Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

AURINKOSÄHKÖN MIKROTUOTANTO SUOMESSA

PHOTOVOLTAIC MICROPRODUCTION IN FINLAND

Työn tarkastaja: Aija Kivistö

Työn ohjaaja: Aija Kivistö

Lappeenranta 06.05.2015

Juho Ylönen

TIIVISTELMÄ

Juho Ylönen

Aurinkosähkön mikrotuotanto Suomessa

Photovoltaic microproduction in Finland

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2015

36 sivua, 25 kuvaa, 3 taulukkoa ja 8 liitettä

Hakusanat: Aurinkosähkö, mikrotuotanto

Tässä kandidaatintyössä käydään läpi aurinkosähkön kehitystä ja kannattavuutta Suomessa. Aurinkosähkön kehityksen osalta keskitytään aurinkopaneelien tekniikan ja aurinkosähkön tuotannon kehittymistä viime vuosina. Pienten aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat laskeneet viime vuosina siten, että sähkön kuluttajien oman paikallisen tuotannon kannattavuus on noussut merkittävästi.

Työssä käsitellään aluksi aurinkosähköä yleisellä tasolla, jonka jälkeen pääpaino siirtyy aurinkosähkön mikrotuotantoon Suomessa. Kannattavuutta tutkitaan työssä esisuunniteltavan laitoksen avulla. Esisuunnittelussa tutkitaan kohdekiinteistön pohjakuormaa erityisesti tuotantohuippujen aikana. Tällä varmistetaan, että esisuunniteltavan järjestelmän sähköntuotanto pystytään kuluttamaan itse. Näin saavutetaan suurin hyöty. Aurinkosähköjärjestelmällä tuotetusta sähköstä saadaan tällä hetkellä noin 2,5 kertaa suurempi hyöty, kun sähkö käytetään itse verrattuna siihen, että sähkö myytäisin energiayhtiöille.

Aurinkosähköjärjestelmä kytketään kuitenkin valtakunnan verkkoon, jotta mahdollinen satunnaisesti syntyvä ylijäämätuotanto voidaan myydä sähköyhtiölle. Järjestelmän suunnittelun jälkeen käydään läpi järjestelmän hankinta ja asentaminen. Tämän jälkeen tutkitaan järjestelmän kannattavuutta määrittämällä kustannukset ja tuotannosta saatavat säästöt. Järjestelmälle lasketaan takaisinmaksuaika ja pohditaan riskejä. Yhteenvedossa käydään läpi aurinkosähkön mikrotuotannon mahdollisuuksia ja kannattavuutta Suomessa.

SISÄLLYSLUETTELO

Symboli- ja lyhenneluettelo **4**

1 Johdanto **6**

2 Aurinkoenergian hyödyntäminen **8**
2.1 Hyödyntämistavat ... 8
2.2 Aurinkosähkö Euroopassa ja maailmalla ... 8
2.3 Aurinkosähkö Suomessa ... 12

3 Aurinkopaneelitekniikka **14**
3.1 Aurinkopaneelin toiminta ... 14
3.2 Aurinkokennojen sukupolvet ... 16
3.3 Tekniikan ja hyötysuhteiden kehitys ... 18

4 Mikrotuotantolaitos **20**
4.1 Toteutus ... 20
4.2 Paneelien ja muun laitteiston valinta ... 23
4.3 Käyttökohde ja aurinko-olosuhteet ... 25
4.4 Lainsäädäntö koskien asennusta ja sähkötöitä ... 27

5 aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus **29**
5.1 Investointi- ,asennus- ja käyttökustannukset ... 29
5.1 Tukirahoitus voimalalle ... 29
5.2 Aurinkosähköllä saatavat säästöt ... 30
5.3 Takaisinmaksuaika ... 31

6 yhteenveto **35**

Lähdeluettelo **36**

LIITTEET **40**

Liite 1. Vaihtoehto 2. Laskennallinen tuotanto **40**

Liite 2. Vaihtoehdon 2 tuotannon kuvaaja **41**

Liite 3. Taajuusmuuttajan tekniset tiedot **42**

Liite 4. Vaihtoehdon 1 kumulatiivinen kassavirta **43**

Liite 5. Vaihtoehdon 2 kumulatiivinen kassavirta **44**

Liite 6. Vaihtoehdon 1 3 % korollinen kassavirta **45**

Liite 7. Mikrotuotannon liittäminen osa 1 **46**

Liite 8. Mikrotuotannon liittäminen osa 2 **47**

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset aakkoset

H	Investoinnin hinta	[€]
S	Nettotuotto vuodessa	[€]
n	Takaisinmaksuaika	[a]
t	aika	[a]

Dimensiottomat luvut

i	korko

Alaindeksit

d	diskontattu vuositasolle
a	vuotuinen

Lyhenteet

EPIA	European Photovoltaic Industry Association. Euroopan aurinkosähkö yhdistys
IRENA	International Renewable Energy Agency. Kansainvälinen uusiutuvan energian yhdistys
SMA	Saksalainen aurinkosähkömarkkinoilla toimiva yritys
VTT	Valtion Teknologian Tutkimuskeskus
a-Si	Amorfinen pii

m-Si	Yksikiteinen pii
CdTe	Kadmium-telluridi
CIGS	kupari-indium-gallium-diselenidi

1 JOHDANTO

Sähkö on nyky-yhteiskunnalle välttämätön energiamuoto. Sähkön kulutus kasvaa koko ajan ja sähkön hintakin seuraa tätä kehitystä. Uusiutuvat energiantuotantomuodot ovat myös nostaneet suosiotaan maailmalla ja Suomessa. Näistä energiantuotantomuodoista erityisesti aurinkosähkön pienimuotoinen tuotanto on mahdollista toteuttaa paikallisesti ja hyvin lähellä loppukäyttäjää. Sähkön hinnannousu ja vastaavasti aurinkopaneelien hintojen lasku ovat edes auttaneet aurinkoenergian tuotannon kasvua. Tämä kehitys on saanut myös kuluttajat kiinnostumaan omasta mikrotuotannosta. Toteuttamisen mahdollisuus ja alan nousussa oleva kannattavuus innostavat kuluttajia.

Kandidaatin työn tavoitteena on selvittää onko aurinkosähkön mikrotuotanto kannattavaa Suomessa. Mikrotuotannolla tarkoitetaan Energiateollisuus Oy:n mukaan teholtaan alle 11 kilowatin tuotantolaitosta. Työn alkuvaiheissa keskitytään aurinkopaneelitekniikan ja kustannuksien kehitykseen viime vuosisadalta aina tähän päivään saakka. Lisäksi pohditaan tilannetta tulevaisuudessa.

Mikrotuotannon mahdollisuuksia Suomessa kuvataan esimerkin avulla. Esimerkkinä toimii kuvitteellinen omakotitalon katolle suunniteltu pienen kokoluokan aurinkosähkövoimala, joka sijaitsee Etelä-Savossa. Kyseiselle voimalaitokselle on mahdollista saada tukirahoitusta, joten tämä otetaan myös huomioon. Kyseisen tuotantolaitoksen ideana on tuottaa kaikki sähkö oman peruskuorman käyttöön, mutta myös sähkön myynnin mahdollisuutta käsitellään. Sähköä ei varastoida akustoihin, joten mahdollinen ylijäämä sähkö on tarkoitus myydä. Kuvitteellisen voimalan suunnitteluprosessissa ilmenee tarkoin mitä vaiheita voimalan toteutus sisältää. Tuotantolaskelmat suoritetaan globaalisti auringonsäteilytietoja omaavalla laskentaohjelmalla. Tuotantoennusteita pyritään arvioimaan kriittisesti ja vertaamaan vastaaviin olemassa oleviin aurinkosähköjärjestelmiin.

Aurinkovoimalan toteutusprosessiin liittyvät työvaiheet ja niistä aiheutuvat kustannukset määritetään kahdella tapaa. Ensimmäisessä tapauksessa aurinkosähköjärjestelmän hankinta suoritetaan avaimet käteen – periaatteella eli voimalan toteuttaminen on kokonaan ulkopuolisen yrityksen hoidettavana. Jälkimmäisessä tavassa tutkitaan mahdollisimman pitkälle vietyä oma-aloitteista toteutusta, jossa vain pakolliset

ammattilaisen suorittamat sähköasennukset ja tarkastukset jätetään ulkopuolisille. Molemmista tapauksista tehdään erillinen kustannusarvio. Kannattavuuslaskelmissa arvioidun laitoksen käyttöiän perusteella määritetään investoinnin tuotto ja määritetään takaisinmaksuaika tuotantolaskelmien, sekä kulujen perusteella. Yhteenvedossa pohditaan aurinkosähkön kannattavuutta Suomessa saatujen tuloksien perusteella, sekä arvioidaan aurinkosähkövoimalahanketta alusta loppuun.

2 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN

Tässä luvussa käsitellään aurinkosähkön hyödyntämisen mahdollisuuksia, sekä tuotannon kehitystä Suomessa ja muualla Euroopassa. Havainnollistamiseen käytetään kuvaajia, jotka helpottavat ymmärtämään aurinkosähkön kehityksen viime vuosina.

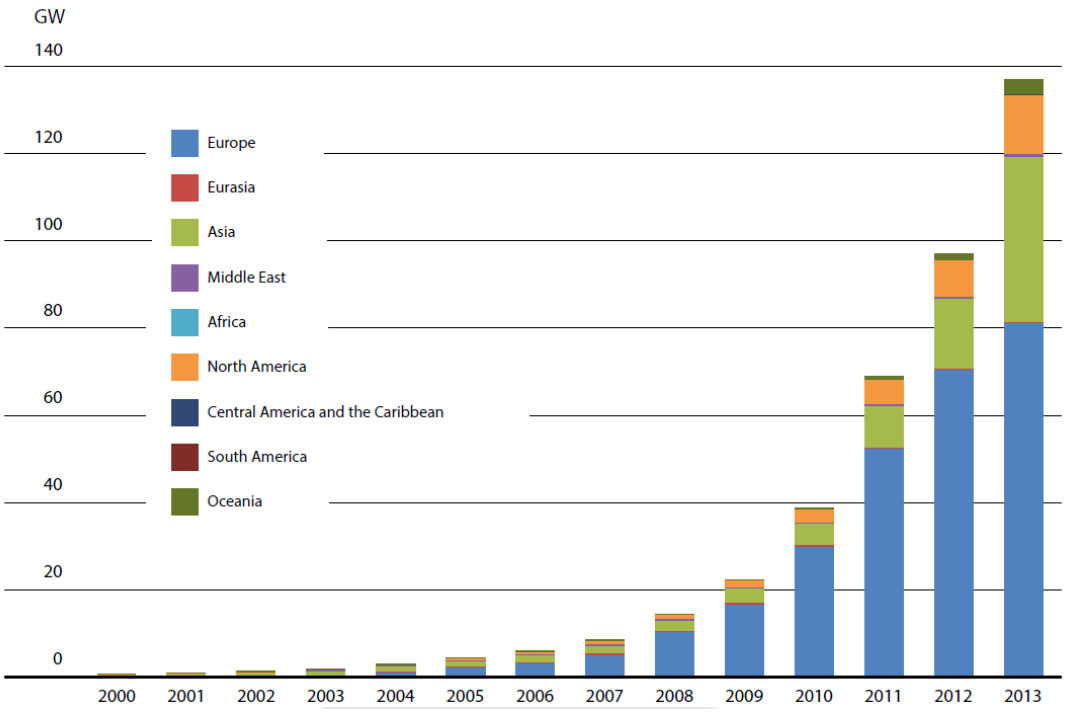
2.1 Hyödyntämistavat

Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan auringon lähettämän säteilyn hyödyntämistä ilman erillistä lisätekniikkaa. Talojen rakenteiden suunnittelussa esimerkiksi ikkunat voidaan suunnata niin, että auringon valo lämmittää mahdollisimman paljon sisätiloja. Aurinkoenergian aktiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan auringon säteilyenergian muuntamista aurinkopaneeleilla sähköksi tai aurinkokeräimillä lämmöksi (Motiva 2014a). Tässä kandidaatin työssä keskitytään aurinkoenergian aktiiviseen hyödyntämiseen aurinkopaneeleilla eli aurinkosähköön.

2.2 Aurinkosähkö Euroopassa ja maailmalla

Euroopan rooli aurinkosähkömarkkinoilla on muuttunut viime vuosina. Vielä vuonna 2011 Eurooppaan osuus uudesta asennetusta kapasiteetista oli 74 % kaikista maapallon aurinkopaneeleista. Seuraavana vuonna osuus laski 55 %:iin, jonka jälkeen 2013 osuus oli enää 29 % ja aurinkosähkön markkinajohtajan rooli siirtyi Aasian suuntaan. Erityisesti Japanissa ja Kiinassa toteutettiin suuri kasvu aurinkosähkön osalta vuonna 2013. Kiina on tällä hetkellä markkinajohtaja ja Japani heti toisena (EPIA 2014, 8-9).

Maapallolle asennettiin vuonna 2013 reilun 38 GW edestä aurinkosähköjärjestelmiä. Euroopan osuus oli lähes 11 GW ja Aasian maista pelkästään Kiinalla 11,8 GW. Saksalla oli kyseisenä vuonna hallussaan Euroopan ylivoimaisen kärkimaan asema 3,3 GW osuudella (EPIA 2014, 9). Kuvassa 1 on esitetty asennetun aurinkosähkökapasiteetin kehittymistä maailmalla.

