



Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

# **KESKIKOKOISEN MAATILAN BIOKAASU- JA AURIN- KOSÄHKÖRATKAISUJEN KANNATTAVUUS ETELÄ- SAVOSSA**

**Profitability of a biogas power plant and a photovoltaic  
system on an average sized farm in Southern Savo**

Ville Volanen

# TIIVISTELMÄ

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Sähkötekniikka

Ville Volanen

## **Keskikokoisen maatilan biokaasu- ja aurinkosähköratkaisujen kannattavuus Etelä-Savossa**

2016

Kandidaatintyö.

32 s.

Tarkastaja: TkT Tero Ahonen

Tässä kandidaatintyössä perehdytään biokaasun syntyprosessiin ja sen hyödyntämismahdollisuuksiin, sekä vertaillaan biokaasun tuotannon määrää Suomessa ja Saksassa. Työssä tarkastellaan biokaasuvoimalan kannattavuutta keskikokoisen maatilan yhteydessä Etelä-Savossa ja käydään läpi biokaasuvoimalalle Suomessa myönnettäviä tukimuotoja. Tukimuotojen lisäksi käydään läpi erilaisia lupia ja hyväksyntöjä, joita maatilan yhteyteen rakennettava biokaasuvoimalaitos tarvitsee.

Työn toisessa osassa käydään läpi aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia, aurinkosähköjärjestelmän komponentteja, sekä perehdytään aurinkopaneelin toimintaperiaatteeseen. Tarkastellaan biokaasuvoimalan lisäksi myös aurinkovoimalan kannattavuutta maatilan yhteydessä ja vertaillaan biokaasu- ja aurinkovoimalan ominaisuuksia keskenään. Lisäksi vertaillaan aurinkosähkön tuotantoa Suomessa ja Saksassa.

Työn tavoitteena on selvittää biokaasu- ja aurinkosähkövoimalan kannattavuus esimerkkipaatialalla. Biokaasulaitoksen hinta-arvio saatiin vastauksena tarjouspyyntöön ja aurinkosähköjärjestelmän hinta arvioitiin kotimaisten toimittajien aurinkosähköpakettien hintojen avulla. Biokaasuvoimalan sähköntuottoennuste sekä huolto- ja käyttökustannukset perustuvat kirjallisuudesta saatuihin arvoihin. Aurinkovoimalan sähköntuottoennuste ja paneelien suuntauksen vaikutusta tuotantoon laskettiin PVGIS:n laskurilla sekä HOMER-ohjelmistolla.

Kannattavuuslaskelmien perusteella kumpikaan voimalaitostyyppi ei tutkituilla voimalaitosten suuruuksilla ole kannattava 20 tai edes 30 vuoden pitoajalla esimerkkipaatialalla nykyisellä sähkön hinnalla ja tukitasolla. Aurinkosähköjärjestelmälle saadaan kuitenkin 20 vuoden takaisinmaksuaika, jos se hankitaan ilman lainarahaa. Tällöin voidaan ajatella, että laitos on kannattava.

Biokaasulaitoksen kannattavuutta parantaisivat tukien ja sähkön hinnan nousun ohella kaasun ja lämmön myyntimahdollisuudet, joita esimerkkipaatialalla ei ole. Aurinkovoimalan kannattavuutta parantaisivat puolestaan tukien ja korkeamman sähkön hinnan lisäksi paremmin paneelien tuotanto seuraava kulutus, jolloin pienempi osuus sähköstä päätyisi myyntiin.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Electrical Engineering

Ville Volanen

### **Profitability of a biogas power plant and a photovoltaic system on an average sized farm in Southern Savo**

2016

Bachelor's Thesis.

32 p.

Examiner: D.Sc. Tero Ahonen

This bachelor's thesis orientates the process of producing biogas and possibilities to use it as well as the comparison the amount of biogas production in Finland and Germany. This study examines the profitability of a biogas power plant connected with an average sized farm in Southern Savo and describes forms of monetary support for biogas power plants in Finland. In addition to forms of monetary support, this paper narrates various permits and approvals which a biogas power plant needs when it is built next to a farm.

The second part of the study describes the potential for using solar energy in Finland, photovoltaic system components, and familiarizes the working principle of solar panel. In addition to a biogas power plant this bachelor's thesis examines also profitability of a photovoltaic system and compares their properties with each other. In addition, the thesis compares electricity produced by photovoltaic systems in Finland and Germany.

Aim of this study is to sort out profitability of a biogas power plant and a photovoltaic system on an example farm. Price estimate for a biogas power plant was obtained on basis of an invitation to tender, and a photovoltaic power plant price was estimated by examining prices of domestic photovoltaic package suppliers. Forecast for produced electricity as well as operating and maintenance costs for biogas power plant were based on values from literature. Photovoltaic systems electricity production forecast and effect of orientating panels was calculated with PVGIS and HOMER software.

Based on profitability calculations neither of the plant types is viable with studied plant sizes with 20 years or even 30 years lifetime on example farm with current price of electricity and level of monetary support. If the photovoltaic power plant is acquired without loan, it has 20 years payback period. In that case, it can be considered that the plant is profitable.

