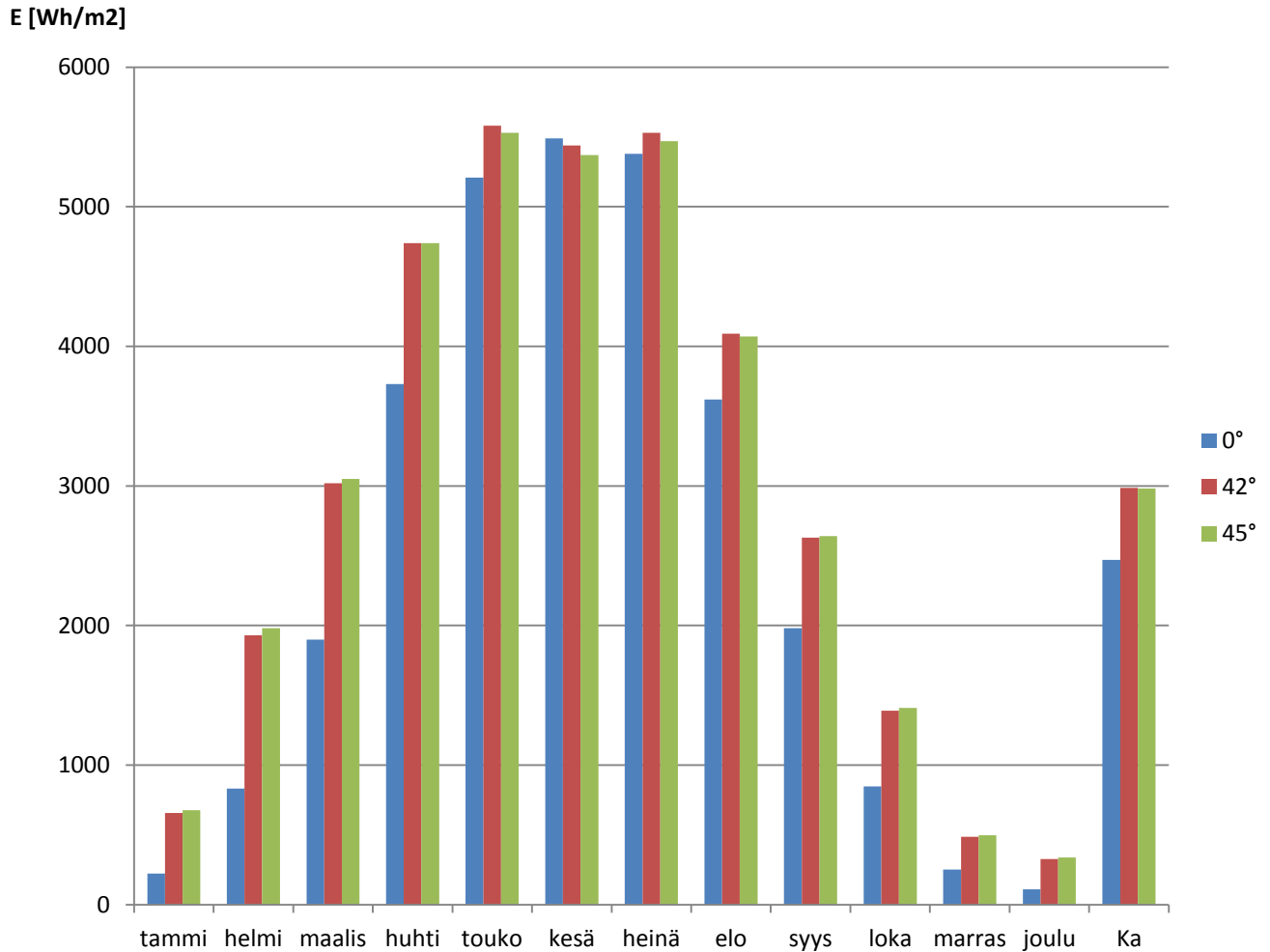
Aurinkopaneelit asennetaan yleensä vakaatasosta poikkeavaan kulmaan, jotta paneelit tuottaisivat optimaalisesti energiaa vuositasolla. Optimaalisella kulmalla tarkoitetaan sitä kulman arvoa, jolla paneelit tuottavat eniten energiaa vuoden aikana. Yleisimmin tämä kulma on noin 45°. Kesäisin saadaan tuotettua eniten energiaa pienillä kulmilla (20–40°), kun taas talvikuukausina (loka–helmikuu) saadaan paremmin energiaa isoilla kulman arvoilla (n. 60–80°). Suomessa loka–helmikuun aikana aurinkovoimala ei kuitenkaan tuota kovinkaan paljon energiaa verrattuna kesään. Kulman muuttaminen vaatii myös paljon vaivaa, joten on järkevämpää asentaa paneelit yhteen tiettyyn

kulmaan. Taulukossa 3.1.1 on esitetty optimaaliset paneelien kulmat joka kuukaudelle Savonlinnassa.

Taulukko 3.1.1 Kuukausittaiset paneelien optimaaliset kulmat Savonlinnassa (JRC 2013)

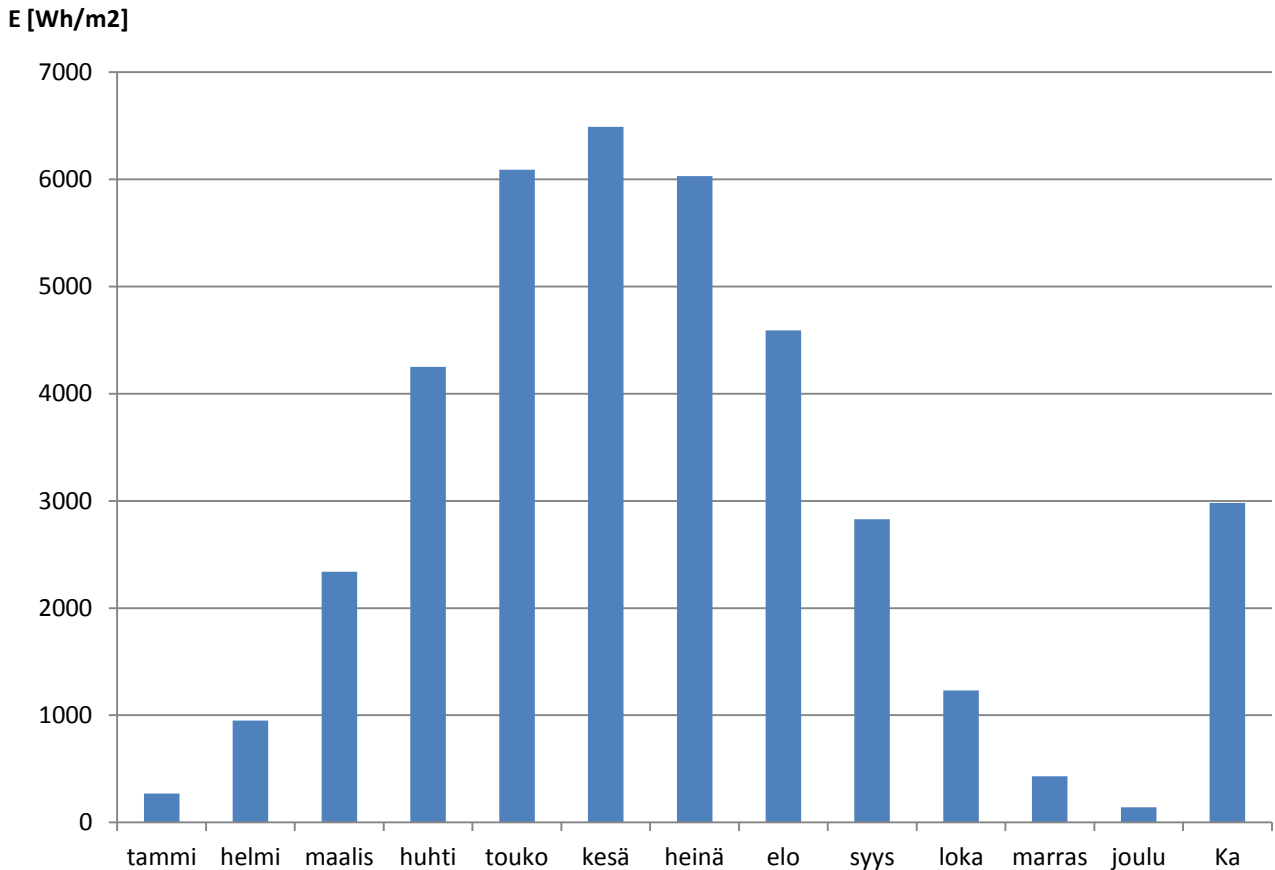
Kuukausi	Optimaalinen kulma [°]	Säteilyenergia [Wh/m ²]
Tammikuu	80	805
Helmikuu	73	2220
Maaliskuu	60	3140
Huhtikuu	44	4740
Toukokuu	30	5670
Kesäkuu	23	5660
Heinäkuu	26	5680
Elokuu	35	4110
Syyskuu	49	2640
Lokakuu	63	1470
Marraskuu	72	543
Joulukuu	81	407
Optimaalinen kulma koko vuodelle	42	