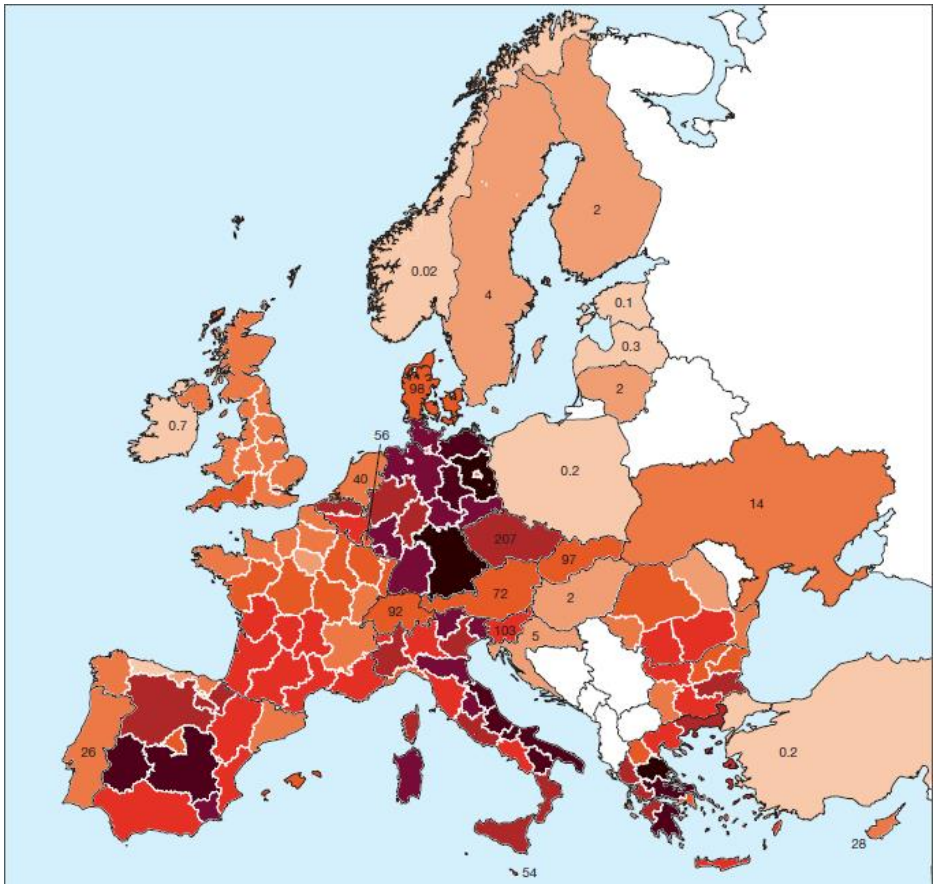


Kuva 1. Installoidunkapasiteetin kasvu maailmassa (Irena 2015).

Kuvasta 1 huomataan, että vaikka Eurooppa ei ole enää markkinajohtaja uuden installoidun kapasiteetin perusteella, on se silti johtava jo olemassa olevia kapasiteetteja tarkasteltaessa. Euroopassa oli 80 GW asennettua aurinkosähkökapasiteettia vuonna 2013, josta noin 38 GW oli pelkästään Saksassa (SMA 2015).

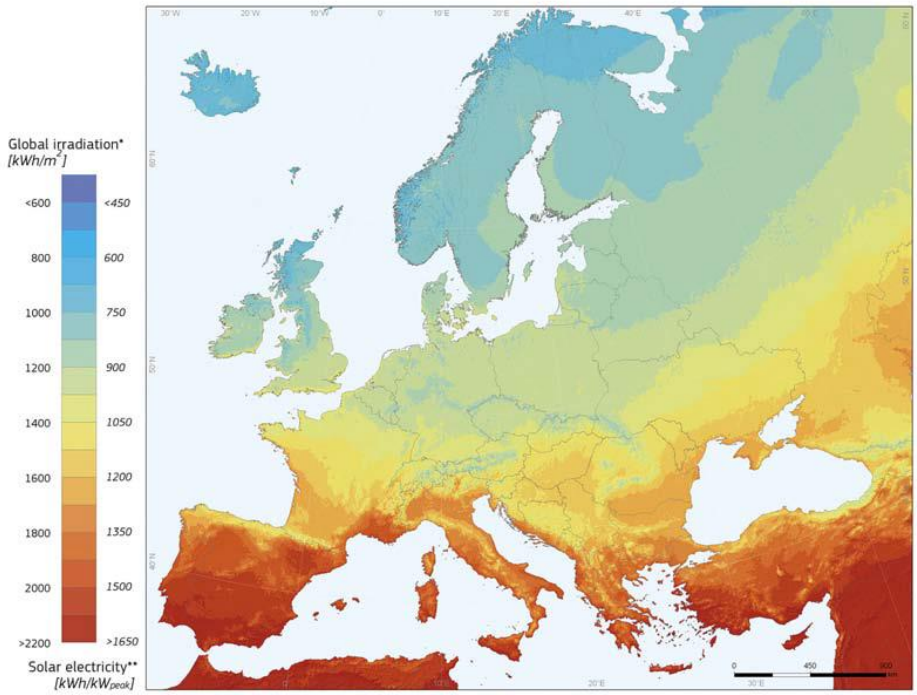
Auringon säteilyteho vaihtelee maapallolla leveysasteiden mukaan. Päiväntasaajan korkeudella auringon säteilyteho on suurimmillaan ja noin kaksi kertaa enemmän verrattuna Suomen leveysasteille. Siellä missä aurinkosähkön potentiaali on suurinta tulisi aurinkopaneeleita hyödyntääkin tehokkaasti, koska saatava taloudellinen hyöty olisi suurinta. Kuitenkin johtuen taloudellisista ja poliittisista tilanteista esimerkiksi Afrikassa ei ole merkittävää aurinkosähkötuotantoa.

Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty asennettu aurinkosähköteho asukasta kohti eri Euroopan osissa. Suomen osuus on Euroopan alhaisimpia. Kuva on neljä vuotta vanha, joten nykytilanne on erilainen.



Kuva 2. Aurinkosähkön installoitukapasiteetti Euroopassa henkilöä kohti (Epia 2014, 23).

Kuvan 2 lukuarvojen lisäksi värien voimakkuus kuvaa aurinkosähkötehoa per asukas siten, että esimerkiksi mustissa kohdissa karttaa on eniten asennettua tehoa asukasta kohti. Vastaavasti vaaleimmissa kohdissa kuten Norjassa on vähiten installoituakapasiteettia asukasta kohti. Alla esitellään vastaavasti havainnollistava kuva 3 säteilytehon jakautumisesta neliömetriä kohti Euroopassa.



Kuva 3. Aurinkosähkön potentiaali Euroopassa (Šúri et al. 2007).

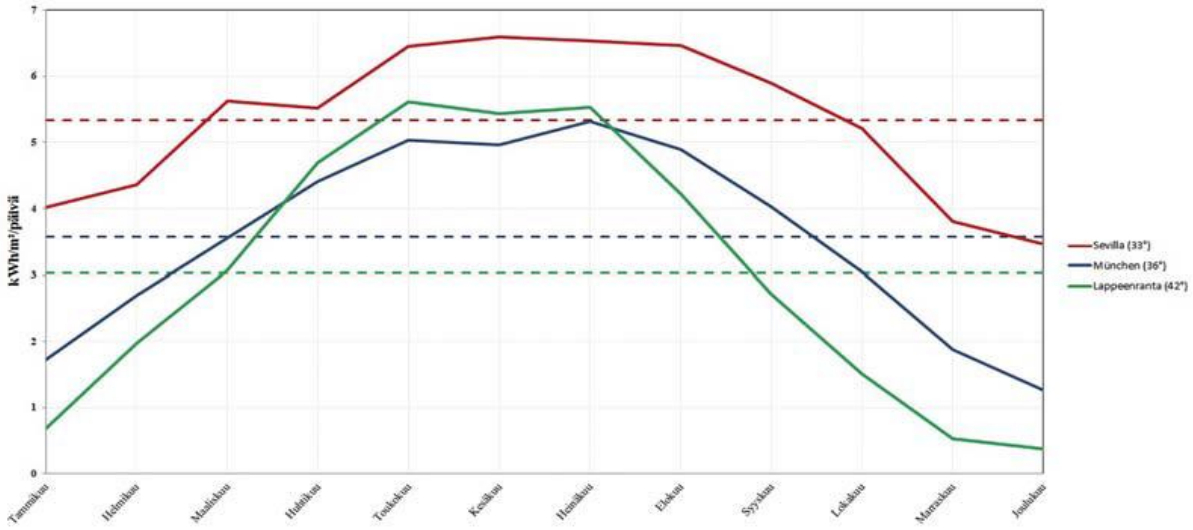
Auringon säteilytehoa kuvataan väreillä siten, että suurimman säteilytehon vastaanottaa punaruskealla väritetty alue ja vähäisin säteilyteho kohdistuu tumman sinisille alueille. Kuvasta 3 huomataan, että auringon lähettämän säteily pinta-alaa kohti jakautuu hyvin epätasaisesti sijainnista riippuen. Vaihtelu Pohjoismaiden ja Etelä-Euroopan välillä on merkittävä. Etelä-Euroopassa säteilyteho on kaksi kertaa suurempi kuin Suomessa, mutta esimerkiksi Pohjois-Saksan ja Etelä-Suomen välillä ero on vain pari prosenttia. Saksassa aurinkosähköä tuotetaan reilusti myös maan pohjoisosissa, kuten kuvasta 2. nähdään. Suomessakin olisi mahdollista panostaa aurinkosähkön tuotantoon paljon enemmän. Järjestelmien hintojen laskiessa taloudellinen kannattavuus on noussut sille tasolle, että Suomessakin omasta aurinkosähkön tuotannosta voidaan saada taloudellista hyötyä.

Saksan osuus selittyy pitkälti sillä, että ydinvoimasta on päätetty luopua ja uusiutuvaan energiaan panostaa. Saksassa aurinkosähkön tuotantoa tuetaan 60 €/MWh syöttötarifilla, mikä on vauhdittanut voimakkaasti uusiin aurinkosähköinvestointeihin. Syöttötarifin vaikutus aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuaikoihin on ollut merkittävä ja innostanut investoimaan aurinkosähköön. (TEM 2014.)

2.3 Aurinkosähkö Suomessa

Kuvaa 2. katsoessa ei välttämättä tule mieleen, että Suomi ja Pohjoismaat ovat joskus olleet Euroopan merkittävimpiä tekijöitä aurinkosähkömarkkinoilla. Näin oli 1990 – luvun alkuun saakka, jolloin aurinkosähköä tarvittiin sähköverkon ulkopuolella vapaa-ajan asuntoihin ja esimerkiksi veneisiin. Laitteistojen koko ja tuotetun energian määrät olivat tuolloin vielä pieniä. Aurinkosähkön mahdollisuudet ovat niistä ajoista muuttuneet ja on alettu ymmärtää, että aurinkosähköä voidaan hyödyntää paljon isommassakin mittakaavassa. Tässä uudessa kehityksessä Suomi on jäänyt Euroopan kärkimaihin verrattuna jälkeen, kuten kuvasta 2. huomataan. Suomessa aurinkosähkön vuosituotanto oli vuonna 2013 5 GWh ja installoitukapasiteetti reilu 10 MW (Observer 2015).

Suomen olosuhteista suotuisat tekee etenkin kesäkuukausien aikana saapuva säteilyteho, joka vastaa sinä ajankohtana Etelä-Euroopan tasoa. Pimeimpinä talvikuukausina tuotanto on hyvin vähäistä ja aivan pimeimpään aikaan marginaalista. Tuotannosta valtaosa saadaan maaliskuusta syyskuuhun välisenä aikana. Tämä selittyy Suomen sijainnilla leveyspiirillä. Kulutushuiput asettuvat sitä vastoin kylmille talvikuukausille, jolloin asuntojen lämmittämiseen kuluu paljon energiaa**.**



Kuva 4. Aurinkoenergian kuukausittainen säteilyteho Lappeenrannassa, Münchenissä ja Sevillassa (PVGIS 2013).

Katkoviiva havainnollistaa säteilytehon vuotuista keskiarvoa

Kannattavinta on hyödyntää tuotanto mahdollisimman tehokkaasti itse ja korvata näin ostosähköä, jonka hinta muodostuu energiamaksun lisäksi veroista ja siirtomaksuista (TEM 2013b). Tuotettaessa sähköä omaan käyttöön energia- ja siirtomaksuja, eikä veroja tarvitse maksaa tuotetuista kilowattitunneista. Myytäessä sähköä verkkoon tuottaja saa tuottoja vain tuotetusta energiasta. Tällä hetkellä esimerkiksi Lappeenrannan alueella tuottajat saavat jopa 4.52 €/kWh, mikä on varsin hyvä hinta sähköenergialle (Kosonen 2014, 27). Jotkin sähköyhtiöt maksavat reilusti vähemmän ja moni ei mielellään ostaisikaan mikrotuottajan sähköä. Mikäli sähkön myynnistä saisi Elspot pörssihintaa vastaavan osuuden, vaihtelisi hinta suuresti. Etenkin tällä hetkellä sähkön Elspot –hinnat ovat hyvin alhaisella tasolla. Kesällä tuotanto on suurimmillaan, mutta vastaavasti pörssihinta alhaisimmillaan, kuten kuvasta 4 nähdään. Taloudellisessa mielessä tuotanto kannattaa nykyisillä sähkön hinnoilla käyttää siellä missä se tuotetaan.