Higher price of electricity and higher level of monetary support would increase profitability of the biogas power plant and also possibilities to sell gas and heat, which the example farm doesn't currently have. In addition to a higher price of electricity and monetary support, an electricity consumption that follows better the power production of the panels would also increase profitability of the photovoltaic system. In that case a lower portion of electricity would end up in sale.

# SISÄLLYSLUETTELO

## Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
2.	Biokaasu .....	7
2.1	Biokaasun tuotantoketju .....	8
2.2	Biokaasun käyttö Suomessa ja tuotanto verrattuna Saksaan.....	9
3.	Biokaasulaitos.....	12
3.1	Biokaasun raaka-aineet tilalla.....	12
3.2	Metener Oy:n kuivareaktorikonsepti .....	12
3.3	Kannattavuuden arviointi .....	13
3.3.1	Voimalaitoksesta saatavat säästöt ja aiheutuvat kulut.....	14
3.4	Tilan energiaomavaraisuus .....	15
3.5	Saatavissa olevat tuet.....	16
3.6	Tarvittavat luvat.....	16
4.	Aurinkoenergia .....	19
4.1	Aurinkopaneelit .....	19
4.1.1	Aurinkokennon toimintaperiaate .....	20
4.2	Vaihtosuuntaaja .....	20
4.3	Auringonsäteilyn määrä Suomessa.....	21
4.4	Paneelien suuntaamisen vaikutus .....	22
4.5	Kannattavuuden arviointi .....	24
4.6	Aurinkosähkön tuotanto Suomessa ja Saksassa .....	25
5.	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	27
	Lähteet .....	28

Liite I Lanta-analyysi

Liite II Valosähköisen järjestelmän yleiskaavio

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

B	boori
CH <sub>4</sub>	metaani
CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power)
CO	hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
H <sub>2</sub>	vety
H <sub>2</sub> O	vesi
H <sub>2</sub> S	rikkivety
N <sub>2</sub>	typpi
O <sub>2</sub>	happi
P	fosfori
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
Si	pii
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi
<i>A</i>	annuiteetti
<i>I</i>	investointi
<i>p</i>	korko
<i>t</i>	aika
$\varepsilon$	annuiteettikerroin

## 1. JOHDANTO

Biokaasu on suurimmaksi osaksi metaania ja hiilidioksidia sisältävä kaasuseos. Se on kotimainen, uusiutuva ja hiilidioksidineutraali polttoaine, jota voidaan käyttää sähkön ja lämmön tuotantoon, sekä jalostettuna ajoneuvojen polttoaineena. Suomessa biokaasun osuus energian tuotannosta on pieni, mutta biokaasua käytetään polttoaineena laajalla sektorilla energiantuotannosta ja traktoreista ravintoloiden tunnelmatakkoihin ja julkisivusoihtuihin. Biokaasun tuotanto on muualla yleisempää kuin Suomessa. Saksassa tuotetaan ja käytetään biokaasua moninkertaisesti Suomeen verrattuna. Biokaasu voi tulevaisuudessa olla merkittävä energianlähde fossiilisten polttoaineiden huvetessa ja ilmasto-ongelmien ratkaisemisessa.

Auringon säteilyenergian muuttaminen suoraan sähköksi aurinkopaneelilla on uusiutuva ja tuotantovaiheessa hiilidioksidivapaa energiantuotantomuoto. Aurinkosähkön tuottamiseen ei ole Suomessa yhtä hyviä olosuhteita kuin lähempänä päiväntasaajaa sijaitsevilla valtioilla, mutta se on Suomessakin monin paikoin kannattavaa. Pohjois-Saksassa auringsäteilyn vuotuinen energiamäärä on samaa luokkaa kuin Etelä-Suomessa ja Saksassa aurinkosähkön osuus on noin neljännes koko maan sähköntuotantokapasiteetista. (Lindfors 2014)