Taulukosta 3.1.1 nähdään, että paneelien optimaalinen kulma muuttuu huomattavasti, joten kulmaa pitäisi olla muuttamassa joka kuukausi. Taulukosta nähdään myös kulma, jolla aurinkovoimala tuottaa eniten energiaa vuodessa ja sen arvo on 42°. JRC:n sovellus laski tämän arvon automaattisesti. Jos paneelit olisivat aina optimaalisessa asennossa joka kuukausi, keskimääräinen säteilyenergia olisi 3,09 kWh/m² vuorokaudessa. Tällöin huippupaistetunnit olisivat 1128 h/a. Kuvassa 3.1.1 on esitetty Savonlinnan päivittäiset säteilykeskiarvot eri kulmilla. Koordinaateiksi valittiin 61°86,9 N ja 28°91,1 E, joka vastaa SWO:n sijaintia.



Kuva 3.1.1 Savonlinnan päivittäiset säteilykeskiarvot eri kulmilla (JRC 2013)

Kuvasta 3.1.1 nähdään, että vuorokauden keskimääräinen säteilyenergia vaihtelee riippuen paneelien kulman suuruudesta. Kuvasta huomataan, että vaakatasossa paneelit tuottavat huonommin energiaa kuin kallistettuna. Vaakatasossa vuosittainen säteilykeskiarvo on noin 2,47 kWh/m² vuorokaudessa. Kulmassa 45° säteilykeskiarvo on noin 2,98 kWh/m² ja kulmassa 42° noin 2,985 kWh/m² vuorokaudessa. Yhtälöstä (2.3) saadaan vuosittaisiksi säteilyenergioiksi noin $E_{0^\circ}=901,6$ kWh/m², $E_{42^\circ}=1089,5$ kWh/m² ja $E_{45^\circ}=1087,7$ kWh/m² vuodessa. Optimaalisella kulmalla saadaan siis tuotettua hieman enemmän kuin yleisellä 45°:een kulmalla. Tuotetun energian ero optimaalisen 42° kulman ja 45° kulman välillä on kuitenkin pieni (n. 1,8 kWh/m² vuodessa). Kuvassa 3.1.2 on esitetty toisesta lähteestä saatu päivittäiset säteilykeskiarvot Savonlinnassa vuosien 1983-2005 keskiarvona (ASDC 2013). Koordinaateiksi valittiin myös 61°86,9 N ja 28°91,1 E.



Kuva 3.1.2 Päivittäiset säteilykeskiarvot kuukausittain Savonlinnassa vuosien 1983-2005 keskiarvona (ASDC 2013)

Kuvasta 3.1.2 nähdään että vuorokauden keskimääräinen säteilyenergia on $2,98 \text{ kWh/m}^2$ vuorokaudessa. Yhtälöstä (2.3) saadaan vuosittaiseksi säteilyenergiaksi noin $1087,7 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa. Kuvista (3.1.1 ja 3.1.2) nähdään myös, että säteilyenergiasta suurin osa tulee maalissyyskuussa (yli 90 %).

3.3 Mahdollinen tuotettu energia ja säästöt

Oletetaan kappaleen 2 mukaan, että järjestelmän hyötysuhde on 50–80%. Jos paneeleita ei ole kallistettu huipputuntien määrä on $t_k=901,6 \text{ h/a}$ ja sijoitettuna yhtälöön (2.1) josta saadaan tuotettua noin 135 - 216 MWh vuodessa riippuen järjestelmän hyötysuhteesta. Voidaan olettaa että paneelit asennetaan noin 42° kulmaan jolloin huippupaistetuntien määrä $t_k \approx 1090 \text{ h/a}$. Nyt tuotettu energia on noin 163 - 262 MWh vuodessa. Simuloidaan Homer ohjelmalla eri asennuskulmilla voimalan hyötysuhde. Taulukossa 3.3.1 on esitetty tuotetut energiamäärät eri asennuskulmilla ja hyötysuhteet kyseisillä tuotoilla. Hyötysuhde saadaan laskettua yhtälöstä (2.1) huippupaistetuntien arvolla $t_k=1090 \text{ h/a}$.

Taulukko 3.3.1 Homerilla lasketut energiat sekä niiden perusteella saadut hyötysuhteet eri asennuskulmilla

Asennuskulma [°]	Tuotettu energia [MWh]	Hyötysuhde
15	225,1	0,69
30	243,7	0,75
45	247,9	0,76
60	239,2	0,73

Taulukosta 3.3.1 saadaan hyötysuhteiden keskiarvoksi $\eta_s=73\%$, jolloin voimalan tuottama energia on yhtälöstä (2.1) noin 238,7 MWh vuodessa, joka on noin 5,2 % yrityksen sähkön kokonaiskulutuksesta. Yrityksen ei tarvitse ottaa huomioon alv:a maksaessa sähkölaskuja joten kaikki sähkön kokonaishinnat on ilmoitettu verottomina. Kuvassa 3.3.1 on esitetty pienmaatilän (35 MWh/a) sähkön kokonaishinta (ALV 0 %) aikavälillä 1.1.2012–1.4.2014.



Kuva 3.3.1 Sähkön kokonaishinta (Alv 0 %) pienmaatilalle (n. 35 MWh/a) (Energiavirasto 2014)

Arvioidaan kuvasta 3.3.1 yrityksen ostaman sähkön kokonaishinnaksi n. 8,2 snt/kWh. Aurinkovoimalan tuottamalla 238,7 MWh:n energialla saadaan vuosittain korvattua ostoenergiaa 19

573 €:n edestä. Paremmalla hyötysuhteella ($\eta_s=80$ %) päästään noin 262 MWh vuodessa, ja sillä saadaan korvattua ostoenergiaa 21 484 € edestä.

3.4 Takaisinmaksuaika

Nykyisin asennetun aurinkoenergian hinta Suomessa on noin 1,7–2 €/W_p riippuen asennustavasta ja voimalan koosta, joten tällä hinnalla 300 kW:n aurinkovoimala maksaisi noin 510 000–600 000. Tämä hinta sisältää ALV:n (24 %), jota ei yritysten tarvitse ottaa huomioon. Nyt voimalan hinta olisi noin 411 000–484 000 € ilman ALV:a. Takaisinmaksuaika 484 000 € maksavalle ja 19 573 € (ALV 0 %) vuodessa säästävälle aurinkovoimalalle olisi noin 24,8 vuotta ja 21 484 € (ALV 0 %) säästävälle noin 22,6 vuotta. Takaisinmaksuaikaa lyhentää sähkön kokonaishinnan nousu, jota on tarkasteltu kappaleessa 3.5. Toisaalta inflaation vaikutus kasvattaa takaisinmaksuaikaa ja sitä on tarkasteltu diskonttausmenetelmän avulla myös kappaleessa 3.5. Aurinkopaneelit voivat kestää käytännössä kuinka kauan vain, mutta niiden tuottama energia vähenee vuosittain joitain prosentteja riippuen paneeleista. 25 vuoden kuluttua paneelit tuottavat noin 80 % alkuperäisestä (Gevorkian 2011). Tästä johtuen säästöt vähenevät myös samassa suhteessa ja takaisinmaksuaika kasvaa.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) tarjoaa myös investointitukea uusiutuvien energialähteiden sähköntuotantoon. Tämän tuen määrä on aurinkosähköhankkeille 30 %, jos käytetään jo olemassa olevia teknologioita. Nyt investoinnin suuruus olisi enää 287 700–338 800 € (ALV 0 %). Takaisinmaksuaika 338 800 € maksavalle ja 19 573 € vuodessa säästävälle aurinkovoimalalle olisi noin 17,3 vuotta ja 21 484 € säästävälle noin 15,8 vuotta.