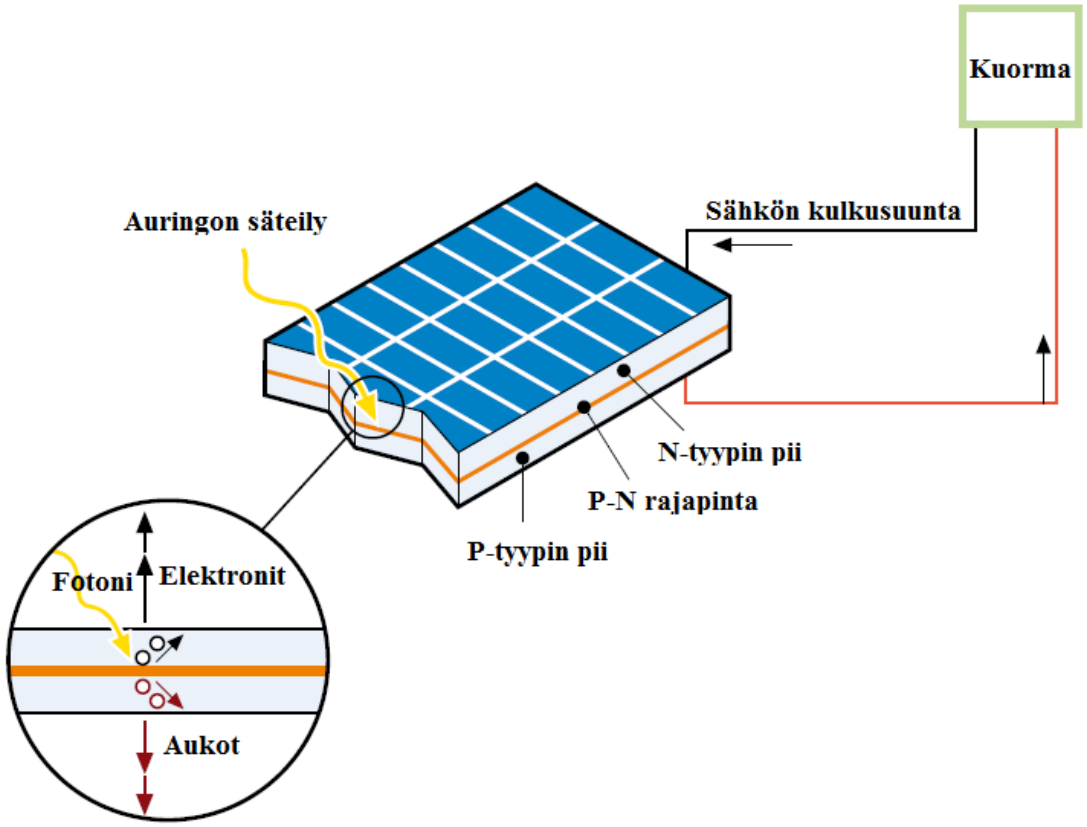
Suomessa aurinkosähköä ei tueta syöttötarifilla, eikä käytännössä mitenkään muutenkaan. Tuulivoimaa sitä vastoin tuetaan hyvinkin laajamittaisesti, mikä asettaa energian tuotantomuodot eriarvoiseen asemaan. Suomessa täytyisikin panostaa aurinkosähkön tukemiseen, jotta uusiutuvan energian osuus nousisi lisää.

3 AURINKOPANEELITEKNIIKKA

Tässä luvussa kerrotaan aurinkopaneelien toiminnasta ja aurinkokennoista. Aluksi selvitetään mihin aurinkopaneelien toiminta perustuu, jonka jälkeen perehdytään aurinkokennojen tekniikkaan.

3.1 Aurinkopaneelin toiminta

Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, kennojen päällä olevasta lasista ja paneelia suojaavasta kuoresta. Yksittäinen paneeli koostuu monista sarjaan kytketyistä kennoista. Aurinkopaneelin toiminta perustuu aurinkokennoissa tapahtuvaan valosähköiseen ilmiöön. Aurinkokenno on eräänlainen puolijohteeseen perustuva sovellus. Kennot koostuvat kahdesta sähköisiltä ominaisuuksiltaan eroavasta puolijohdekerroksesta. Auringon säteilyn osuessa kennoon osa säteilyn fotoneista absorboituu p-n -rajakerroksessa tai sen välittömässä läheisyydessä, jolloin syntyvä sähkökenttä saa aukot ja elektronit kulkemaan erisuuntiin. Näin kennon kahden puolijohdekerroksen välille syntyy jännite-ero, jota voidaan hyödyntää. Kerroksien ulkopuolella on johtavat pinnat, joiden avulla jännite saadaan johdettua sähköjohdoilla kuormalle esimerkiksi kodin sähköjärjestelmän laitteille. (ABBSolar 2014, 8) Alla on teorian tueksi asiaa havainnollistava kuva 5.



Kuva 5. Aurinkokennon toiminta **(**ABBsolar 2014, 8).

Yhden kennon jännite on vain noin 0,7 V, joten jännitteen nostamiseksi hyödynnettävälle tasolle tarvitaan sarjaan kytkentöjä. Paneelit puolestaan kytketään myös sarjaan, jotta paneeleista koostuva järjestelmä tuottaa edelleen tarpeeksi jännitettä. Järjestelmä tuottaa tasavirtaa, joka täytyy muuntaa taajuusmuuttajalla eli invertterillä vaihtovirraksi, jotta sen pystyy syöttämään kodin sähköverkkoon. Aurinkosähköä pystytään tämän jälkeen hyödyntämään omaan käyttöön, valtakunnan verkkoon syöttämiseen tai varastointiin. Suurimman taloudellisen hyödyn saamiseksi sähkö kannattaa käyttää itse, kuten edellä on todettu. Sähkön varastointi ei ole tällä hetkellä kovin kannattavaa nykyisen akkuteknologian takia. Akkujen varastointikapasiteetti ei ole tällä hetkellä tarpeeksi energiatehokas suhteessa hintaan. Ylijäämäsähkön voi myös siirtää sähköverkkoon, mikäli kaikkea ei pystytä itse käyttämään paikallisesti (Motiva 2014e).

3.2 Aurinkokennojen sukupolvet

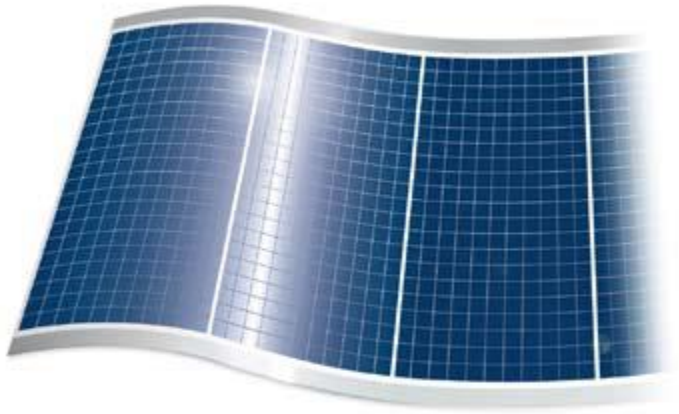
Ensimmäisen sukupolven aurinkokennot on valmistettu yksikiteisestä, monikiteisestä tai amorfisesta piistä. Markkinoilla myytävien ensimmäisen sukupolven aurinkokennojen hyötysuhde vaihtelee 12 % ja 17 % välillä. Tämä on selkeästi eniten myyty teknologia noin 90 % osuudella. Monikiteisestä piistä koostuvien kennojen hyötysuhde on heikompi verrattuna yksikiteisestä piistä valmistettuihin kennoihin. Tämä johtuu kiteiden välisistä useista rajapinnoista, jotka laskevat hyötysuhdetta. Yhdysvaltalaisen SunPower Corp Oy:n valmistamilla yksikiteisillä pii kennoilla on päästy yksittäisen kennolla 24 % hyötysuhteeseen ja paneelilla 21,5 % hyötysuhteeseen. (Motiva 2014c.)

Kuvassa 6 on ensimmäisen sukupolven yksikide pii kennoilla varustettu aurinkopaneeli.

Kuva 6. Piikennoista koostuvia aurinkopaneeleita (ABBsolar 2014, 12).

Toisen sukupolven kennot perustuvat ohutkalvotekniikkaan. Neljä tällä hetkellä markkinoilla olevaa kennomateriaalia ovat: amorfinen pii (a-Si), kadmium telluridi (CdTe), kalium arsenidi (GaAS) ja yhdistelmä pii (a-Si/m-Si). Ohutkalvotekniikan etuna on vähäisempi valmistusmateriaalien tarve. Ohutkalvokennon paksuus on mikrometrin luokkaa. Lisäksi ohutkalvotekniikalla toimivien kennojen kuorimateriaalina voidaan käyttää halpoja materiaaleja, kuten lasia, ruostumatonta terästä tai muovia. yhdysvaltalaisen SunPower Corp Oy:n valmistamilla ohutkalvotekniikan kennoilla on päästy yksittäisen kennolla 18,7 % hyötysuhteeseen ja paneelilla 14,4 % hyötysuhteeseen. (Motiva 2014c.)

Kuvassa 7 on ohutkalvotekniikkaa hyödyntävä aurinkopaneeli.

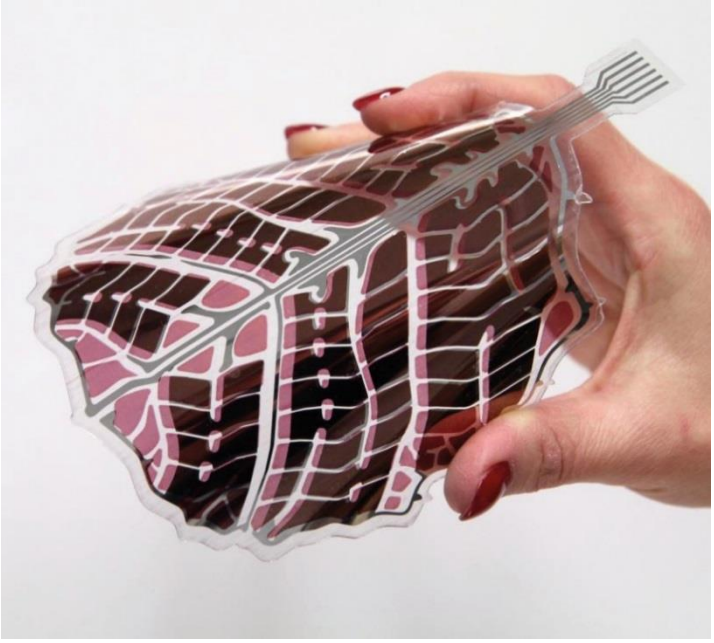


Kuva 7. Ohutkalvotekniikalla toteutettu aurinkopaneeli (ABBsolar 2014, 13).

Kolmannen sukupolven kennot perustuvat nanotekniikkaan, joka toimii vielä huomattavasti pienemmässä kokoluokassa verrattuna ohutkalvotekniikkaan. Valmistusmenetelmät ja toimintatavat eroavat edellä mainituista täysin. Yleisin sovellus on väriaineaurinkokenno, joka on eräänlainen sähkökemiallinen kenno. Tässä sovelluksessa titaanidioksidinanopartikkelien pintaan kiinnitetyt väriainemolekyylit tuottavat auringon säteilystä sähköä.

Valmistusprosessi on yksinkertainen ja kalvoja on mahdollista toteuttaa painamalla väriainemolekyylit titaaniokdisinanopartikkelien pintaan. Näitä hyvin ohuita kalvoja pystytään sijoittamaan esimerkiksi ikkunoihin ja rakennusten kattoihin. Kokeiluissa on parhaillaan päästy 11 % hyötysuhteeseen. Auringon valosta pääsee noin 95 % kalvon läpi, joten se ei siis havaittavasti vaikuta näkyvyyteen ulos. (Motiva 2014c.)

Kuvassa 8. on VTT:n Suomessa kehittämä kolmannen sukupolven aurinkopaneeli.



Kuva 8. Kolmannen sukupolven aurinkopaneeli (VTT 2014).

VTT eli valtion teknologian tutkimuskeskus on hyödyntänyt massavalmistustekniikkaa paneelien kehittämisessä. Paneelit on toteutettu painamalla väriainemolekyylit elektrodien ja polymeerikerrosten pintaan. Tutkimuskäyttöön valmistettujen paneelien paksuus on vain 0,2 mm ja niitä voitaisiin käyttää esimerkiksi sisustukseen. Kyseisellä menetelmällä valmistettujen paneelien valmistaminen on hyvin nopeaa. Painokone pystyy painamaan 100 metriä minuutissa kerroksellista kalvoa parhaillaan. Materiaalia kuluu myös vähän ja orgaanisen valmistusmateriaalin voi kierrättää noin kolmen vuoden käyttöiän umpeuduttua. (VTT 2014.)