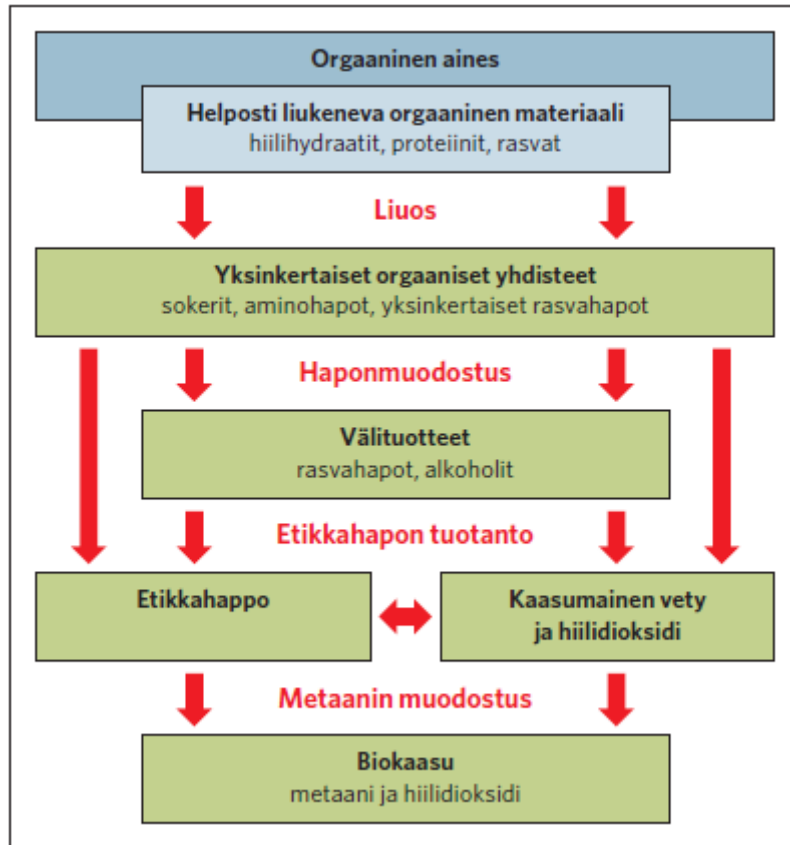
Tässä kandidaatintyössä arvioidaan noin kahdensadan naudan liha- ja lypsykarjatilatiloittaisen biokaasulaitoksen kannattavuutta Etelä-Savossa. Laitosinvestoinnin kannattavuutta arvioidaan laitoksen hinta- ja tuotantoarvion sekä tilan sähkö- ja lämmityskulujen perusteella. Biokaasun raaka-aineiden korkean kuiva-ainepitoisuuden takia laitostyyppinä käytetään Metener Oy:n kuivareaktorikonseptia. Työssä käydään läpi myös keskeiset laitokselle vaadittavat luvat ja käsitellään biokaasulaitosten tukiratkaisuja. Biokaasulaitoksen lisäksi arvioidaan myös erikokoisten ja eri tavalla suunnattujen aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta maatilatilan yhteydessä.

## 2. BIOKAASU

Biokaasuksi kutsutaan kaasuseosta, joka sisältää pääasiassa metaania  $\text{CH}_4$  noin 50 – 75 % ja hiilidioksidia  $\text{CO}_2$  noin 25 – 50 %, sekä pieniä pitoisuuksia vettä  $\text{H}_2\text{O}$ , happea  $\text{O}_2$ , hiilimonoksidia  $\text{CO}$ , typpeä  $\text{N}_2$ , vetyä  $\text{H}_2$  ja rikkivetyä  $\text{H}_2\text{S}$ . Biokaasun hyödyntäminen perustuu metaanin polttamiseen. Jatkojalostamalla biokaasun metaanipitoisuutta voidaan nostaa ja haitallisten yhdisteiden määrää vähentää. Erityisesti rikkivety ja muut rikkijohdisteet ovat haitallisia, koska ne aiheuttavat moottoreissa ja kaasukattiloissa korroosiota. Jalostamalla biokaasu biometaaniksi, saadaan sen metaanipitoisuus nostettua noin 98 %:n, jolloin sitä voidaan käyttää esim. liikennepolttoaineena tai syöttää suoraan maakaasuverkkoon. (Welling 2013)

Biokaasua tuotetaan biokaasulaitoksissa arkkeliöiden avulla. Arkkeliöt ovat vanhimpia eliöitä maapallolla, jotka ovat kehittyneet aikana, jolloin ilmakehässä ei ollut happea. Arkkeliöt tarvitsevat siten anaerobiset eli hapettomat olosuhteet menestyäkseen. Biokaasun tuotannossa on tärkeää luoda arkkeliöille otolliset olosuhteet, sillä metaania muodostavat eliöt ovat hitaita lisääntymään ja vaativia elinympäristönsä suhteen. Elinympäristö täytyy olla anaerobinen, lämpötilan tasainen, pH-arvon sopiva ja ravinteiden saanti optimaalinen.

Biokaasun muodostuminen biomassasta voidaan jakaa neljään osaan, jotka ovat liukoistuminen, happokäyminen, etikkahappokäyminen ja metaanikäyminen. Kuvassa 2.1 on esitetty biokaasun muodostumisen eri vaiheet. Jokaisessa vaiheessa toimii oma pieneliöryhmä.