3.5 Hankkeen kannattavuus

Hankkeen kannattavuus voidaan laskea eri menetelmillä, kuten annuiteetti- ja diskonttausmenetelmillä. Annuiteettimenetelmässä lasketaan investoinnista aiheutuvat vuosittaiset kustannukset ja verrataan niitä esimerkiksi saatuihin säästöihin. Annuiteettikerroin saadaan laskettua yhtälöstä

$$a = \frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1}, \quad (3.4.1)$$

missä r on laskentakorko ja t pitoaika. Vuotuiset kustannukset eli annuiteetti saadaan laskettua yhtälöstä

$$A = a * N, \quad (3.4.2)$$

missä N on investoinnin suuruus (Vierros 2009). Hanketta voidaan pitää kannattavana jos annuiteetti on pienempi kuin vuosittaiset säästöt. Lasketaan aurinkovoimalan annuiteetti yhtälöistä (3.4.1 ja 3.4.2). Ilman TEM:in tukea takaisinmaksuaika on 22,6–24,7 vuotta. Pitoaika on 30 vuotta. Korkokannaksi valitaan 10 % ja investoinniksi 338 800 €. Näillä arvoilla saadaan vuotuiseksi

annuiteetiksi $A=51\,342$ €. Tällä korkokannalla hanke ei ole kannattava perustuen aurinkovoimaloiden yleiseen hintatasoon. Jos valitaan korkokannaksi 5 %, saadaan annuiteetiksi $A=31\,485$ €. Tämä on jo huomattavasti pienempi, mutta silti ei kannattava, sillä voimalalla saadaan säästettyä vuosittain maksimissaan noin 21 484 €. TEM:in investointituen avulla takaisinmaksuaika on 15,8–17,3 vuotta. Valitaan pitoajaksi myös 30 vuotta. Annuiteetit korkokannoilla 10 % ja 5 % ovat $A_{10}=35\,855$ € ja $A_5=21\,987$ €. Nyt nähdään, että 5 % korkokannalla hanke olisi jo lähellä kannattavaa, jos voimalan hyötysuhde $\eta_s=80$ %.

Kannattavuuden arvioimiseksi voidaan käyttää myös diskonttausmenetelmää, joka ei ole niin optimistinen arvio kuin annuiteettimenetelmä, sillä siinä otetaan huomioon rahan arvon muutos. Diskonttausmenetelmässä lasketaan hankeen tulevaisuudessa tuottaman rahan nykyarvo. Menetelmässä kerrotaan kassavirta (tulot–menot) kyseisen vuoden diskonttaustekijällä, mistä saadaan kassavirran nykyarvo. Lopuksi nykyarvot lasketaan yhteen. Diskonttaustekijä saadaan laskettua yhtälöstä

$$D = \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (3.4.3)$$

missä t on kyseisen vuoden järjestysnumero (Vierros 2009). Lasketaan yhtälön (3.4.3) avulla diskonttaustekijät halutulle aikavälille. Valitaan korkokannaksi 5 %, sillä se annuiteettimenetelmän perusteella se on realistisempi koron arvo kuin 10 %. Aurinkovoimala voi myöhemmin nostaa kiinteistön arvoa, jos paneelit toimivat moitteettomasti 30 vuoden kuluttua. Toisaalta taas voimala voisi myös laskea kiinteistön arvoa jos paneelit eivät toimikaan ja ne ovat käytännössä romumetallia. Mutta oletetaan, että aurinkovoimalalla ei ole jäännösarvoa. Aurinkovoimala ei myöskään vaadi huoltoa tai polttoainetta, joten sillä ei ole ylläpitokustannuksia. Diskonttausmenetelmässä otetaan siis huomioon vain voimalan tuottama säästö vuosittain. Taulukossa (3.4.1) on esitetty investoinnin kassavirtojen nykyarvot.

Taulukko 3.5.1 Investoinnin kassavirran nykyarvo korkokannalla 5 % ja pitoajalla 30 vuotta.

t	Diskont. kerroin	Kassavirta [€]	Nykyarvo [€]
0	1	-338 800	-338 800
1	0,952	19 573	18633
2	0,907	19 573	17753
3	0,864	19 573	16911
4	0,823	19 573	16109
5	0,784	19 573	15345
6	0,746	19 573	14601
7	0,711	19 573	13916
8	0,677	19 573	13251
9	0,645	19 573	12625
10	0,614	19 573	12018
11	0,585	19 573	11450
12	0,557	19 573	10902
13	0,53	19 573	10374
14	0,505	19 573	9884
15	0,481	19 573	9415
16	0,458	19 573	8964
17	0,436	19 573	8534
18	0,416	19 573	8142
19	0,396	19 573	7751
20	0,377	19 573	7379
21	0,359	19 573	7027
22	0,342	19 573	6694
23	0,326	19 573	6381
24	0,31	19 573	6068
25	0,295	19 573	5774
26	0,281	19 573	5500
27	0,268	19 573	5246
28	0,255	19 573	4991
29	0,243	19 573	4756
30	0,231	19 573	4521
31	0,22	19 573	4306
Yht.		267 963	-33 579

Taulukosta 3.5.1 nähdään, että kassavirtojen nykyarvon summa on negatiivinen joten sijoitus ei näyttäisi olevan kannattava perustuen yleiseen aurinkovoimaloiden hintatasoon. Pienemmällä korkokannalla investointi voisi jo olla kannattavaa. Lasketaan Excelin Goal Seek -toiminnolla se