3.3 Tekniikan ja hyötysuhteiden kehitys

Tulevaisuuden mahdollisuudet aurinkokennojen kehittämisessä ovat suuret. Nykyään piikennoista valmistetut paneelit hallitsevat markkinoita selvästi tuotantokustannusten vuoksi. Lähes kaikki tällä hetkellä markkinoilla olevat paneelit hyödyntävät ensimmäisen sukupolven tekniikkaa (Motiva 2014c). Tulevaisuuden osalta tavoitteena on kehittää yksikidepiistä valmistettujen kennojen hyötysuhde 23 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteena on myös kehittää toisen ja kolmannen sukupolven kennoja hyötysuhteeltaan ja erityisesti hankintahinnaltaan kilpailukykyisiksi. Kolmannen sukupolven paneelien käyttöikä on tällä hetkellä vain viisi vuotta, mutta tavoitteena on nostaa se

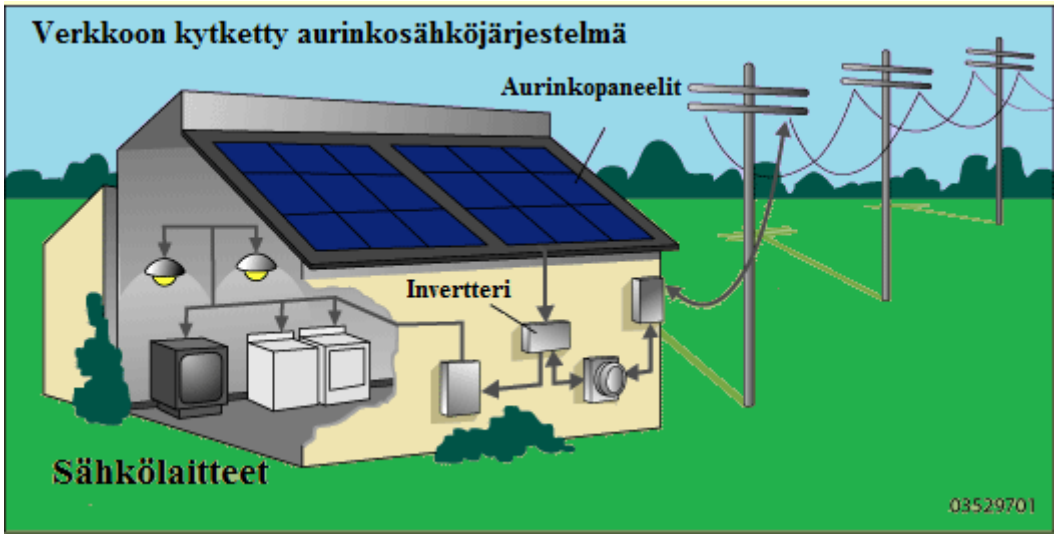
kustannustehokkaasti kahteenkymmeneen vuoteen. Ensimmäistä sukupolvea paremmat sovellusmahdollisuudet kokonsa ja käytettävyyden ansiosta ovat hyödyllisiä valtteja tulevaisuudessa. (VTT 2014).

4 MIKROTUOTANTOLAITOS

Tässä osiossa esisuunnitellaan mikrotuotantolaitos omakotitalon katolle. Kiinteistö sijaitsee Pieksämäellä Etelä-Savossa. Suunnitellun aurinkosähköjärjestelmän toteutusprosessi käydään läpi yksityiskohtaisesti. Suunnittelussa käydään läpi myös, mistä järjestelmään tarvittavat laitteet voitaisiin hankkia.

4.1 Toteutus

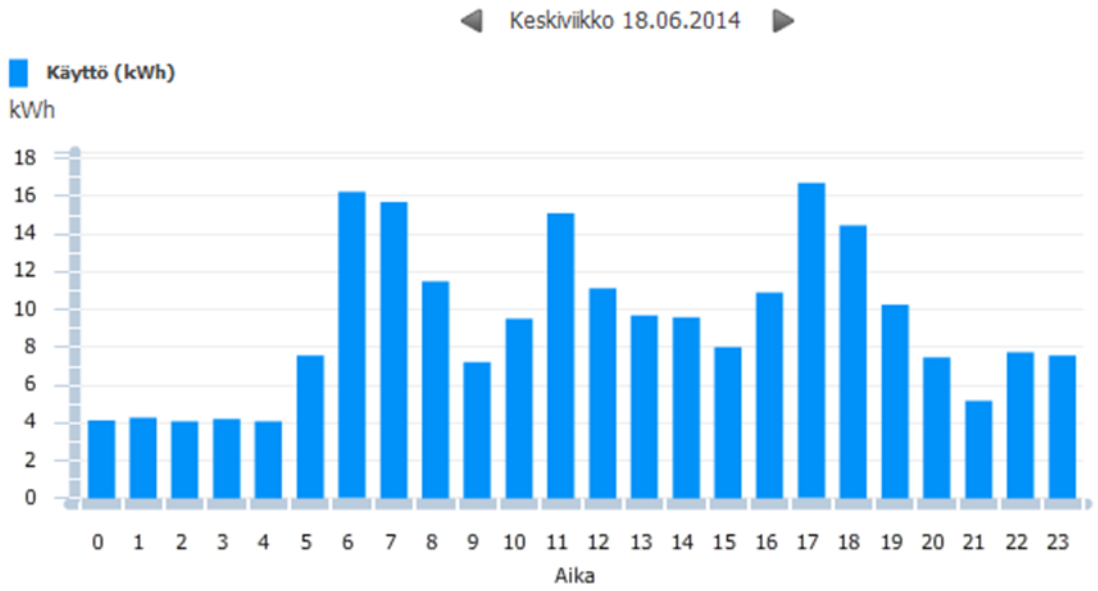
Aurinkovoimalan toteutusprosessi koostuu suunnittelusta, mahdollisten lupien käsittelystä, laitteiston hankinnasta, asennuksesta ja käyttöönotosta. Nopeimmillaan prosessi kestää noin pari kuukautta. Ennen hankkeen toteutuspäätöstä on järkevää tehdä perustavanlaatuinen suunnittelu. Aluksi laitteistolle tulee valita sopiva asennuskohde. Aurinkopaneeleita pystytään asentamaan maahan, katon päälle, osaksi kattoa ja seinille. Tässä projektissa aurinkopaneelit sijoitetaan katon päälle. Asennus on mahdollista suorittaa ilman kattorakenteiden uusintaa jo olemassa olevalle katolle. Suomen leveysasteilla paras tuotto saadaan etelään suuntautuvalla 45 asteen kallistuskulmalla (Motiva 2014a.) Yleensä omakotitalojen kattokulmat eivät ole kuitenkaan näin suuria. Kohteen kattokulma on 25 astetta. Alla on periaatekuva 9 verkkoon kytketystä aurinkosähköjärjestelmästä.



Kuva 9. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä (Energyeducation 2015).

Kohde kannattaa valita siten, että auringon säteily pääsee kohtaamaan paneelien pinnat esteettömästi. Muiden rakennusten ja puiden varjostus laskee aurinkopaneeleista saatavaa tehoa. Aurinkopaneelit kannattaa sijoittaa katolle, jonka lape on etelään maksimaalisen tuotannon saavuttamiseksi. Itä ja länsisuunnista saadaan myös kohtuullinen tuotto, mutta pohjoiseen paneeleita ei kannata suunnata.

Projektin alkuvaiheessa on myös valittava laitteiston koko. Valintaan vaikuttaa kiinteistön sähkön kulutus. Järjestelmän tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman tehokkaasti kaikki sähkö omaan käyttöön, koska tällöin aurinkojärjestelmällä saavutetaan suurimmat hyödyt. Tiedot kiinteistön sähkön kulutuksesta saa tutkimalla oman sähköyhtiön tarjoamaa kulutusinformaatiota. Tieto on saatavilla useimmilla sähköyhtiöillä suoraan internetistä. Kuvassa 10 on Sähköyhtiö Savon Voima Oy:n Priwatti - palvelusta kaapattu kuva, josta selviää sähkön kulutuksen vaihtelu vuoden 2014 kesäkuun 18. päivän aikana.



Kuva 10. Asiakkaan kulutuskäyrä (Savon Voima 2014, Priwatti -palvelu).

Kuvassa 10 pystyakselilla on sähkön käyttö kilowattitunteina ja vaaka-akselilla vuorokauden tunnit. Priwatista on saatavilla tuntikohtaisia, sekä pitemmän aikavälin kulutustietoja kuvaajien tai taulukoiden muodossa. Tuntikohtaista kulutusta tarkempia tietoja ei ole kuitenkaan saatavilla. Näiden tietojen avulla voidaan määrittää kiinteistön pohjakuorma, mikä ohjaa valitsemaan sopivan kokoisen aurinkojärjestelmän. Kuvan 10

kulutusta vastaavalla kiinteistöllä sijaitsee maatila, minkä vuoksi kulutushuiput ovat huomattavasti tyypillistä omakotitaloa korkeammat. Laitteiston kokoa valittaessa täytyy ottaa huomioon, että aurinkosähkön tuotanto vaihtelee päivän aikana huomattavasti. Pohjakuorman perusteella oikean kokoisen laitteiston valinta vaatii tuotanto ja kulutustasojen vertailua keskenään etenkin aamu- ja iltapäivän tuntien osalta. (Motiva 2014b.)

Tässä projektissa laitteiston koko on noin 5 kWp, mikä kykenee tuottamaan lähes pohjakuormaa vastaavan energiamäärän. Mikäli kiinteistön sähkölaitteita pystyttäisiin ohjaamaan älykkäästi aurinkosähkön tuotannon mukaan, olisi mahdollista valita teknillistaloudellisesti suurin järjestelmä. Tällöin kiinteistölle voitaisiin siis sijoittaa isompi aurinkosähköjärjestelmä ilman, että ylijäämäsähköä syntyisi juurikaan. Installoitavan kapasiteetin hinta tehoa kohti laskee järjestelmän koon kasvaessa, joten skaalaedulla parannettaisiin investoinnin kannattavuutta.

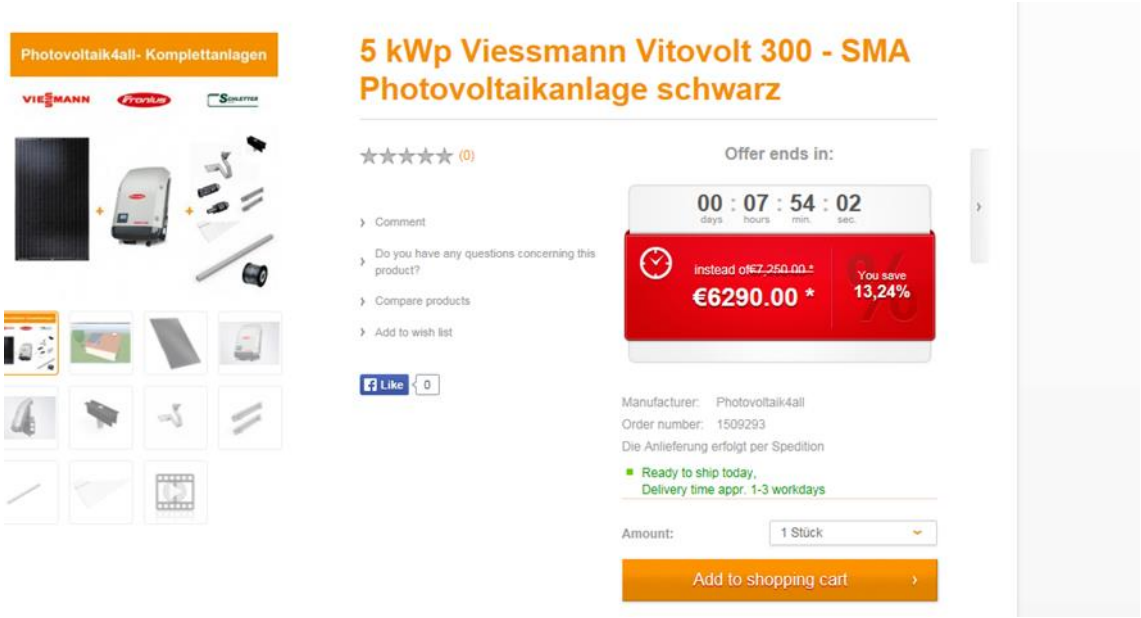
Aurinkosähköön suhtaudutaan paikkakunta kohdittain eri tavalla. Pääkaupunkiseudulla aurinkojärjestelmiä saa asentaa vapaasti. Lappeenrannassa on käytössä ilmoitusmenettely eli kunnalle tulee ilmoittaa aikomuksesta rakentaa aurinkopaneelijärjestelmä. Mikkelissä vastaavasti vaaditaan toimenpidelupa ennen rakentamista. Suhtautuminen aurinkosähköön vaihtelee siis kaupungeittain paljon. Projektikohde on Pieksämäellä maaseudulla, joten kiinteistö kuuluu kunnan osa-alueeseen 3. Tämä tarkoittaa sitä, että aurinkosähköjärjestelmän saa rakentaa ilman toimenpidelupaa vapaasti (Ronkainen 2015). Esimerkiksi kaupunkialueella vaaditaan toimenpidelupa. Lomake on kolmen sivun pituinen ja täyttäminen vie hetken, mutta päätöksen saaminen voi kestää viikkoja.

Toimenpideluvan saamisen jälkeen seuraa laitteiston kilpailutus ja hankinta. Aurinkosähköjärjestelmä on tarkoitus liittää verkkoon ja sen täytyy täyttää SFS-EN 50438 standardi, joka koskee mikrotuotannon liittämistä verkkoon. Suomessa voidaan lisäksi käyttää saksalaisen VDE-AR-N-4105 normin mukaisia laitteita (Aurinkovirta 2015). Järjestelmän hankinta kannattaa suorittaa taloudellisuuden kannalta muulta kuin Suomesta. Saksasta saa halvemmalla vastaavaa tekniikkaa, mitä esimerkiksi Fortum myy Suomessa. Kiinalaiset tekevät paneelit vielä saksalaisia halvemmalla, mutta järjestelmän saapuminen Suomeen vie enemmän aikaa. Lisäksi laitteiston laatu ja normien mukaisuus ja riskit ovat pienempiä Saksasta hankittaessa. Aurinkopaneeliteollisuus on Saksassa

kehittynyttä ja laitteistojen takuut pitkiä. Lisäksi tuetaan eurooppalaista teollisuutta ostamalla tekniikka Saksasta.