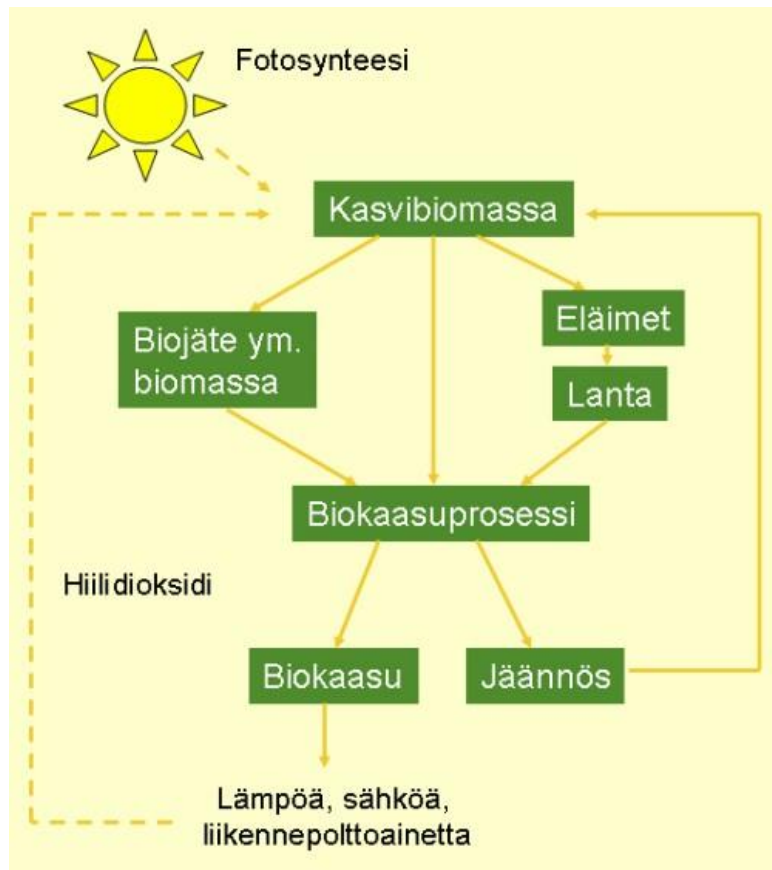
Kuva 2.1 Biokaasun muodostumisen eri vaiheet. (Motiva 2013)

Liukoistumisvaiheessa pieneliöt erittävät entsyymejä, jotka pilkkovat mädätettävän aineen kiinteät hiilihydraatit, valkuaisaineet ja rasvat yksinkertaisemmiksi veteen liukeneviksi yhdisteiksi kuten sokereiksi, rasvahapoiksi ja aminohapoiksi. Liukoistumisvaiheen jälkeen liuenneet aineet hajoavat yksinkertaisemmiksi rasvahapoiksi ja edelleen etikkahapoksi ja hiilidioksidiksi. Tätä vaihetta kutsutaan happokäymiseksi. Metaani muodostuu etikkahaposta sekä hajoamisen sivutuotteina syntyneistä vedystä ja hiilidioksidista. Prosessin eri vaiheet eivät ole erillisiä, vaikka jokaisessa vaiheessa toimii eri pieneliöryhmä, vaan ne tapahtuvat samanaikaisesti. (Motiva 2013)

## 2.1 Biokaasun tuotantoketju

Biokaasu on uusiutuva ja kotimainen energiamuoto. Biokaasu voidaan luokitella hiilidioksidineutraaliksi polttoaineeksi, eikä se periaatteessa lisää ilmamehän nettokasvihuonekaasupitoisuutta. Fotosynteesissä kasvit sitovat auringonvalon avulla ilmamehän hiilidioksidia kasvibiomassaan. Kasvibiomassa käytetään ravintona, jolloin eläinten lanta tai muu biojäte voidaan käyttää biokaasun valmistusprosessissa. Kasveja voidaan kasvattaa myös suoraan biokaasun raaka-aineeksi. Biokaasun palaessa hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmamehään. Kuvassa 2.2 on esitetty biokaasun tuotantoketju. (Lehtomäki 2007)





Kuva 2.2 Biokaasun tuotantoketju. (Lehtomäki 2007)

Biokaasuprosessin jäännös eli käsitelty biomassa on monilta lannoiteominaisuuksiltaan parempaa kuin raakalanta. Sen tyyppiyhdisteet ovat kasveille paremmin hyödynnettävässä muodossa, haju on miedompi ja taudinaiheuttajia on vähemmän. Mädätysjäännös voidaan erotella kiinteään ja nestemäiseen osaan, jolloin saadaan fosforipitoista kiinteää lannoitetta ja typpipitoista nestemäistä lannoitetta. (Motiva 2013)

## 2.2 Biokaasun käyttö Suomessa ja tuotanto verrattuna Saksaan

Biokaasua käytetään Suomessa lämmitykseen, sähköntuotantoon, sekä liikennepolttoaineena. Hallikohteiden tilalämmitys voidaan toteuttaa biokaasutoimisilla ilmalämmittimillä. Kiinteistöjen lämmitykseen biokaasua voidaan käyttää kondenssikattilan avulla ja avotiloja kuten terasseja voidaan lämmittää biokaasulla toimivilla säteilylämmittimillä. Teollisuudessa säteilylämmittimiä voidaan käyttää esim. hitsauspisteen lämmitykseen, kuivaukseen, sulatukseen ja esilämmitykseen. Suomessa yli 300 ravintolaa käyttää kaasua ruoanlaittoon, joista biokaasua käyttävän voi tunnistaa biokaasumerkistä (kuva 2.3). Lämmityksen ja ruoanlaiton lisäksi kaasua käytetään myös takoiissa sekä julkisivusoihduissa.