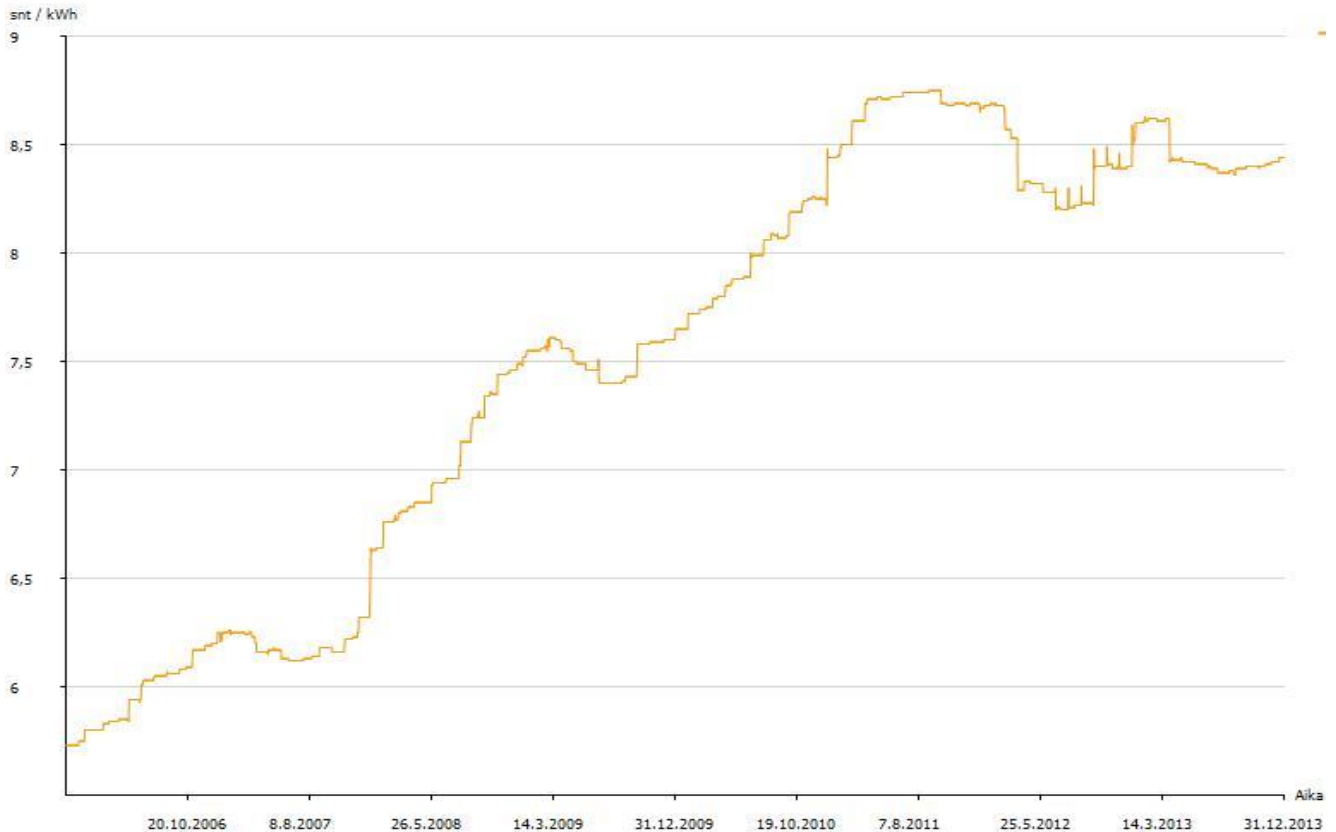
korkokanta (pitoaika 30 vuotta), jolla investoinnin kassavirtojen nykyarvojen summa on 0. Sisäinen korko tarkoittaa kuinka monen prosentin tuoton sijoitus antaa pääomalle (Vierros 2009). Sisäisen koron arvoksi saadaan $r=4,13$ %. Tämä on pieni sisäisen koron arvo ja se antaa pienen tuoton investoinnille. Tähän kun vielä lisätään inverttereiden huollon tarve (noin 10–15 vuoden välein) niin se vielä vähentää kassavirtaa. Laskuissa ei myöskään ole huomioitu paneelien ikääntymistä (tuotettu energia pienenee vuosi vuodelta), vaan säästöt on pidetty vakiona. Myös energian tuotoksi on valittu hieman optimistinen arvio, joten todellisuudessa kassavirtojen arvot voisivat olla vieläkin pienemmät. Toisaalta taas sähkön kokonaishinta nousee kokoajan ja siten säästöt kasvavat.

Yleisimmin paneelivalmistajat lupaavat paneeleille vähintään 80 % tehontuoton 25 vuoden kuluttua asennuksesta. Tämä tarkoittaa keskimäärin noin 0,9 % laskua vuosittain. Omakotitalojen sähkön kokonaishinnan (ALV 0 %) nousu on vuodesta 2006 vuoteen 2013 ollut noin 4,9 % vuosittain (Energiavirasto 2014). Arvioidaan kuitenkin sähkön kokonaishinnan nousuksi hieman pienempi arvo esimerkiksi 2 %. Vähentämällä sähkön hinnannousu ja voimalan tehontuoton lasku toisistaan, saadaan vuosittaiseksi säästöjen kasvuksi noin 1,1 %. Tällä arvolla kassavirtojen nykyarvo olisi 9 019 € (LIITE I) ja sisäinen korko 5,21 %. Sähkön kokonaishinnan nousua on toisaalta vaikea arvioida joten tämä laskelma on vain suuntaa antava.

Aurinkoenergian hinta saadaan laskettua yhtälöstä (2.2). Lasketaan annuiteettikerroin yhtälöstä (3.4.1) korkokannalla $r=5$ % ja pitoajalla 30 vuotta, minkä arvoksi saadaan $a=0,06505$. Sijoittamalla yhtälöön (2.2) arvot 1613 €/kW (aurinkoenergian hinta ilman ALV:a), $t_k=1090$ h/a ja $a=0,06505$ saadaan aurinkoenergian hinnaksi noin 9,63 snt/kWh. TEM:in investointituen avulla saadaan hinta pudotettua arvoon 6,74 snt/kWh. Tämä hinta on jo pienempi kuin arvioitu 8,2 snt/kWh. Investointituen avulla sijoitus olisi siis kannattava. Aurinkoenergian hintaa kasvattaa vielä hieman inverttereiden huollon tarve.

4 SÄHKÖN KOKONAISHINNAN KEHITYS SUOMESSA

Aurinkovoimalan hyvänä puolena on se, että sen tuottaman energian hinta pysyy vakiona, koska hinta riippuu investoinnin suuruudesta ja tuotetusta energiamäärästä. Oletetaan, että auringon säteilymäärässä ei tapahdu järkyttäviä muutoksia. Voimalan maksettua itsensä takaisin tuottaa se käytännössä ilmaista energiaa, sillä aurinkovoimalan huollon tarve ja ylläpitokustannukset ovat vähäiset. Suomessa sähkön kokonaishinta nousee koko ajan. Kuvassa 5.1.1 on esitetty omakotitalon sähköhintatiedot vuodesta 2006 lähtien (ALV 0 %).



Kuva 5.1.1 Omakotitalon sähkön kokonaishinnankehitys vuodesta 2006 (Siirtohinna + tarjoushinna) (ALV 0%)
(Energiavirasto 2014)

Kuvasta 5.1.1 voidaan huomata, että omakotitalon sähkön kokonaishinta on noussut vuodesta 2006 vuoteen 2011. Vuodesta 2011 hinta on laskenut hieman, mutta alkanut vakiintumaan vuoden 2013 kohdalla. Vuoden 2006 alussa hinta oli noin 5,75 snt/kWh ja vuoden 2013 lopussa noin 8,45 snt/kWh. Hinta on siis noussut noin 47 %. Vuosittain tämä tarkoittaa noin 4,9 %:n nousua. Tämän perusteella aurinkovoimala olisi kannattava sillä sen hinta pysyy vakiona eikä siihen vaikuta sähkön kokonaishinnan vaihtelut muualla. Toisaalta taas jos sähkön kokonaishinta lähtee hurjaan laskuun voi voimalasta tulla kannattamaton, mutta tämä skenaario on epätodennäköinen, sillä polttoaineista alkaa jo olla pulaa ja sähkön kokonaishinta nousee tämän mukana. Myös inflaatio vaikuttaa sähköhinnan nousuun..