4.2 Paneelien ja muun laitteiston valinta

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista, taajuusmuuttajasta, asennuskiinnikkeistä tarvikkeineen ja tasavirtasähkökaapelista. Järjestelmän kytkeminen taajuusmuuttajalta kiinteistön omaan sähköjärjestelmään vaatii lisäksi kolmivaihevirtakaapelia. Kuvassa 11 on saksalaisen Photovoltaik4all – yrityksen myymä aurinkosähköjärjestelmästä.



Kuva 11. 5 kWp aurinkosähköjärjestelmä (Photovoltaik4all.de 2015).

Kuvan 11 järjestelmä sisältää: 18 kappaletta 270 watin yksikidepii -tekniikalla varustettuja aurinkokennoja. Aurinkopaneelit ovat saksalaisen Viessmannin tuotteita. Tajuusmuuttaja on itävaltalaisen Froniuksen ja kiinnikkeet Schletter Montage systemsin Frankfurtin tehtailla valmistamia osia. Tajuusmuuttaja eli invertteri on varustettu sisäisellä Wlanilla, jonka ansioista laitetta voidaan kytkeä tietokoneeseen. Lisäksi invertteri on yhteen sopiva tulevaisuuden älykkäiden sähköverkkojen kanssa. (Photovoltaik4all.de 2015). Kuvassa 12 on Forniuksen Symo -mallisarjan taajuusmuuttaja.

Kuva 12. Fronius Symo taajuusmuuttaja (Fronius 2014).

Kyseinen kuvan 12 taajuusmuuttaja muuntaa paneeleilta tulevan tasavirran kolmivaiheiseksi sähkövirraksi. Taajuusmuuttajan toiminta-arvoja on listattu liitteeseen 3. Kuvassa 13 on puolestaan Viessmann Vitovolt 300 – sarjan aurinkopaneeli.

Kuva 13. Vitovolt 300 aurinkopaneeli (Viessman 2015).

Aurinkopaneelin kennot ovat ensimmäisen sukupolven yksikidepii tekniikalla toteutettuja. Koko laitteistolla on valmistajan antama 10 vuoden takuu ja paneeleilla 25 vuoden tuotantotakuu.

4.3 Käyttökohde ja aurinko-olosuhteet

Käyttökohteeksi valitaan Etelä-Savossa sijaitseva omakotitalo, jonka katolle aurinkopaneelit sijoitetaan. Paneelit kytketään omakotitalon sähköverkkoon, josta tuotettu sähkö menee omaan käyttöön ja mahdollinen ylijäämäsähkö eteenpäin myyntiin valtakunnan verkkoa pitkin. Kuvan 14 karttaan on merkitty sijainti, johon aurinkosähköjärjestelmä sijoitetaan.

Kuva 14. Aurinkosähköjärjestelmän sijainti (Google Maps 2015).

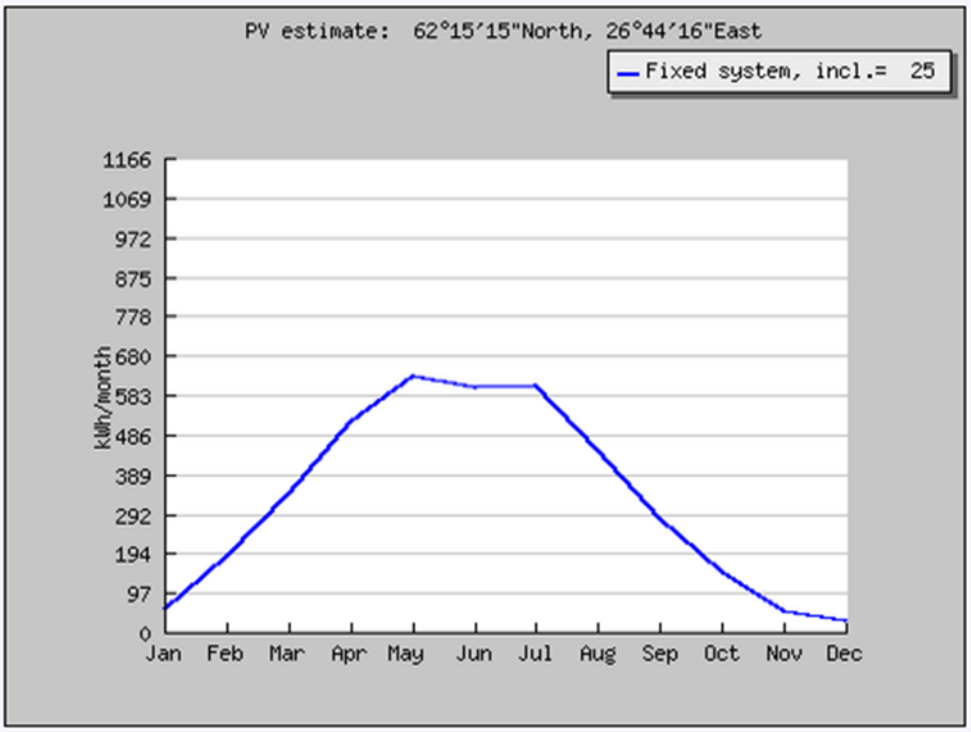
Tuotanto poikkeaa vain hieman Etelä-Suomen tasosta, kuten seuraavaksi tullaan huomaamaan. Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon simulointiin käytetään JRC Europan simulointityökalua (JRC Europa 2015). JRC:n simulointityökalulla laskettu aurinkosähköjärjestelmän tuotanto on esitetty kuvassa 15.

Fixed system: inclination=25°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.78	55.3	0.43	13.3
Feb	6.64	186	1.57	43.9
Mar	10.90	339	2.68	83.2
Apr	17.30	518	4.48	134
May	20.40	632	5.52	171
Jun	20.00	601	5.56	167
Jul	19.50	606	5.49	170
Aug	14.50	448	3.97	123
Sep	9.33	280	2.45	73.6
Oct	4.86	151	1.22	37.8
Nov	1.67	50.0	0.41	12.3
Dec	0.88	27.2	0.21	6.66
Yearly average	**10.7**	**324**	**2.84**	**86.3**
Total for year		**3890**		**1040**

Kuva 15. Laskennallinen tuotanto kuukausittain 5 kWp paneeliteholla (JRC Europa 2015).

Kuvassa 15 esitetään aurinkosähköjärjestelmän tuotannon vaihtelut kuukausittain. Toisella pystyrivillä kuvataan päiväkohtaista tuotetun energian keskiarvoa ja kolmannella vastaavasti kuukausittaista kertymää. Vuosittainen tuotanto kyseisellä järjestelmällä on 3890 kWh.

Tuotantoa vastaava kuvaaja on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Tuotettu energia kuukausittain 4,86 kWp järjestelmällä (JRC Europa 2015).

Kuvassa 16 pystyakselilla on energiantuotanto kilowattitunteina kuukaudessa ja vaaka-akselilla vuoden kuukaudet. Kuvasta 16 näkee, että aurikosähköjärjestelmän tuotanto on suurimmillaan touko- ja kesäkuun välisenä aikana.

4.4 Lainsäädäntö koskien asennusta ja sähkötöitä

Sähköasennukset tulee suorittaa vain ammattihenkilön tai yrityksen tekemänä. Asennuksien tekijällä on oltava sähköurakointioikeudet. Laitteiston asennuksen jälkeen urakoitsijan tulee tehdä omalle asennustyölleen käyttöönottotarkastus ja mittaukset, josta hänen täytyy laatia käyttöönottopöytäkirja. Sulakekoolla yli 35 ampeeria tulee tehdä lisäksi varmennustarkastus kolmen kuukauden kuluessa käyttöönotosta. Tarkastuksella varmistetaan sähköturvallisuuden perusvaatimuksien täyttyminen. Sähköasennustyö tulee ainakin hankkia ulkopuoliselta henkilöltä tai yritykseltä, eikä sitä voi itse tehdä. Mikäli aurinkosähköjärjestelmän hankkija lukeutuu itse edellä mainittuihin, voi asennuksen tehdä itse. (Motiva 2012, 18-20.)

Enintään 50 kVA voimalaitoksesta tulee sähkön pientuottajan toimittaa jakeluverkon haltijalle vähintään seuraavat tiedot: Laitoksen tyyppi, nimellisteho, nimellisvirta,

liitäntälaitteen eli invertterin tyyppitiedot. Suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat tulee ilmetä, sekä tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta. (Ibid.) Liitteissä 7 ja 8 on esitetty Savon Voiman mikrotuotantolaitoksen verkkoon liittämisen yhteystietolomake, joka tulee toimittaa verkkoyhtiölle ennen järjestelmän kytkentää verkkoon.

Verkkoon siirrettävän sähkön on täytettävä SFS-EN-50160 standardin mukaiset vaatimukset. Sähköntuotantolaitoksen haltija on vastuussa aurinkosähköjärjestelmän aiheuttamista vahingoista verkonkäyttäjille ja muille sähkönkäyttäjille, mikäli sähkö ei ole edellä mainitun standardin ja muiden vaatimuksien mukaista. (Ibid.) Aurinkopaneelijärjestelmän kytkentä noudattelee seuraavaa kuvaa 17.

Kuva 17. Aurinkosähköjärjestelmän kytkennän periaatekuva (Motiva 2014d).

Kuvassa 17 aurinkosähköjärjestelmä on erotettu talon sähköpääkeskuksesta erillisellä turvakytkimellä, kuten laki vaatii.

5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS

Tässä osiossa selvitetään onko aurinkosähköjärjestelmä kannattava. Vaihtoehto 1 käsittää edellä kuvatun aurinkosähköjärjestelmän. Vertailun vuoksi edellä esiteltyä järjestelmää verrataan Fortumin tarjoamaan 4,5 kWp avaimet käteen -periaatteella myymään tuotteeseen (Fortum 2014). Fortumin tarjoamaa tuotetta kutsutaan vaihtoehdoksi 2. Järjestelmän tuotanto laskettiin internetissä vapaasti käytettävällä tuotannon simulointityökalulla. Investointi-, asennus- ja käyttökustannukset määritetään ja mahdollisen tukirahoituksen saamista pohditaan. Näiden rahavirtojen selvittämisen jälkeen lasketaan aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika ja investoinnista saatavat tuotot pitoajalla.

5.1 Investointi- ,asennus- ja käyttökustannukset

Aurinkosähköjärjestelmä toimituskuluineen maksaa vaihtoehdossa 1. 6688 €. Asentaminen suoritetaan itse lukuun ottamatta paneelien kytkentään taajuusmuuttajaan ja tämän kytkentää sähköverkkoon. Sähköurakoitsijan oletettiin veloittavan tästä 200 €. Sähköasennukset vievät vain vähän aikaa, mutta käyttöönottotarkastus ja – pöytäkirjan kirjoittaminen nostaa hintaa. Mahdollisesti sähköurakoitsija veloittaa hieman enemmän, mutta tällä ei ole juurikaan vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Vaihtoehdon 2 toteutus maksaa puolestaan 11 200 €.

Käyttökustannuksia aurinkosähköjärjestelmästä ei juurikaan ajatella syntyvän, koska paneelit puhdistaa kiinteistön omistaja vapaa-ajallaan. Oletetaan lisäksi, että sähköverkkoyhtiö ei peri liittymismaksua.

5.1 Tukirahoitus voimalalle

Aurinkosähköä tuetaan Saksassa syöttötariffilla, mutta Suomessa tällaista tukijärjestelmää ei aurinkosähkölle ole olemassa. Tuulivoimaa tuetaan vastaavasti hyvinkin suuresti.

Yritykset, kunnat ja muunlaiset vastaavat yhteisöt voivat hakea energiatukea aurinkosähköjärjestelmän investointiin. Tuen ohjeellinen osuus on 30 % hankkeen kokonaiskustannuksista. (TEM 2013) Yksityishenkilöt eivät siis pysty saamaan energiatukea. Maataloustukea ei myöskään tähän mennessä ole vielä myönnetty

aurinkosähköhankkeisiin. Esimerkiksi aurinkolämpöhankkeisiin pystyttäisiin hakemaan maataloustukia.

Aurinkosähköjärjestelmän asennustyölle on mahdollista hakea kotitalousvähennystä seuraavasti: Enimmäismäärä vuodessa on 2400 euroa henkilöä kohti. Omavastuu on 100 euroa ja tuen määrä 45 % asennuskustannuksista. (Motiva 2014i.) Sähköasennuskustannuksiksi oletetaan veloitettavan 200 €. Kulujen erittely on esitetty kappaleessa 5.3. Sähköasennuksista saatava hyöty kotitalousvähennyksen avulla on seuraava:

$$200\ € \cdot 0{,}45\ \% - 100\ € = 90\ €$$

Säästö on siis vain 90 €, mutta se voidaan hakea, mikäli halutaan. Vastaavasti vaihtoehdon 2 tapauksessa asennuskustannuksia syntyy 1815 €, joten kotitalousvähennyksellä saatava hyöty on seuraava:

$$1815\ € \cdot 0{,}45\ \% - 100\ € = \ 716{,}75\ €$$

Laskennan perusteella selviää, että vaihtoehdon 2 asennuskustannuksiin voidaan saada hyvinkin paljon tukea kotitalousvähennyksen avulla.