Kuva 2.3 Biokaasumerkki, josta tunnistaa biokaasua käyttävän ravintolan. (Gasum 2015)

Suomessa biokaasusta tuotetaan sähköä usein lämmön kanssa yhteistuotannossa. Sähkön ja lämmön yhteistuotannosta käytetään lyhennettä CHP, joka tulee sanoista Combined Heat and Power. Pientuotannossa biokaasu poltetaan yleensä ottomoottorissa, mutta biokaasun hyödyntämiseen voidaan käyttää myös mikroturbiineita sekä diesel- ja stirlingmoottoreita, joista jälkimmäistä ei korkean hintansa ja suuren kokonsa takia juuri käytetä. (Motiva 2013) Suuremmissa laitoksissa, kuten kaatopaikkojen laitoksissa ja usean maatilan yhteis-  
laitoksissa turbiini on kilpailukykyisempi vaihtoehto moottorille kuin pientuotannossa.

Liikennepolttoaineena biokaasua käytetään Suomessa kaasuautoissa ja -traktoreissa maakaasun ohella. Tällä hetkellä Suomessa on 24 julkista kaasuauton tankkausasemaa. Gasumin omistamia asemia on 18, joista voi tankata bio- ja maakaasua. Biokaasua voi tankata Joutsan Ekokaasun asemalta Joutsassa, Jepuan Biokaasun asemalta Jepualla, St1:n asemalta Haminassa, St1:n asemalta Mäntsälässä, Envor Biotechnin asemalta Forssassa ja Metener Oy:n tankkausasemalta Laukaassa. (Gasum 2015)

Suomessa biokaasulla tuotettu energia on vähäistä. Vuonna 2013 Suomessa oli yhdyskuntien jätevesipuhdistamoilla 16 biokaasureaktorilaitosta, teollisuuden jätevesipuhdistamoilla kolme, maatiloilla 12 biokaasulaitosta ja kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsiteltiin 11 laitoksessa. Näiden lisäksi biokaasua kerättiin talteen 40 kaatopaikkalaitokselta. Yhteensä nämä laitokset tuottivat 151,3 GWh sähköä ja 404,4 GWh lämpöä. Vuonna 2013 biokaasulla tuotettu kokonaisenergiämäärä 555,7 GWh oli noin 0,5 % Suomessa tuotetusta uusiutuvan energian kokonaisenergiämäärästä ja noin 0,1 % energian kokonaiskulutuksesta. Biokaasulla tuotetun sähkön osuus sähkön kokonaiskulutuksesta oli noin 0,2 % vuonna 2013. (Huttunen 2013)

Saksassa biokaasulaitoksilla tuotetaan merkittävä osa energiasta. Vuoden 2012 lopussa Saksassa oli asennettua biokaasukapasiteettia sähkötehona mitattaessa 3,3 GW edestä ja laitoksia yli 7 500. Vuonna 2012 Saksan biokaasulaitokset tuottivat 23 TWh sähköä, joka oli noin 4,5 % Saksan kokonaissähkönkulutuksesta. (German Energy Agency 2014) Sak-

san korkea asema biokaasun ja muiden uusiutuvien energiamuotojen alalla on seurausta kannustavasta tukipolitiikasta.

### 3. BIOKAASULAITOS

Biokaasua voidaan tuottaa maatilalla usean tilan yhteislaitoksissa tai tilakohtaisissa laitoksissa. Tilakohtainen laitos voi hankkia biomassaa myös tilan ulkopuolelta. Tässä työssä keskitytään tilakohtaiseen laitokseen, joka käyttää vain omaa biomassaa.

#### 3.1 Biokaasun raaka-aineet tilalla

Tarkasteltavalla nautatilalla on liha- sekä lypsykarjaa. Lypsykarjan lietettä saadaan noin 1 000 m<sup>3</sup> ja lihakarjan kuivikelantaa noin 2 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Kuivikkeena käytetään noin 600 m<sup>3</sup> turvetta ja 650 m<sup>3</sup> olkia vuodessa. Vuosina 2006 ja 2011 tilalla otettujen lantanäytteiden perusteella tiedetään lietteen ja kuivikelannan kuiva-ainepitoisuudet, jotka ovat keskimäärin 5,5 % lietelannalle ja 26,5 % kuivikelannalle. Liitteessä I on esitetty yksi kuiva-ainepitoisuuden laskentaan käytetyistä lanta-analyyseista, joiden perusteella voidaan laskea arvio vuodessa tuotetulle metaanille.

Metaanin saanti on noin 8,8 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> kyseiselle karjalietteelle, jonka kuiva-ainepitoisuus on 5,5 %. Kiinteälle lannalle, jonka kuiva-ainepitoisuus on 26,5 %, metaanin saanti on noin 42,4 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> (Wellinger 2013). Näistä raaka-aineista saadaan vuodessa noin 68 000 m<sup>3</sup> metaania. Yksi kuutiometri metaania sisältää noin 10 kWh energiaa, josta voidaan olettaa, että noin 30 % saadaan muutettua sähköenergiaksi (Motiva 2013). Vuodessa laitos tuottaisi sähköä noin 200 MWh ja sen jatkuva laskennallinen sähköteho olisi noin 23 kW ja lämpöteho CHP-käytössä noin 36 kW. Jatkuva laskennallinen teho tarkoittaa tässä keskimääräistä tehoa, jolla voimalaitos toimii yhtäjaksoisesti 8 760 tuntia vuodessa.