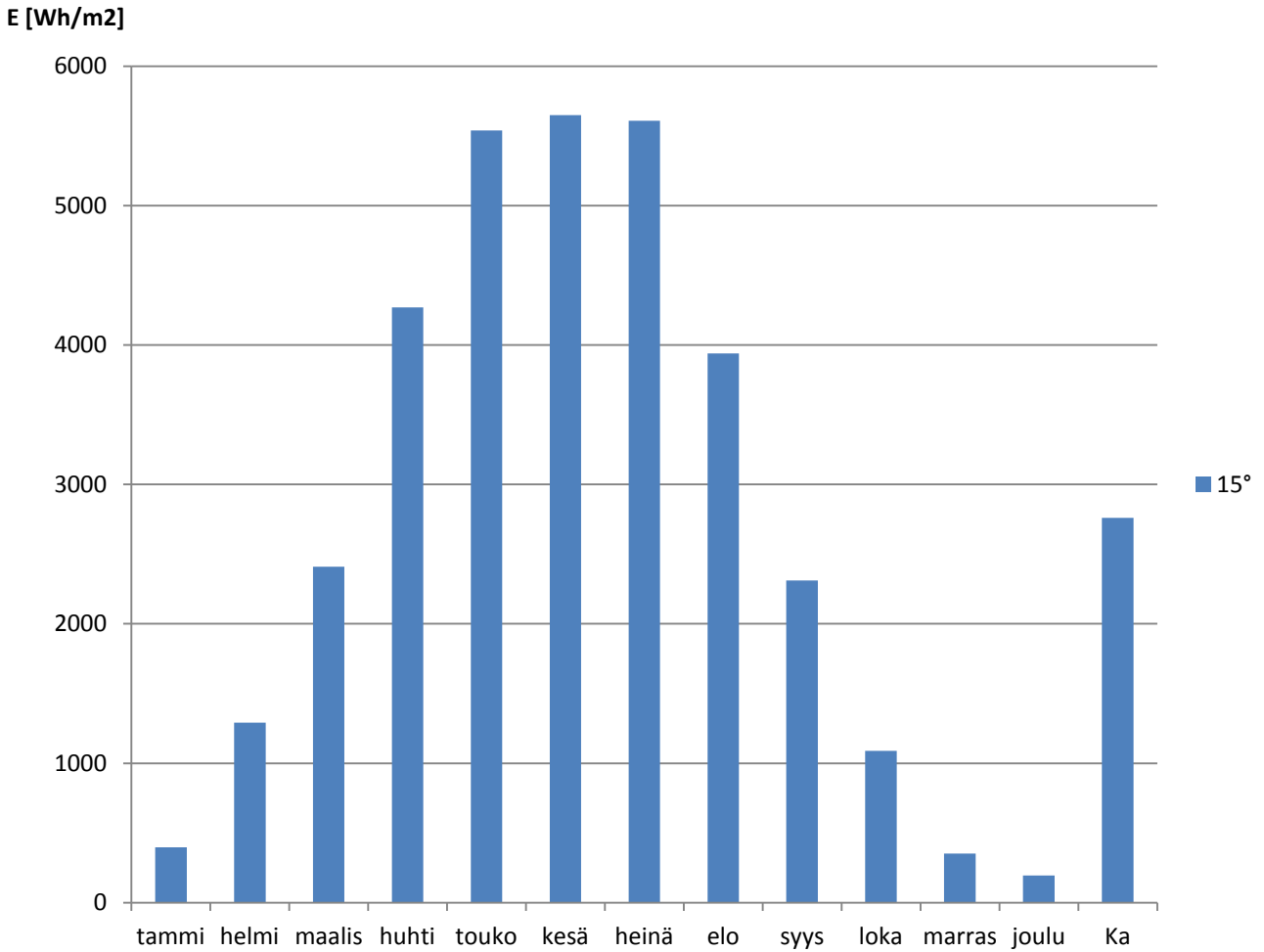
5 AURINKOVOIMALAN TARKKA KANNATTAVUUSARVIOINTI TARJOUKSIIN PERUSTUEN

Aurinkovoimalan hintatiedot on saatu yrityksiltä, jotka toimittavat ja asentavat aurinkovoimaloita Suomessa. Yrityksille lähetettiin tarjouspyyntöjä, joissa tiedusteltiin 300 kW:n aurinkovoimalan hintaa. Hinta voimalalle pyydettiin sekä valmiiksi asennettuna, että pelkkinä komponentteina. Tässä kappaleessa tarkastellaan valmiiksi asennettujen voimaloiden hintoja. Valmiiksi asennettujen voimaloiden kannattavuutta on helpompi arvioida, sillä pelkkien komponenttien hintaan ei kuulu asennusta. Asennuksen hintaa on vaikea arvioida, sillä siihen pitäisi laskea mm. asentajien palkat, mahdollisten nostimien vuokrat tms. Paneelien toivottiin olevan noin 240 W:n suuruisia. Inverttereiden suuruudeksi asetettiin noin 20 kW. Tarjous saatiin 6 yritykseltä. Taulukossa 6.1.1 on esitetty kaikki saadut 5 tarjousta.

Taulukko 6.1.1 Saadut tarjoukset 300kW: n aurinkovoimalasta

	Hinta (ALV 0 %) [€]	Hinta TEM:in tuen kanssa [€]
Yritys 1	356 697	249 688
Yritys 2	388 430	271 901
Yritys 3	377 000	263 900
Yritys 4	383 000	268 100
Yritys 5	386 110	270 277
Yritys 6	389 880	272 916

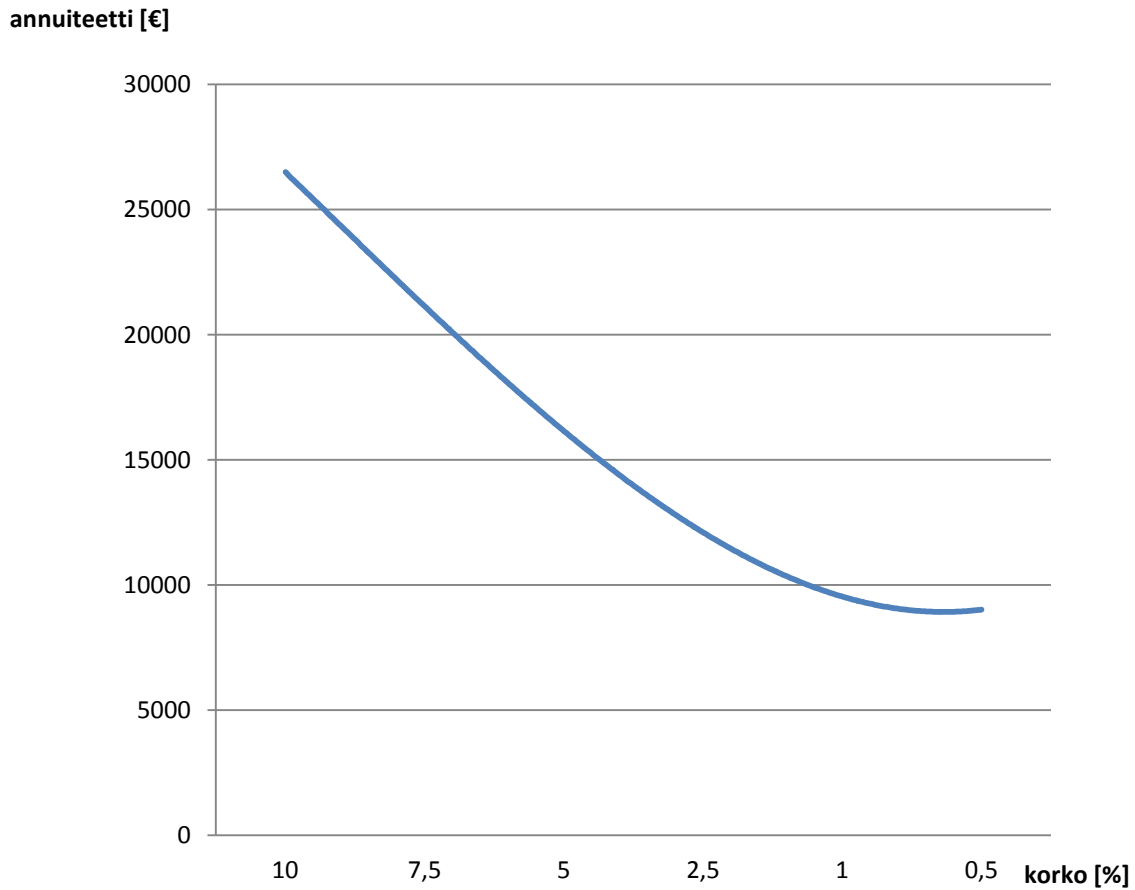
Taulukosta 6.1.1. nähdään, että halvin saatu tarjous on suuruudeltaan 356 697 €. Tämä tarjous ulottuu vain aurinkovoimalan ja talon sähköverkon väliin tuleviin AC-kytkimiin asti. Talon sähköverkon suojaus jää siis itse hoidettavaksi. Tämä voi nostaa hintaa hieman, mutta ei niin merkittävästi että se ohittaisi muut tarjoukset. Puhutaan noin parista tuhannesta eurosta. TEM:in 30 % investointituella yrityksen investoinnin osuudeksi jää 249 688 €. Voimalan hinta investointituen avulla on siis 832,3 €/kW (ALV 0 %). Paneelit ovat malliltaan Naps Saana, ja teholtaan 255 W. Tarjouksessa on esitetty niiden määräksi 1 180 kpl. Paneelien minimihyötysuhde on 15,9 % ja maksimi 16,2 %. oletetaan tämän nojalla paneelien hyötysuhteen olevan noin 16 %. Invertterit ovat teholtaan 15 kW ja niitä tarvitaan 18 kpl. Inverttereiden maksimihyötysuhde on 98 % ja Eurooppalainen hyötysuhde (European efficiency) 97,5 %. Eurooppalainen hyötysuhde tarkoittaa tässä tapauksessa Euroopan ilmastossa toimivan invertterin keskimääräistä hyötysuhdetta. Nyt paneelien ja inverttereiden yhteinen hyötysuhde $\eta=15,6$ %. Tämän järjestelmän paneelien tehontuoton ei yrityksen mukaan pitäisi laskea kovinkaan paljon. Yrityksen yhteyshenkilön mukaan 30 vuotta sitten asennetuilla paneeleilla on yhä sama teho kuin asennushetkellä. Tässä järjestelmässä paneelit asennetaan 15° kulmaan. Kuvassa 6.1.1 on esitetty Savonlinnan päivittäiset säteilykeskiarvot 15° kulmassa.