Aurinkosähköjärjestelmän asennus on edellä mainittuihin asioihin perustuen ainut osa toteutusta mihin voidaan saada tukea. Vaihtoehdon 1 toteutushinnaksi jää noin 6 600 € ja vaihtoehdon 2 noin 10 500 €.

5.2 Aurinkosähköllä saatavat säästöt

Aurinkosähkön vuosituotanto laskettiin simulointityökalulla ja vuosituotannoksi saatiin noin 3890 kWh. Kaikki sähkö pyritään käyttämään itse. Ostosähkön vertailuhinta selvitetään Energiaviraston sivujen perusteella ja tällä hetkellä edullisin sähköenergian hinta on 4,82 snt/kWh (sahkonhinta 2015). Sähkövero on puolestaan 2,794 snt/kWh ja sähkön siirto 3,42 snt/kWh. Yhteensä siis sähkö tulisi maksamaan 11,034 snt/kWh. Sähkön siirto- ja energiahinnat ovat yleissopimuksen mukaisia hintoja eli ne pysyvät kiinteinä koko sopimus ajan, joka on kaksi vuotta tässä tapauksessa. Oletetaan sähkön hinnan pysyvän keskimäärin tasolla 12 snt/kWh pitoajalla. Ensimmäisenä vuonna saatava säästö 4,86 kWp järjestelmällä on seuraava:

$$3890\ kWh \cdot 0{,}12\ \frac{€}{kWh} = 479{,}22\ €$$

Vastaavastti säästö tuotantoteholla 4,5 kWp on puolestaan:

$$3600\ kWh \cdot 0{,}12\ \frac{€}{kWh} = 443{,}72\ €$$

Aurinkopaneelien hyötysuhde laskee käyttöaikana. Oletetaan tuotetun energian määrän laskevan 0,5 % vuodessa ja käytetään tätä arvoa ensimmäisen vuoden jälkeisten tuottojen arviointiin (ABBsolar 2014a, 54).

5.3 Takaisinmaksuaika

Vaihtoehdon 2. kokonaiskustannukset ovat siis kotitalousvähennyksen jälkeen yhteensä noin 6600 €. Otetaan vertailun vuoksi Fortumin tarjoama 4,5 kWp kokoinen, mutta muuten vastaava aurinkosähköjärjestelmä asennettuna mukaan vertailuun. Vaihtoehdon 2. hinta kotitalousvähennyksien jälkeen on 10 484 €. Fortumin hintaan sisältyvä asennuspalveluverkko ei ylety kohdekiinteistölle asti, mutta oletetaan samoihin asennushintoihin päästävän muidenkin alan toimijoiden kanssa.

Koroton takaisinmaksuaika saadaan ratkaistua seuraavalla yhtälöllä:

$$n = \frac{H}{S} \qquad (1)$$

missä

n	takaisinmaksuaika	[a]
H	alkuinvestointi	[€]
S	nettotuotto vuodessa	[€/a]

Kumulatiivinen kassavirta ratkaistaan puolestaan seuraavasti:

$$K = H - S_a \cdot \mathrm{t} \qquad (2)$$

missä

t	aika	[a]
S_a	vuotuinen tuotto	[€]

Korollinen takaisinmaksuaika selvitetään nykyarvo menetelmän avulla.

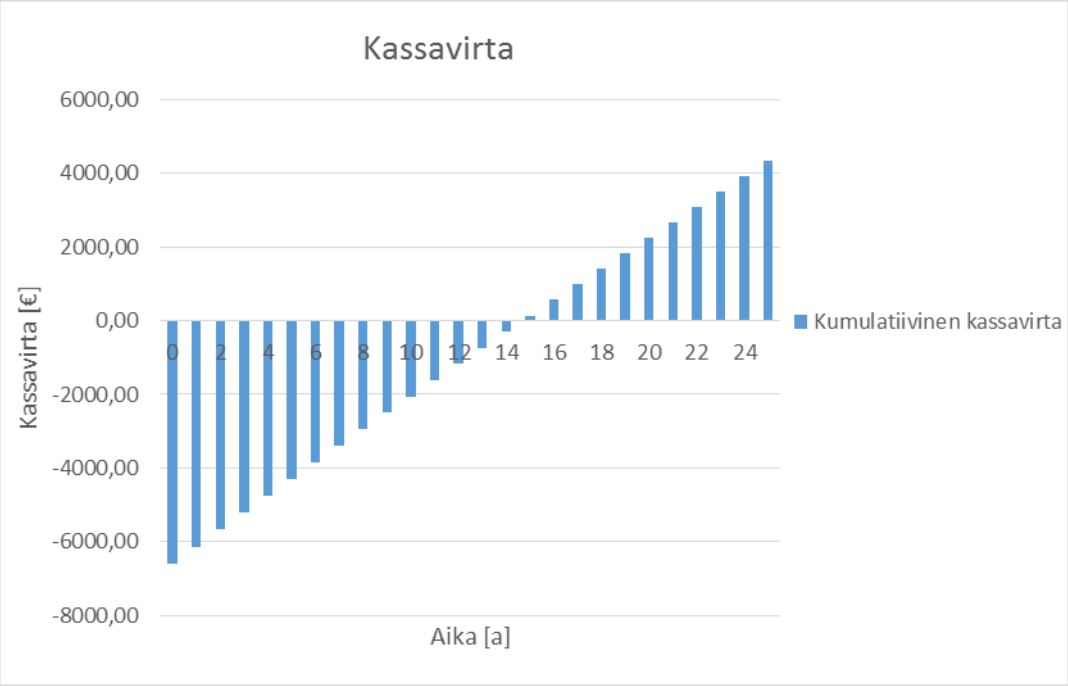
$$\sum_{t=1}^{n^*} \frac{S_d}{(1+i)^t} - H = 0 \quad (3)$$

missä

i	laskentakorko	[-]
S_d	diskontattutuotto	[€]

Yhtälön 3. laskentakorkona käytetään 3 % vuosikorkoa.

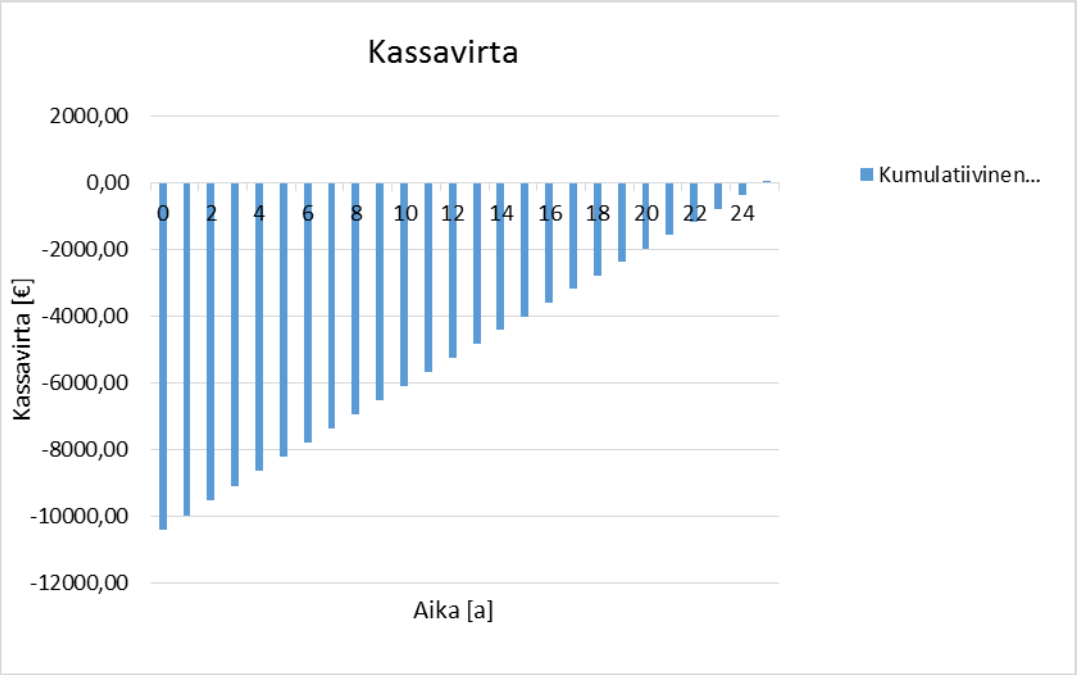
Kuvassa 18 on esitetty kumulatiivinen kassavirta vaihtoehdolla 1 ja pitoajalla 25 vuotta.



Kuva 18. Mahdollisimman pitkälle oma-aloitteisesti toteutun aurinkosähköjärjestelmän koroton kassavirta.

Kuvassa 19 on pystyakselilla kassavirta ja vaaka-akselilla aika. Kuvasta 19 nähdään, että investointi maksaa itsensä takaisin 15 vuoden kohdalla. Pitoajalla saavutettavat säästöt ovat reilu 4 000 €.

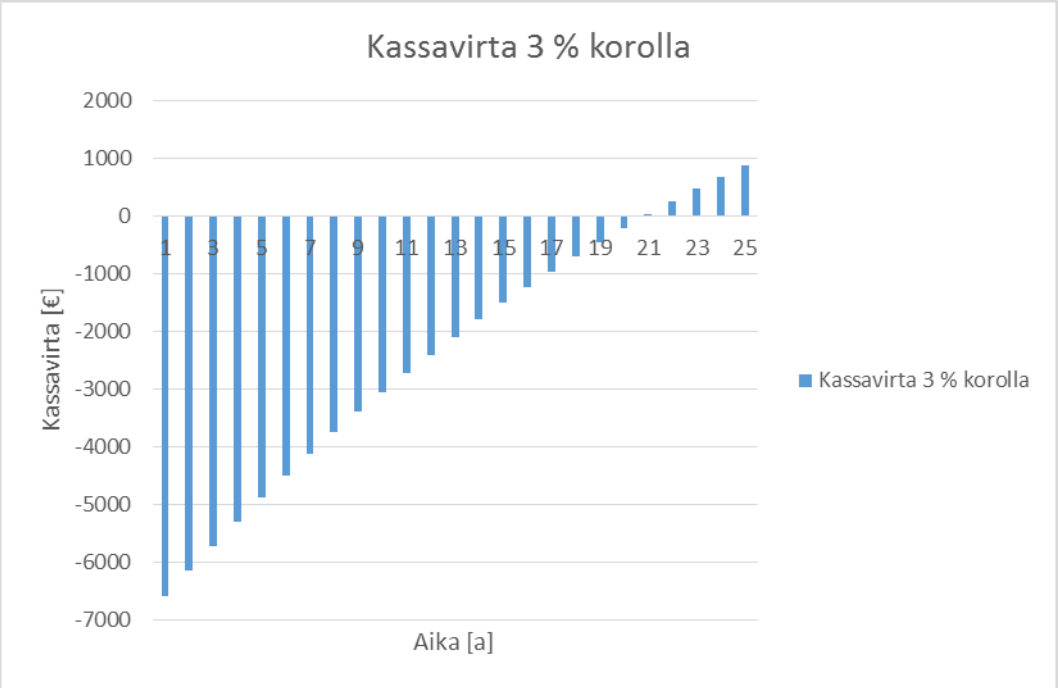
Kuvassa 19 on esitetty kassavirta vaihtoehdolla 2 ja pitoajalla 25 vuotta.



Kuva 19. Avaimet käteen – periaatteella tilattavan aurinkosähköjärjestelmän koroton kassavirta.

Kuvasta 19. huomataan, että vaihtoehdon 2 kassavirta pysyy negatiivisena lähes koko pitoajan ja koroton takaisinmaksu tapahtuu vasta pitoajan umpeutuessa. Kuvia 18 ja 19 vertailemalla huomataan, että vaihtoehto 1 on huomattavasti kannattavampi.

Määritetään vielä vaihtoehdolle 1 korollinen takaisinmaksuaika. Vaihtoehdolle 2 vastaavaa ei määritetä, koska investointi olisi varmasti tappiollinen. Vaihtoehdon 1 kannattavuus matalakorkoisella lainarahoituksella sen sijaan saattaisi olla kohtuullinen. Vaihtoehdon 1 korollinen takaisinmaksuaika 3 % laskentakorolla on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Mahdollisimman oma-aloitteisesti toteutetun aurinkosähköjärjestelmän korollinen kassavirta.

Kuvasta 18. nähdään, että vaihtoehdon 2 takaisinmaksuaika on 25 vuotta eli koko pitoajan. Investointi ei tuota voittoa ollenkaan ja ei ole näin ollen kannattava. Voidaankin todeta, että paketti 2. on täysin kannattamaton, koska pienikin lisäkulu saa investoinnin tuottamaan elinkaarensa aikana tappiota. Vastaavasti vaihtoehto 1 tuottaa pitoajalla yli 4 000 € säästöjä korottomana. Laskentakorolla 3 % investoinnin tuotto jää alle 1 000 €. Tarkasteltaessa korotonta takaisinmaksu aikaa vaihtoehdon 1 tapauksessa esimerkiksi taajuusmuuttajan hajoaminen 15 vuoden kohdalla kertyisi säästöjä silti pitoajalla noin 3 000 €. Vastaavasti laskentakorolla 3 % päädyttäisiin samassa tilanteessa muutamia satoja euroja tappiolle. Voidaan todeta riskejä tarkasteltaessa, että omalla pääomalla ja vaihtoehdon 1 mukaisella tavalla toteutettaessa investointi on kannattavin. Sijoitusmielessä investoinnin takaisinmaksuaikana 15 vuottakin on kuitenkin liikaa ja sijoitetun pääoman tuotto liian alhainen.