#### 3.2 Metener Oy:n kuivareaktorikonsepti

Märkämädätyksen kuiva-ainepitoisuuden raja on 12 %, joka ylittyy tilan raaka-aineen kohdalla (19,5 %), jolloin on käytettävä kuivämädätyksen menetelmää. Kuvassa 3.1 esitetyn Metener Oy:n kuivareaktorikonsepti mahdollistaa ainakin 30 % kuiva-ainepitoisuuden reaktorissa. Reaktori ei lisää juurikaan työtaakkaa maatilalla, koska kuivalanta kuormataan suoraan reaktoriin. Reaktorin täytyttyä se suljetaan ja annetaan olla sekoittamatta useamman kuukauden. Käymisjäännös voidaan poistaa esim. kaksi kertaa vuodessa syys- ja kevätlanoituksen yhteydessä.



Kuva 3.1 Metener Oy:n kuivareaktorikonsepti. (Metener Oy)

### 3.3 Kannattavuuden arviointi

Investoinnin kannattavuutta voidaan tarkastella jakamalla kertaluonteinen investointikustannus vuosikustannuksiksi eli annuiteeteiksi annuiteetikertoimen avulla. Annuiteettimenetelmässä pääoma maksetaan samansuuruisina vuosimaksuina takaisin  $n$  vuoden kuluessa. Annuiteetin suuruus  $A$  lasketaan yhtälöllä (3.1)

$$A = I * \varepsilon \quad (3.1)$$

jossa  $I$  on investoinnin suuruus ja  $\varepsilon$  annuiteettikerroin. Annuiteettikerroin saadaan yhtälöstä (3.2)

$$\varepsilon = \frac{p/100}{1 - \frac{1}{(1+p/100)^t}} \quad (3.2)$$

jossa  $p$  on korko ja  $t$  laitoksen pitoaika. Investoinnin annuiteettia verrataan laitoksesta saaviin vuosittaisiin säästöihin ja jos säästöt ovat suuremmat kuin annuiteetti, niin investointi on kannattava. Vuotuiset säästöt muodostuvat sähkön myyntituotoista sekä polttopuun ja sähkön ostokustannuksista nykyisellään, joista vähennetään laitoksen käyttö- ja huoltokustannukset. (Ranta 2015)

Laitoksen kannattavuutta tarkasteltaessa käytetään Metener Oy:n hinta-arvion mukaisia komponenttien hintoja, jotka ovat esitettyinä taulukossa 3.1 ja Metener Oy:n arviota kaasun energiasisällöstä 630 MWh vuodessa. Viiden prosentin korkotasolla, 20 vuoden tarkastelu-

ajalla ja 80 000 € suoralla tuella saadaan investoinnin annuiteetiksi noin 23 600 €.

Taulukko 3.1 Metenr Oy:n hinta-arvio.

Komponentti	Hinta-arvio [€]	Hinta sisältää
Kuivareaktorit 2kpl á 750m <sup>3</sup>	230 000	Materiaalit, tarvikkeet, laitteet, rakennus- ja asennustyö, kaasun käsittely.
Nestereaktori 1 kpl 150 m <sup>3</sup>	40 000	Käytetty terässäiliö. Laitteistus.
Suunnittelu	20 000	Suunnittelu, luvitusten konsultointi, proj.hallinta, käyttökoulutus
Maanrakennus	20 000	Kaivuutyöt, maa-aines.
CHP-yksikkö	55 000	Sähköteho 30 kW
Kattila ja poltin	9 000	Kattila, hormi, poltin
<b>Yhteensä</b>	<b>374 000</b>	

### 3.3.1 Voimalaitoksesta saatavat säästöt ja aiheutuvat kulut

Suurin osa voimalaitoksesta saatavista säästöistä muodostuu siitä, ettei sähköä tarvitse ostaa ja ylijäämä voidaan myydä verkkoon. Tilan sähkönkulutus on noin 80 MWh vuodessa ja biokaasulaitoksella voitaisiin tuottaa noin 200 MWh sähköä vuodessa. Tilan sähkönkulutus laskee noin 10 MWh vuodessa, kun sähkölämmitys korvataan laitoksesta saatavalla lämpöenergialla.