Kuva 6.1.1 Savonlinnan päivittäiset säteilykeskiarvot 15° kulmassa (JRC 2013)

Kuvasta 6.1.1 nähdään, että vuorokauden keskimääräinen säteilyenergia 15° kulmassa on 2,76 kWh/m². Yhtälöstä (2.3) saadaan vuosittaiseksi säteilyenergiaksi 1007,4 kWh/m². Kappaleen 3.3 mukaan järjestelmän hyötysuhde $\eta_s=73\%$. Nyt saadaan yhtälöstä (2.1) voimalan tuottama energia vuodessa, jonka arvoksi saadaan $E_{PV}=220,6$ MWh. Tällä energiamäärällä saadaan säästettyä vuodessa 18 089 € (sähkönhinta: 8,2 snt/kWh). Takaisinmaksuaika olisi noin 14 vuotta. Aurinkoenergian hinta saadaan yhtälöstä (2.2) (voimalan hinta 832,3 €/kW, $a=0.06505$ ja $t_k=1007,4$ h/a) ja sen arvoksi saadaan 5,37 snt/kWh (ALV 0 %). Aurinkoenergia on siis huomattavasti halvempaa kuin ostettu energia. Tämän nojalla investointia voidaan pitää kannattavana, sillä sähkön kokonaishinnan lasku on erittäin epätodennäköistä.

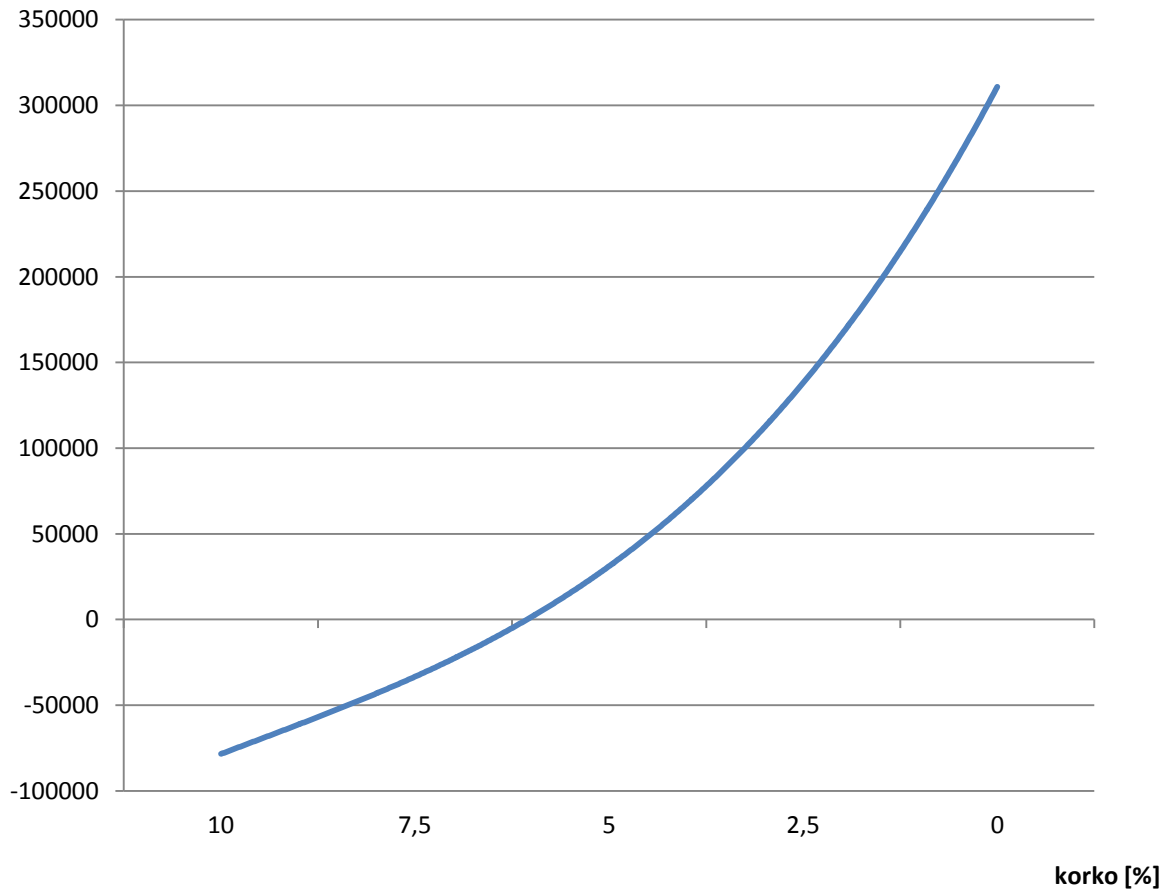
Tarkastellaan investointia eri korkokannoilla annuiteetti- ja diskonttausmenetelmällä. Annuiteetti saadaan laskettua yhtälöstä (3.4.1 ja 3.4.2). Valitaan pitoajaksi 30 vuotta ja investoinnin suuruudeksi 249 688 €. Kuvassa 6.1 on esitetty annuiteettien suuruus eri korkokannoilla.



Kuva 6.1.2 Investoinnin annuiteetit eri korkokannoilla

Kuvasta 6.2 nähdään, että investointi ei ole kannattava suurilla korkokannoilla. Pienemmillä korkokannoilla annuiteetti on pienempi kuin vuosittaiset säästöt (18 089 €), joten investointia voidaan sen nojalla pitää kannattavana. Excelin goal seekillä se korkokanta, jolla annuiteetti on yhtä suuri kuin vuotuiset säästöt, on 5,97 %. Eli tällä korkokannalla tai pienemmällä sijoitus on kannattava. Diskonttausmenelmällä lasketut kassavirtojen arvot eri korkokannoilla ja 30 vuoden pitoajalla on esitetty kuvassa 6.1.3.

**kassavirran nykyarvo
[€]**



Kuva 6.1.3 Kassavirtojen nykyarvot eri korkokannoilla

Kuvasta 6.1.3 nähdään, että pienillä korkokannoilla (alle $\approx 6,25$ %) sijoituksen kassavirran nykyarvo on positiivinen, eli sijoitus on kannattava. Sijoituksen sisäinen korko on 6,08 %. Sijoitus voi siis tuottaa investoinnille maksimissaan tämän suuruisen tuoton. Tällä korolla energian hinnaksi saadaan 6,05 snt/kWh. Tämän nojalla sijoitusta voidaan pitää kannattavana.

Tarjouksessa on myös esitetty yrityksen laskema arvio voimalan vuosittaisesta energiantuotosta. Tuotto on laskettu NSDP -tuottosimulaatio-ohjelmalla ja sen suuruudeksi on ilmoitettu 255 MWh. Tämä arvo on selvästi suurempi kuin internetistä saatujen arvojen avulla laskettu tuotto (n. 220,6 MWh). Tällä energiamäärällä saadaan säästettyä vuodessa noin 20 910 €. Nyt takaisinmaksuaika on enää 12 vuotta. Kassavirran arvo 30 vuoden ajalle ilman diskonttausta nykyhetkeen on 398 522 €. Tällä energiantuotolla investoinnin sisäinen korko on jo 7,48 %. Laskentaohjelman tuottoarvion perustella sijoitus näyttäisi kaikkein kannattavimmalta, sillä se tuottaa investoinnille suurimman tuoton.