6 YHTEENVETO

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat laskeneet viime vuosina voimakkaasti, mikä on vaikuttanut alan kannattavuuteen merkittävästi. Energiapolitiikassa on alettu viime aikoina kiinnittää myös entistä enemmän huomiota energiantuontamuotojen aikaan saamiin päästöihin. Uusiutuvaa energiaa on alettu kannattamaan ja päästöjen vähentämiseen pyritään entistä tehokkaammin. Aurinkosähkö on uusiutuvaa energiaa hyödyntävä energiantuotantomuoto, joka on tekemässä läpimurtoa. Saksassa näin on tapahtunutkin johtuen pitkälti kuitenkin aurinkosähkötuotannon tukemisesta. Suomessa aurinkosähkön tuotantoa ei ainakaan vielä tueta ja toisaalta kannattavuuden noustessa tarpeet aloittaa tukeminen vähenevät koko ajan.

Tämän kandidaatin työn päätavoitteena oli selvittää aurinkosähkön tuotantopotentiaalia ja kannattavuutta Suomessa. Kahdella esimerkki paketilla toteutetun vertailun avulla huomattiin, että avaimet käteen –periaatteella toteutettu ratkaisu ei ole Suomessa kannattava investointi. Sen sijaan hyvin pitkälle viety oma-aloitteinen aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu, hankinta ja toteutus johtivat huomattavasti kannattavampaan lopputulokseen. Tällainen omatoiminen aurinkosähköön panostaminen vaatii aikaa ja halua, mutta lopputulos on kannattava. Hankkeesta olisi voitu saada vieläkin kannattavampi tilaamalla aurinkosähköjärjestelmä Kiinasta. Tavoitteena oli kuitenkin panostaa teknisesti kestävään ja hintalaatusuhteeltaan lähes parhaaseen laitteistoon, joka olisi teknisesti hyvä vielä tulevaisuudessakin.

Tulevaisuudessa aurinkosähköjärjestelmien hinnat tulevat todennäköisesti laskemaan entisestään, joten seuraavan kymmenen vuoden aikana tullaan todennäköisesti näkemään aurinkosähkön todellinen läpimurto. Mikäli Suomessa asetettaisiin vastaavat tuotantotuet mitä Saksassa on tällä hetkellä, alkaisi läpimurto jo ennemmin.

LÄHDELUETTELO

ABBsolar 2014. Technical Application Papers No.10 Photovoltaic plants. Julkaistu 2014. [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/d54672ac6e97a439c12577ce003d8d84/$FILE/Vol.10.pdf

Energy Education Programs. Photovoltaic Cells. [viitattu 5.3.2015] Saatavissa: http://www.energyeducation.tx.gov/renewables/section_3/topics/photovoltaic_cells/f.html

Epia 2014. Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018 Julkaistu 1.6.2014 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=/uploads/tx_epiapublications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf&t=1425546126&hash=5806b34f36e2cdd76451b80ea4ae75da5b31df54

Fortum 2014. Fortum Aurinkopaketin hinnasto. Päivitetty 26.9.2014 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: https://www.fortum.fi/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinkoenergiaratkaisut/aurinkopaneeli/hinta/pages/default.aspx

FRONIUS INTERNATIONAL 2014. Fronius Symo 4.5-3-S / 4.5-3-M. [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7C944A71-3BCCC8D8/fronius_international/hs.xsl/83_28702_ENG_HTML.htm#.VPROkmOEMoc

Irena 2015. RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2014. Julkaistu: 1.2015 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf

JRC European Comission. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps Päivitetty 10.2.2012 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php

Kosonen Antti 2014. LUT GC aurinkovoimala. Julkaistu 11.4.2014 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://moodle.lut.fi/pluginfile.php/64896/mod_resource/content/2/Aurinkovoimala_LUT_11_4_2014.pdf

Motiva 2012. Opas sähkön pientuottajalle. Julkaistu 4.2012 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf

Motiva 2013. Aurinkoenergia. Päivitetty 7.5.2014 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia

Motiva 2014a. Aurinkopaneelien asentaminen. Päivitetty 12.5.2014 [viitattu 5.3.2015] Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen

Motiva 2014b. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus. Julkaistu 12.5.2014 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus

Motiva 2014c. Aurinkosähköteknologiat Päivitetty 17.7.2014 [viitattu 5.3.2015] Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva 2014d. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Päivitetty 12.5.2014 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Observer. Geographic Information System. [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://observer.cartajour-online.com/Interface_Standard/cart@jour.phtml?NOM_PROJET=barosig&NOM_USER=&Langue=Langue2&Login=OK&Pass=OK

Photovoltaik4all 2015. Photovoltaik4all – yrityksen internet sivut. [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.photovoltaik4all.de/en/pv4all-deal/995/5-kwp-viessmann-vitovolt-300-sma-photovoltaikanlage-schwarz?c=245

Ronkainen Juhani 2015. Pieksämäen kunta: rakennustarkastaja. Sähköpostikysely 2.3.2015.

Priwatti 2015. Savon Voima – yrityksen internet sivut [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: https://priwatti.savonvoima.fi

Puro Vesa-Matti 2015. Aurinkovirta. [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://aurinkovirta.fi/

Savon Voima 2014. Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon. Savon Voima – yrityksen internet sivut [viitattu 5.5.2015] Saatavissa: http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/Mikrotuotantolaitteiston_liittaminen_2014.pdf

SMA 2015. Performance of Photovoltaics (PV) in Germany. Päivitetty 5.3.2015 [viitattu 5.3.2015] Saatavissa: http://www.sma.de/en/company/pv-electricity-produced-in-germany.html

Šúri M., T.A. Huld, E.D. Dunlop & H.A. Ossenbrink (2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy. 81, 1295–1305.

Sähkönhinta 2015. Sähkön hintavertailu. Julkaistu 4.3.2015 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.sahkonhinta.fi/results

TEM 2013a. Hakeminen ja maksatus. Päivitetty 24.9.2013. [viitattu 4.3.2015] Saatavissa: http://www.tem.fi/energia/energiatuki/hakeminen_ja_maksatus

TEM 2013b. Mistä sähkön hinta muodostuu. Päivitetty 24.9.2013 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa:http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkon-hinta-ja-sopimukset/mista-sahkon-hinta-muodostuu

TEM 2014. 10.6.2014 [viitattu 5.3.2015] Saatavissa: https://www.tem.fi/ajankohtaista/blogit/tiekartta_2050_blogi?112260_a=comments&112260_m=115406

Viessmann 2015. Power from the sun. Julkaistu 1.11.2014 [viitattu 4.3.2015] Saatavissa:http://www.viessmann.com/com/content/dam/internet-global/pdf_documents/com/brochures_englisch/pr-power_from_the_sun.pdf

VTT 2015. Kuvioidut, taipuisat aurinkopaneelit osaksi sisustusta ja esineiden ulkonäköä. Julkaistu 21.1.2015 [viitattu 5.3.2015] Saatavissa: http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/kuvioidut-taipuisat-aurinkopaneelit-osaksi-sisustusta-ja-esineiden-ulkon%C3%A4k%C3%B6%C3%A4

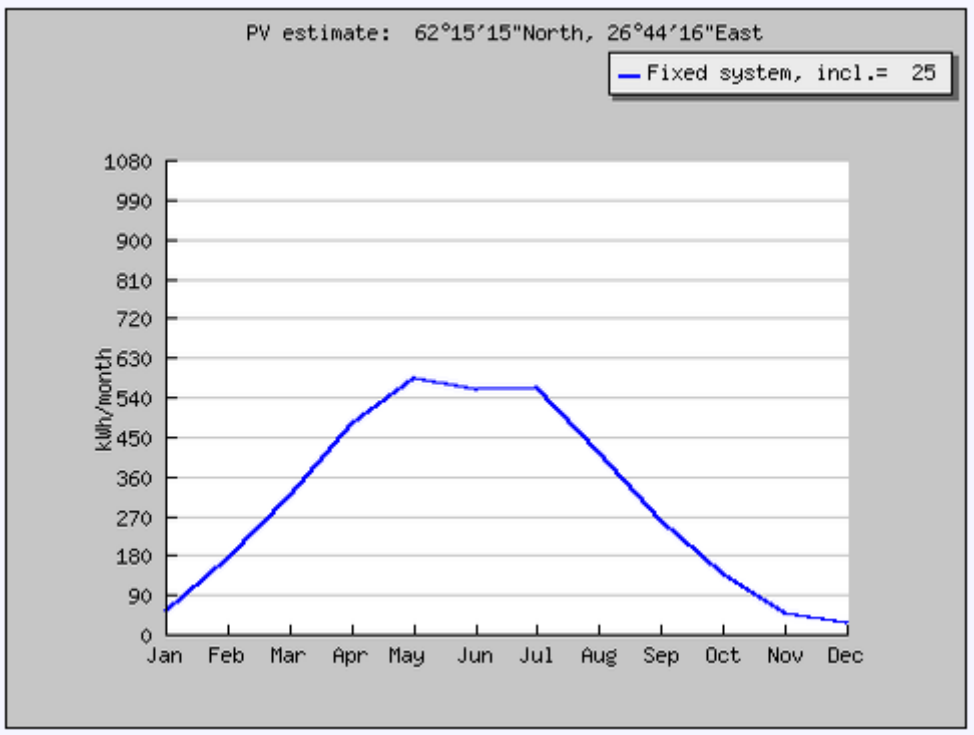
LIITTEET

LIITE 1. VAIHTOEHDON 2 LASKENNALLINEN TUOTANTO

Fixed system: inclination=25°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.65	51.2	0.43	13.3
Feb	6.14	172	1.57	43.9
Mar	10.10	314	2.68	83.2
Apr	16.00	480	4.48	134
May	18.90	585	5.52	171
Jun	18.50	556	5.56	167
Jul	18.10	561	5.49	170
Aug	13.40	415	3.97	123
Sep	8.64	259	2.45	73.6
Oct	4.50	140	1.22	37.8
Nov	1.54	46.3	0.41	12.3
Dec	0.81	25.2	0.21	6.66
Yearly average	**9.87**	**300**	**2.84**	**86.3**
Total for year		**3600**		**1040**

Kuva 21. 4,5 kWp aurinkosähköjärjestelmän vuosituotanto (JRC Europa 2015).

LIITE 2. VAIHTOEHDON 2 TUOTANNON KUVAAJA



Kuva 22. 4,5 kWp aurinkosähköjärjestelmän tuotannon kuvaaja (JRC Europa 2015).

LIITE 3. TAAJUUSMUUTTAJAN TEKNISET TIEDOT

INPUT DATA	Fronius Symo 4.5-3-S	Fronius Symo 4.5-3-M
Max. input current ($I_{dc\ max\ 1}$ / $I_{dc\ max\ 2}$ 1))	16.0 A / 16.0 A	
Max. array short circuit current (MPP_1/MPP_2 1))	24.0 A / 24.0 A	
Min. input voltage ($U_{dc\ min}$)	150 V	
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)	200 V	
Nominal input voltage ($U_{dc,r}$)	595 V	
Max. input voltage ($U_{dc\ max}$)	1,000 V	
MPP voltage range ($U_{mpp\ min}$ – $U_{mpp\ max}$)	300 - 800 V	150 - 800 V
Number of MPP trackers	1	2
Number of DC connections	3	2 + 2
OUTPUT DATA		
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	4,500 W	4,500 W
Max. output power	4,500 VA	4,500 VA
Max. output current ($I_{ac\ max}$)	7.2 A	7.2 A
Grid connection (voltage range)	3~NPE 400 V / 230 V or 3~NPE 380 V / 220 V (+20 % / - 30 %)	
Frequency (frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Total harmonic distortion	< 3 %	
Power factor (cos $\varphi_{ac,r}$)	0.70 - 1 ind. / cap.	0.85 - 1 ind. / cap.

Kuva 23. Fronius Symo taajuusmuuttajan tekniset tiedot (Fronius 2014).

LIITE 4. VAIHTOEHDON 1 KUMULATIIVINEN KASSAVIRTA

Taulukko 1. 4,86 kWp aurinkosähköjärjestelmän kumulatiivinen kassavirta.

Vuosi	Investointi [€]	Säästöt [€]	Kum. Kassavirta [€]
0	6598	0,00	-6598,00
1		464,47	-6133,53
2		462,14	-5671,39
3		459,83	-5211,56
4		457,53	-4754,02
5		455,25	-4298,78
6		452,97	-3845,81
7		450,71	-3395,10
8		448,45	-2946,65
9		446,21	-2500,44
10		443,98	-2056,46
11		441,76	-1614,71
12		439,55	-1175,16
13		437,35	-737,80
14		435,17	-302,64
15		432,99	130,35
16		430,82	561,17
17		428,67	989,84
18		426,53	1416,37
19		424,39	1840,77
20		422,27	2263,04
21		420,16	2683,20
22		418,06	3101,26
23		415,97	3517,23
24		413,89	3931,12
25		411,82	4342,94

LIITE 5. VAIHTOEHDON 2 KUMULATIIVINEN KASSAVIRTA

Taulukko 2. 4,5 kWp aurinkosähköjärjestelmän kumulatiivinen kassavirta.