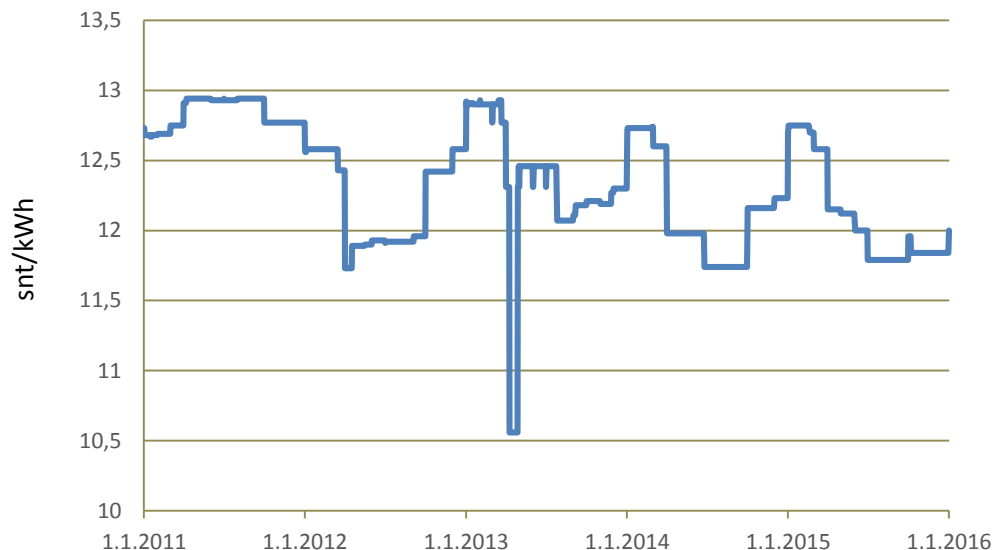
Myydystä sähköstä saadaan oletetulla 4 snt/kWh myyntihinnalla noin 5 200 € tuotto vuodessa, kun hinnasta vähennetään tuotannon siirtotariffi 0,07 snt/kWh. Suurempi säästö saadaan ostamatta jääneestä sähköstä, josta saadaan nykyisen sähkösopimuksen hinnoilla noin 9 300 €:n säästö vuodessa. Säästöjä saadaan myös polttopuista noin 1 500 € vuodessa, kun tila lämmitetään laitoksesta saatavalla lämpöenergialla puu- ja sähkölämmityksen sijaan. Yhteensä säästöjä sähkön ostosta, polttopuista sekä sähkön myynti tuotoista saadaan noin 16 000 € vuodessa.

Voimalaitoksesta aiheutuvia kuluja ovat käyttö- ja huoltokustannukset. Käyttökustannuksiin lasketaan sähköntuotannon kustannukset noin 2 000 € vuodessa. Laitteiden ja koneiden huollosta aiheutuu noin 1 300 €:n kustannukset vuodessa, joka on 2 % laitteiden investointikustannuksista. Yhteensä käyttö- ja huoltokustannukset ovat noin 3 300 €.

Laitoksesta saadaan yhteensä noin 12 700 €:n säästöt vuodessa, joka jää huomattavasti investoinnin annuiteetista 23 600 €. Täten investointi ei ole kannattava, eikä investoinnista saada kannattavaa, vaikka annuiteetti laskettaisiin 30 tai 40 vuoden pitoajalle samalla korotasolla. Investoinnista saataisiin kuitenkin kannattava, jos projektiin saataisiin teoreetti-

nen maksimituki 136 300 € ja toinen kuivareaktori rakennettaisiin vanhasta lantavarastosta, jolloin saataisiin pienemmät investointikustannukset. Käytännössä edellä mainitun suuruista tukea ei kuitenkaan myönnetä, eivätkä tilan nykyiset lantavarastot sovellu suoraan kuivareaktoreiksi.

Laitoksesta saataisiin kannattava, jos sähkön myynnille saataisiin vähintään 12,5 snt/kWh syöttötariffi, mutta maatilakohtaisille pienille biokaasulaitoksille ei ole tällä hetkellä syöttötariffia. Jos sähkön hinta nousisi 5 snt/kWh, laitos olisi kannattava, mutta viimeisen viiden vuoden ajalta tarkasteltuna sähkön hinta ei ole nousussa, kuten kuvasta 3.2 nähdään. Kuvassa 3.2 on esitettyä osoitteesta [www.sahkonhinta.fi](http://www.sahkonhinta.fi) saatavasta energiaviraston hintatilastot palvelusta saadut verolliset nimelliset sähkön toimitusvelvollisuushinnat 35 MWh vuodessa sähköä kuluttavalle maatilalle Etelä-Suomessa.



Kuva 3.2 Verolliset nimelliset sähkön kokonaishinnat maatilalle Etelä-Suomessa vuosina 2011 - 2016.

Tällä hetkellä tämän kokoisen biokaasulaitoksen rakentaminen tämän kokoluokan maatilalle, joka ei ole lähellä maakaasuverkkoa tai asutuskeskuksia ja jossa hyödynnetään vain omaa biojätettä, ei ole kannattavaa.

### 3.4 Tilan energiaomavaraisuus

Tilan sähkönkulutuksesta on olemassa dataa vuoden 2012 alusta lähtien. Sähkön vuosikulutus vaihtelee 95 ja 75 MWh välillä ja tehohuippu on ollut 29 kW tammikuussa 2012. Lämmönkulutus tilalla on hyvin pieni verrattuna CHP-laitoksen lämmöntuotantopotentiaaliin 250 MWh/a, jolloin suuri osa laitoksen lämpötehosta jää hyödyntämättä. Tilan sähkönkulutus pienenee CHP-laitoksen myötä, koska suuri osa lämmöstä tuotetaan nykyisellään

varaavalla sähkölämmityksellä ja lisäksi varaavan sähkölämmityksen rinnalla on puulämmitys. Varaavan sähkölämmityksen huipputeho on 13,3 kW, joka on lähes puolet koko huipputehosta. Jos varaavan sähkölämmityksen ohella myös eläinten vesikuppien sähkövastusten ja muun suoran sähkölämmityksen sijaan hyödynnetään laitoksen lämpöä, saadaan tilan sähkönkulutuksen huipputeho alle puoleen aikaisemmasta.