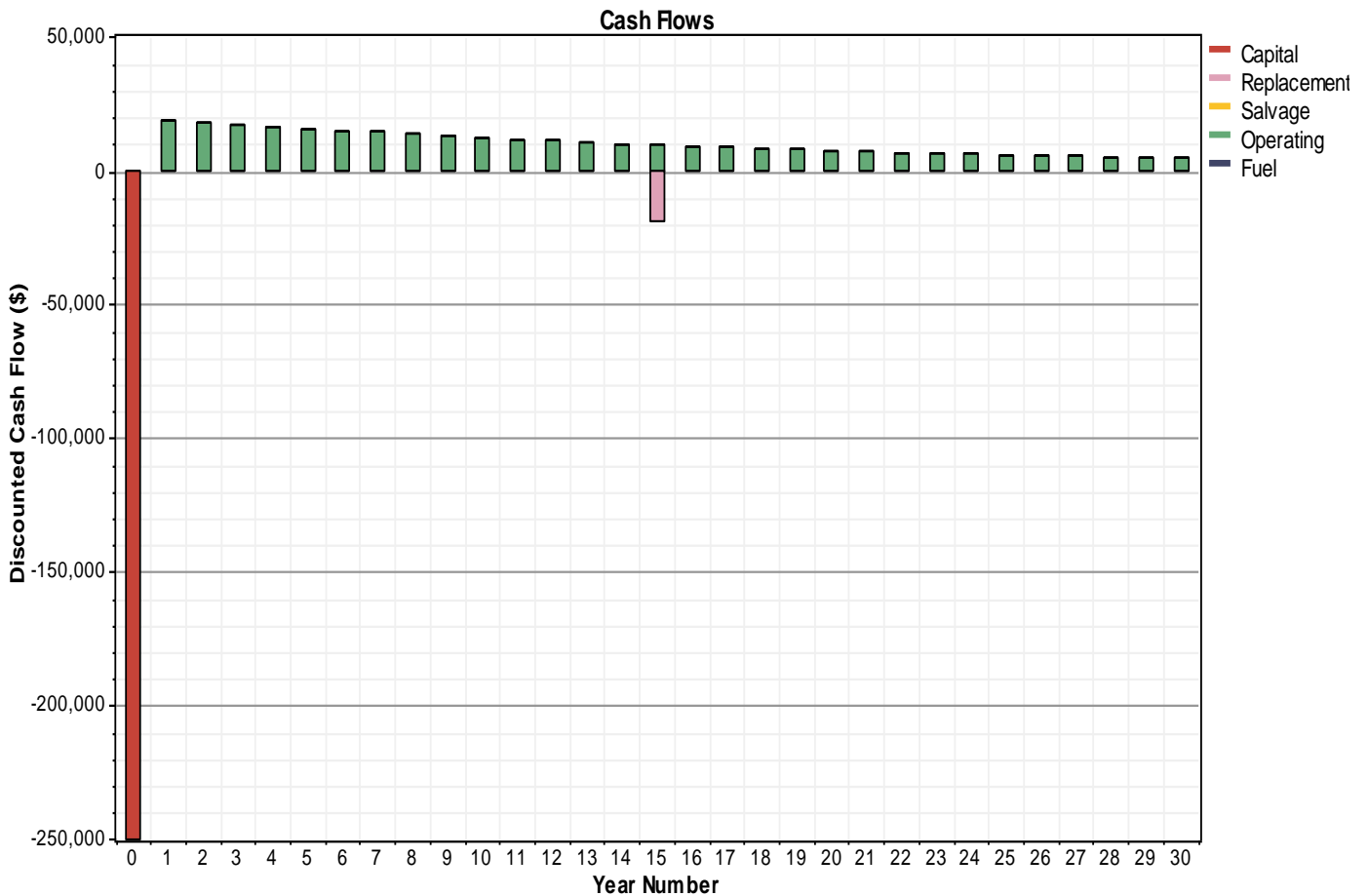
6 VOIMALAN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI HOMER -OHJELMISTOLLA

Homer Energyn Homer-ohjelmisto on tarkoitettu uusiutuvien energialähteiden energiantuotannon simulointiin. Lasketaan ohjelmalla tarjoukseen 1 perustuvan voimalan kassavirrat. Komponenttien arvot on saatu yrityksen lähettämästä tarjouksesta. Ohjelmaan syötettiin arvot: hinta=249 688 €, laitoksen teho=300 kW, korko=5 %, elinikä=30 vuotta, hyötysuhde=73 %, asennuskulma=15°, inverttereiden hyötysuhde=97,5 % ja sähkön hinta=0,082 €/kWh. Säteilyenergian määränä käytettiin vaakatasoon kohdistuvaa säteilyä, joka saatiin samasta lähteestä jota Homer-ohjelmakin käyttää (ASDC 2013). Taulukossa 4.1 on esitetty säteilyenergian arvot vaakatasoon nähden.

Taulukko 4.1 Savonlinnan säteilyenergianmäärä vaakatasoon nähden (ASDC 2013)

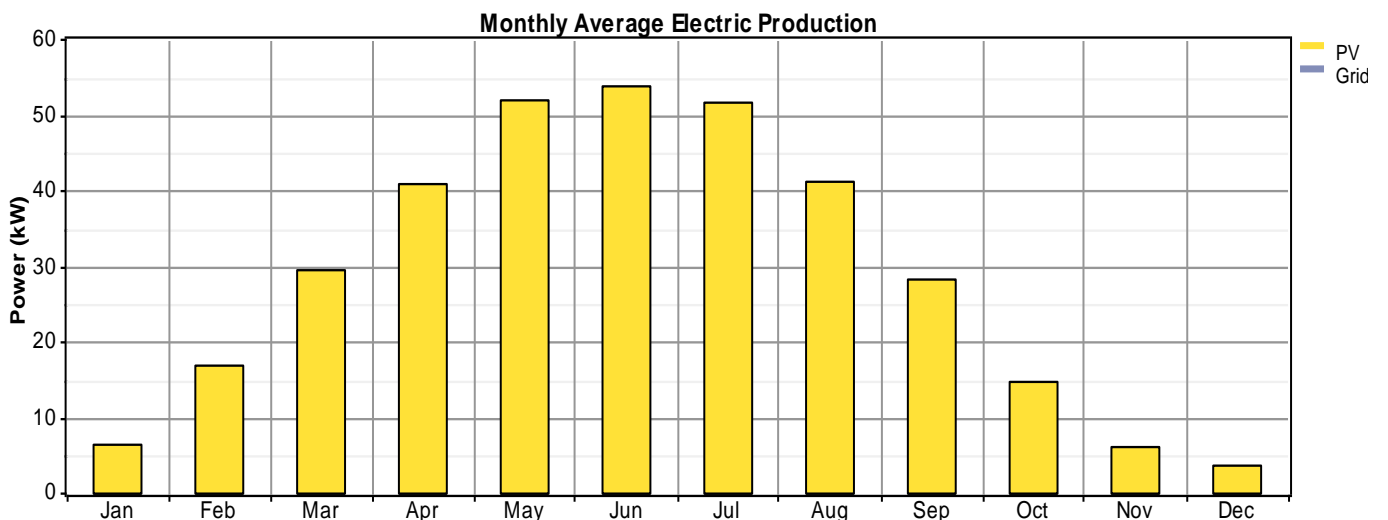
Kuukausi	Vuosien 1983- 2005 keskiarvo $[\frac{Wh}{m^2} / vrk]$
Tammikuu	280
Helmikuu	1020
Maaliskuu	2340
Huhtikuu	3900
Toukokuu	5360
Kesäkuu	5740
Heinäkuu	5450
Elokuu	4110
Syyskuu	2500
Lokakuu	1140
Marraskuu	440
Joulukuu	150
Ka koko vuosi	2703

Sijoitetaan taulukon 4.1 arvot Homeriin kohtaan solar resources. Kohtaan constraints asetetaan maximum capacity shortageksi 100 %. Nyt lasketaan Homerilla arvot. Tulokset on esitetty kuvassa 4.1. Yhdessä tarjouksessa oli myös eritelty inverttereiden hinta, joka on noin 40 000 €. Asetetaan invertterit vaihdettavaksi 15 vuoden jälkeen.