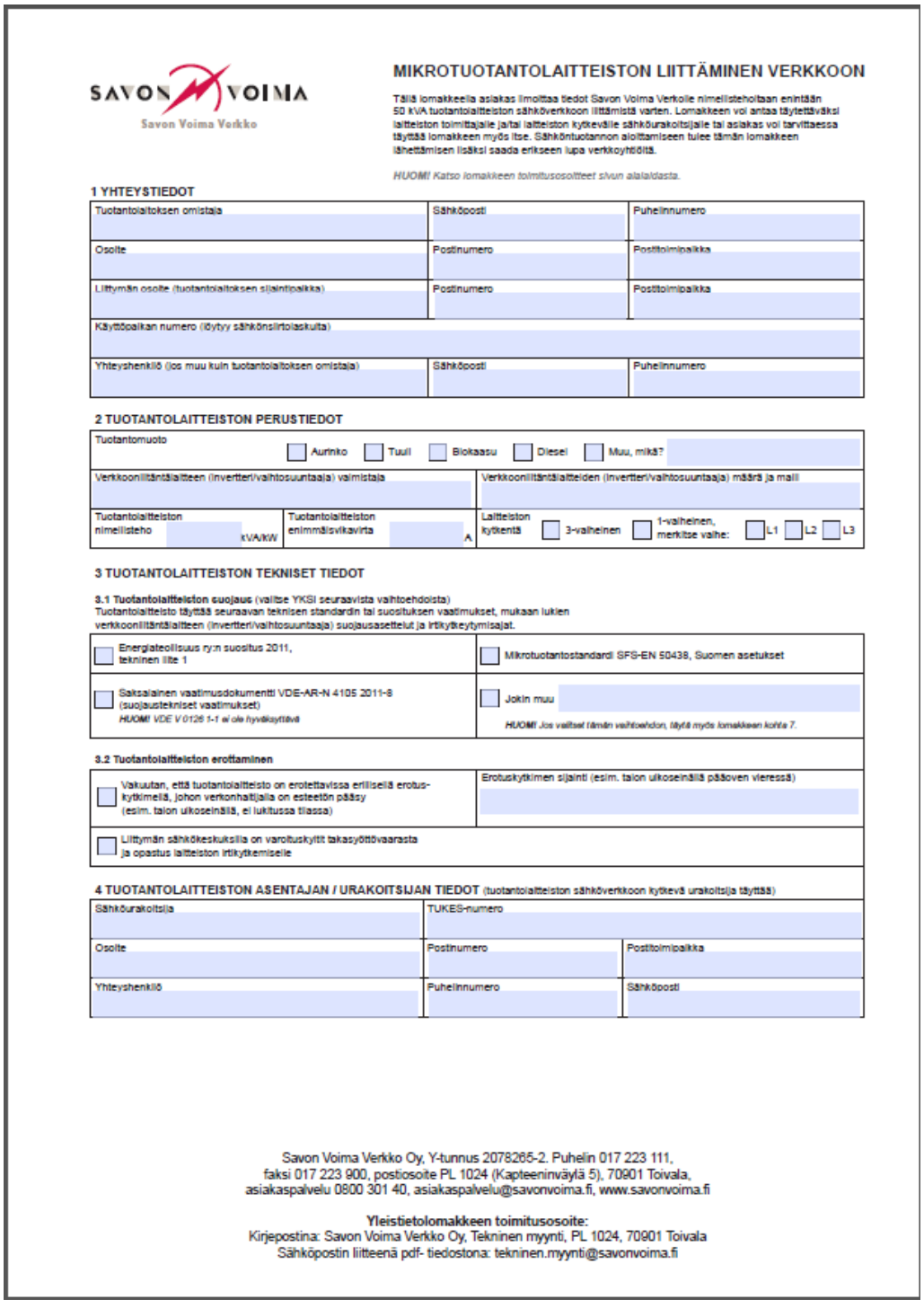
Vuosi	Investointi [€]	Säästöt [€]	Kum. Kassavirta [€]
0	10400	0,00	-10400,00
1		441,50	-9958,50
2		439,30	-9519,20
3		437,10	-9082,10
4		434,91	-8647,19
5		432,74	-8214,45
6		430,58	-7783,87
7		428,42	-7355,45
8		426,28	-6929,17
9		424,15	-6505,02
10		422,03	-6082,99
11		419,92	-5663,07
12		417,82	-5245,25
13		415,73	-4829,52
14		413,65	-4415,87
15		411,58	-4004,29
16		409,53	-3594,76
17		407,48	-3187,29
18		405,44	-2781,85
19		403,41	-2378,43
20		401,40	-1977,04
21		399,39	-1577,65
22		397,39	-1180,26
23		395,40	-784,85
24		393,43	-391,42
25		391,46	0,04

LIITE 6. VAIHTOEHDON 1 3 % KOROLLINEN KASSAVIRTA

Taulukko 3. 4,86 kWp aurinkosähköjärjestelmän korollinen kassavirta.

Vuosi	Investointi [€]	Nykyarvo-tekijä	Kum. Nykyarvo [€]
0	6598	1,00	-6598,00
1		0,97	-6147,06
2		0,94	-5711,45
3		0,92	-5290,64
4		0,89	-4884,12
5		0,86	-4491,42
6		0,84	-4112,07
7		0,81	-3745,60
8		0,79	-3391,59
9		0,77	-3049,61
10		0,74	-2719,25
11		0,72	-2400,11
12		0,70	-2091,82
13		0,68	-1794,01
14		0,66	-200,08
15		0,64	77,84
16		0,62	346,31
17		0,61	605,67
18		0,59	856,21
19		0,57	1098,23
20		0,55	1332,03
21		0,54	1557,89
22		0,52	1776,07
23		0,51	1986,84
24		0,49	2190,45
25		0,48	2387,14

LIITE 7. MIKROTUOTANNON LIITTÄMINEN OSA 1



SAVON VOIMA
Savon Voima Verkko

MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa tiedot Savon Voima Verkolle nimellisteholtaan enintään 50 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle tai asiakas voi tarvittaessa täyttää lomakkeen myös itse. Sähköntuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

HUOM! Katso lomakkeen toimitusosoitteet sivun alalaidasta.

1 YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkönsiirtolaskulta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	Puhelinnumero

2 TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto ☐ Aurinko ☐ Tuuli ☐ Biokaasu ☐ Diesel ☐ Muu, mikä?		
Verkkoonliitäntälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) valmistaja		Verkkoonliitäntälaitteiden (invertteri/vaihtosuuntaaja) määrä ja malli
Tuotantolaitteiston nimellisteho ____ kVA/kW	Tuotantolaitteiston enimmäisvikavirta ____ A	Laitteiston kytkentä ☐ 3-vaiheinen ☐ 1-vaiheinen, merkitse vaihe: ☐ L1 ☐ L2 ☐ L3

3 TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

3.1 Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehdoista)
Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliitäntälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytkeytymisajat.

☐ Energiateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1	☐ Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset
☐ Saksalainen vaatimusdokumentti VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset) *HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä*	☐ Jokin muu *HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytä myös lomakkeen kohta 7.*

3.2 Tuotantolaitteiston erottaminen

☐ Vakuutan, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotus-kytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy (esim. talon ulkoseinällä, ei lukitussa tilassa)	Erotuskytkimen sijainti (esim. talon ulkoseinällä pääoven vieressä)
☐ Liittymän sähkökeskuksilla on varoituskyltit takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle	

4 TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN / URAKOITSIJAN TIEDOT (tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

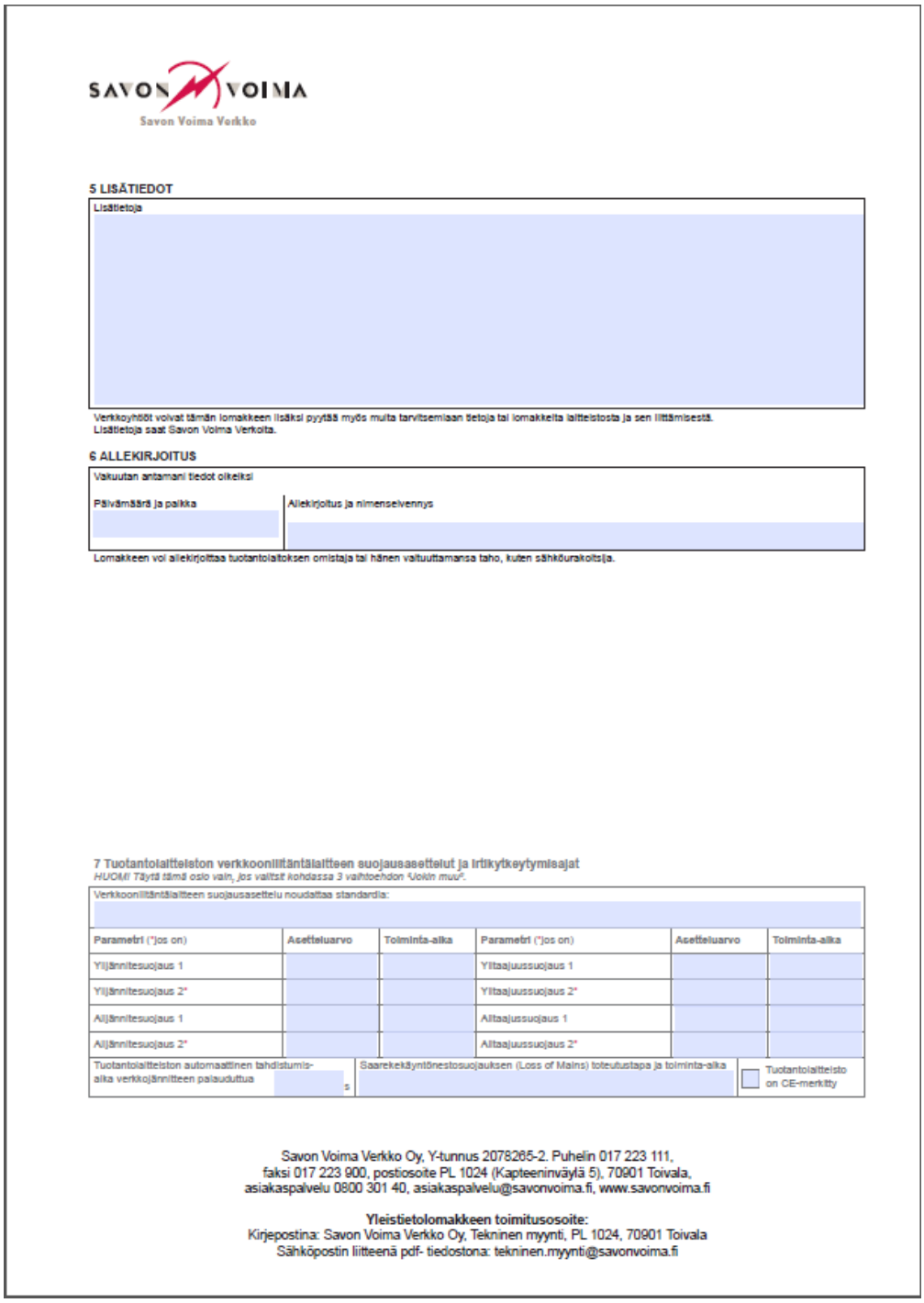
Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Savon Voima Verkko Oy, Y-tunnus 2078265-2. Puhelin 017 223 111,
faksi 017 223 900, postiosoite PL 1024 (Kapteeninväylä 5), 70901 Toivala,
asiakaspalvelu 0800 301 40, asiakaspalvelu@savonvoima.fi, www.savonvoima.fi

Yleistietolomakkeen toimitusosoite:
Kirjepostina: Savon Voima Verkko Oy, Tekninen myynti, PL 1024, 70901 Toivala
Sähköpostin liitteenä pdf- tiedostona: tekninen.myynti@savonvoima.fi

Kuva 24. Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon (Savon Voima 2014).

LIITE 8. MIKROTUOTANNON LIITTÄMINEN OSA 2



SAVON VOIMA
Savon Voima Verkko

5 LISÄTIEDOT

Lisätietoja

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemiaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä.
Lisätietoja saat Savon Voima Verkolta.

6 ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi

Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvennys

Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho, kuten sähköurakoitsija.

7 Tuotantolaitteiston verkkoonliitäntälaitteen suojausasettelut ja irtikytkeytymisajat
HUOM! Täytä tämä osio vain, jos valitsit kohdassa 3 vaihtoehdon 'Jokin muu'.

Verkkoonliitäntälaitteen suojausasettelu noudattaa standardia:

Parametri (*)jos on)	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Parametri (*)jos on)	Asetteluarvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojaus 1			Ylitaajuussuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*			Ylitaajuussuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1			Alitaajuussuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*			Alitaajuussuojaus 2*		

Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumis-aika verkkojännitteen palauduttua	s	Saarekekäyntiönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-aika	☐ Tuotantolaitteisto on CE-merkitty

Savon Voima Verkko Oy, Y-tunnus 2078265-2. Puhelin 017 223 111,
faksi 017 223 900, postiosoite PL 1024 (Kapteeninväylä 5), 70901 Toivala,
asiakaspalvelu 0800 301 40, asiakaspalvelu@savonvoima.fi, www.savonvoima.fi

Yleistietolomakkeen toimitusosoite:
Kirjepostina: Savon Voima Verkko Oy, Tekninen myynti, PL 1024, 70901 Toivala
Sähköpostin liitteenä pdf- tiedostona: tekninen.myynti@savonvoima.fi

Kuva 25. Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon (Savon Voima 2014).