Kuva 4.1 Voimalan kassavirrat 30 vuoden ajalle

Kuvasta 4.1 voidaan nähdä diskontattu voimalan tuottama vuosittainen kassavirta 30 vuodelle. Vihreät palkit kuvaavat saatavia säästöjä. Kassavirtojen nykyarvojen summa on 41 772 € ja aurinkoenergian hinta 6,43 snt/kWh, joka on halvempaa kuin ostettu energia. Vuosittain tuotettu energia on 246,5 MWh. Näillä arvoilla sijoitus näyttäisi olevan kannattava. Homerilla saa myös laskettua kuukausittaiset energiantuotot. Kuvassa 4.2 on esitetty voimalan teho kuukausittaisina keskiarvoina



Kuva 4.2 Aurinkovoimalan teho kuukausittaisina keskiarvoina

Kuvasta 4.2 voidaan todeta aurinkovoimalan tuottavan suurimman osan energiastaan aikavälillä maaliskuu-syyskuu. Kuvasta voidaan myös nähdä voimalan huipputehon olevan kesällä noin 50 kW. Ohjelmasta voimalan keskimääräinen teho on 29 kW ja keskimääräinen tuotettu energia 693 kWh/vrk.

7 YHTEENVETO

Käytännössä aurinkovoimaan sijoittamalla ostetaan energiaa tietyksi ajanjaksoksi sillä hinnalla mikä määräytyy voimalan ostohetkellä. Aurinkovoimalaan sijoittaminen on siis kannattavaa jos sen avulla tuotetun energian hinta on pienempi kuin ostetun energian hinta. Energian kokonaishinnan lasku on epätodennäköistä, sillä maailmassa suurin osa tuotetun energian lähteistä on uusiutumatonta. Resurssit siis vähenevät ja näin raaka-aineiden hinta ja sitä kautta myös energian hinta voi nousta. Kannattava voimala myös antaa sijoitukselle jonkin asteisen tuoton. Aurinkovoimalan maksettua itsensä takaisin tuottaa se sen jälkeen ilmaista energiaa.

Voimalan hinnan arvioitiin aluksi olevan noin 2 €/W_p (sis. ALV) asennettuna. Tällä arviolla voimala maksaisi noin 600 000€. Yritysten ei kuitenkaan tarvitse ottaa arvonlisäveroa huomioon. Työ- ja elinkeinoministeriö antaa tuuli- ja aurinkoenergia voimaloille 30 %:in investointituen. Voimalan hinta, poistettuna ALV ja investointituen osuus, on 338 800 € ($1,13 \text{ €/W}_p$). Savonlinnan säteilymäärällä ja simuloidulla hyötysuhteella voimala korvaisi ostoenergiaa noin 19 573 € edestä. Näillä arvoilla voimala olisi kannattava pienellä korkokannalla ja se antaisi sijoitukselle 4,1 %:in tuoton. Voimalan hinta oli kuitenkin arvioitu hieman yläkanttiin ja tarjouksista huomattiin, että todellisuudessa voimaloiden hinnat olivat huomattavasti pienempiä.

Eri yrityksiltä saatujen tarjousten perusteella näyttäisi siltä, että vuonna 2014 aurinkoenergian hinta on tippunut noin $1,3 \text{ €/W}_p$:iin (ALV 0 %). Saadut tarjoukset olivat kutakuinkin yhtä suuria lukuun ottamatta yhtä joka oli yli 20 000€ halvempi kuin muut. Tarjous oli 356 697 €. Tarjoukseen tulee vielä lisähintaa, koska siihen ei sisälly SWO:n sähköverkon suojausta. Oletettavasti hinta jää kuitenkin alle muiden tarjousten. Voimalan takaisinmaksuaika oli 14 vuotta. Tämän tarjouksen voimalan hinta investointituen avulla on vain $0,8 \text{ snt/W}_p$ (ALV 0 %). Halvimmalla tarjouksella investoinnin sisäinen korko säteilyarvoista laskettuna on 6,1 %. Tarjouksessa oli myös mainittu voimalan potentiaalinen energiantuotto. Tällä energiantuotolla sisäinen korko on jo 7,5 %. Halvimman voimalan tuottaman energian hinta korolla 5 % on $5,4 \text{ snt/kWh}$ (ALV 0 %) ja sen sisäisellä korolla 6,1 % hinta on noin $6,1 \text{ snt/kWh}$ (ALV 0 %). Tällä energian hinnalla aurinkovoimalaan sijoittaminen on jo kannattavaa verrattuna arvioituun sähkön kokonaishintaan. Homer tuotantosimulaatio ohjelmalla saatiin energian hinnaksi $6,4 \text{ snt/kWh}$ (ALV 0 %), joka on myös halvempi kuin nykyinen sähkösopimus. Huomion arvoinen asia on myös Yrityksen 6 esittämä tarjous, jossa he omistaisivat SWO:n katolle asennettavat paneelit ja myisivät sähköä SWO:lle halvemmalla kuin ostettu sähköenergia.

LÄHTEET

- (ASDC 2013) Atmospheric Science Data Center, Surface meteorology and solar radiation, Data tables for a particular location, 2013. [Viitattu 16.12.2013]. Internet
<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov+s01#s01>
mailto:https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=202152&lat=61.869&hgt=100&submit=Submit&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=swvdowncook&p=swv_dwn&p=ret_psh0&step=2&lon=21.911
- (BP 2013) BP, Statistical review of world energy 2013. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.12.2013]. Saatavissa
[http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Statistical-Review/statistical review of world energy 2013 workbook.xlsx](http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Statistical-Review/statistical%20review%20of%20world%20energy%202013%20workbook.xlsx)
- (Civicsolar 2014) Civicsolar, Products, Solar Panels, 2014 [Viitattu 13.4.2014] Internet
<http://www.civicsolar.com/>
- (Energiavirasto 2014) Energiavirasto, Sähkön hintavertailu, 2014. [Viitattu 15.4.2014] Internet
<http://www.sahkonhint.fi/summariesandgraphs>
- (EPIA 2013) European Photovoltaic Industry Association, Global Market Outlook For Photovoltaics 2013-2017. s.5. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.2.2014]. Saatavissa
http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf
- (Gevorkian 2011) Gevorkian Peter, Large-Scale Solar Power System Design, New York, 2011. s.156. [Viitattu 20.12.2013]
- (IEA 2011) International Energy Agency, Solar energy perspectives, 2011, s.48. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.2.2013]. Saatavissa:
http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf

- (JRC 2013) Joint Research Centre, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), [Viitattu 16.12.2013] Internet: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- (Uusiutuva energia 2013) Opetusmoniste Uusiutuva energia Luku 6: Aurinkopaneelit, polttokennot, vetytalous. LUT, 2013, s.154-159.[Viitattu 20.11.2013]
- (Vierros 2009) Vierros Tuomo, Opetusmoniste Tuotantotalouden peruskurssi, Investointilaskelmat, Aalto University, 2009. [Viitattu 18.3.2014]. Internet <https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>
- (VTT Prosessit 2004) VTT Prosessit, Energia Suomessa, Helsinki 2004, s. 269. [Viitattu 20.11.2013]

LIITE I

t	diskont	kassavirta	nykyarvo
0	1	-338 800	-338 800
1	0,952	19639	18696
2	0,907	19855	18008
3	0,864	20073	17343
4	0,823	20294	16702
5	0,784	20517	16085
6	0,746	20743	15474
7	0,711	20971	14910
8	0,677	21202	14354
9	0,645	21435	13826
10	0,614	21671	13306
11	0,585	21909	12817
12	0,557	22150	12338
13	0,53	22394	11869
14	0,505	22640	11433
15	0,481	22889	11010
16	0,458	23141	10599
17	0,436	23396	10201
18	0,416	23653	9840
19	0,396	23913	9470
20	0,377	24176	9114
21	0,359	24442	8775
22	0,342	24711	8451
23	0,326	24983	8144
24	0,31	25258	7830
25	0,295	25536	7533
26	0,281	25817	7255
27	0,268	26101	6995
28	0,255	26388	6729
29	0,243	26678	6483
30	0,231	26971	6230
31	0,22	27268	5999
Yht.		382 014	9 019