Laitoksen myötä tilasta tulisi omavarainen sähkön ja lämmön suhteen. Ylijäämä sähköstä voidaan myydä verkkoon. Suoraa kaasun myyntiä rajoittaa alueelta puuttuva kaasuverkko ja vähäinen asutus. Lämpöä ei kannata myydä suurten häviöiden takia.

### **3.5 Saatavissa olevat tuet**

Biokaasu on uusiutuva energialähde, jonka tuotantoa valtio tukee Suomessa. Sitä tuetaan kolmella eri tukiratkaisulla: Energiamarkkinaviraston hallinnoimalla syöttötariffilla, työ- ja elinkeinoministeriön alaisella investointituella sekä maa- ja metsätalousministeriön hallinnoimalla maatilan rakennusinvestointien tuella.

Syöttötariffijärjestelmä edellyttää uutta laitosta, jonka generaattoreiden nimellisteho on vähintään 100 kVA. Esimerkkitalalla ei ole mahdollisuuksia päästä nykyisen syöttötariffijärjestelmän piiriin, ellei laitostekoa moninkertaisteta ja suurinta osaa biomassasta tuoda muualta. Investointituki on toinen tukimuoto, joka on suuruudeltaan 8 – 30 % investoinnin hyväksyttävistä kuluista. Investointitukea on mahdollista saada laitoksille, jotka eivät täytä syöttötariffin kriteereitä, mutta tämän tuen piiriin ei lasketa maatilojen biokaasulaitoksia.

Maatilojen rakennusinvestointien tuki on tarkoitettu maatiloille tai tilojen yhteenliittymille, jotka tuottavat energiaa omaan käyttöön. Tukea on mahdollista saada enimmillään 800 €/kW nimellislämpötehon ja 4 300 €/kW nimellissähkötehon mukaan. Suurinta tukea ei voi saada suoraan tukena vaan tuki on jaettu suoraan tukeen ja lainajärjestelyihin. (Åkerlund 2014)

### **3.6 Tarvittavat luvat**

Biokaasun tuotanto voi puutteellisissa olosuhteissa olla vaaraksi ympäristölle. Tämän takia biokaasulaitoksen perustaminen vaatii useita lupia ja hyväksyntöjä, joilla pyritään minimoimaan laitoksen ympäristöhaitat ja varmistamaan laitoksen turvallisuus.

Maatilojen biokaasulaitokset tarvitsevat ympäristönsuojelulain 527/2014 ja ympäristönsuojeluasetuksen 4.9.2014/713 mukaisen ympäristöluvan. Maatilakokoluokan biokaasulaitoksille ympäristölupaviranomainen on yleensä joko kunta tai aluehallintovirasto. Lupaviran-



omainen määräytyy laitoksen ja maatilán suuruuden mukaan. Ympäristölupahakemus kannattaa laittaa vireille ajoissa ennen biokaasulaitoksen käyttöönottoa, koska laitoksen toiminnan saa aloittaa vasta lupapäätöksen lainvoimaisuuden jälkeen, ellei siihen anneta lupaa ympäristönsuojelulaissa määriteltyjen syiden takia. Hakemuslomakkeet ja täyttöohjeet voi hakea ympäristöviranomaisilta tai ympäristöhallinnon internet-sivuilta [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi).

Jos biokaasulaitoksessa käsitellään yli 20 000 tonnia jätettä vuodessa, on siitä tehtävä ympäristövaikutusten arviointi eli YVA. YVA on tehtävä ennen ympäristölupahakemusta ja myös YVA kannattaa laatia ajoissa, koska sen käsittelyssä saattaa kestää yli 12 kuukautta. (Heikkinen 2012)

Eviralle on tehtävä elinkeinoilmoitus, kun käsitellään ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä saatuja tuotteita, joita ei käytetä elintarvikkeena tai sen raaka-aineena. Ilmoitus täytyy tehdä myös käsiteltäessä tilan ulkopuolisia maatalousjätteitä, ympäristöluvan alaisia jätteitä, yhdyskuntajätevesilietettä, teollisuuslietteitä tai vastaavia ulkopuolisia jätteitä ja jos lopputuotteena saatava lannoitevalmiste saatetaan markkinoille. (Heikkinen 2012)

Eviralta haetaan myös laitoshyväksyntä, jos lannoitetta valmistetaan kaupalliseen käyttöön. Lannoitteen valmistaminen omaan käyttöön tarvitsee hyväksynnän vain, jos käytetään ihmisravinnoksi hyväksytyyn eläimen teurasjätettä tai tilan ulkopuolista asumisjätevettä. (Heikkinen 2012)

Maatilan biokaasulaitosta varten tulee laatia räjähdyssuojausasiakirja, koska biokaasu on räjähdysherkkää 20 °C lämpötilassa jo 5 – 15 % pitoisuutena ilmassa. Pelastussuunnitelmaa tulee täydentää biokaasulaitoksen myötä ja pelastusviranomaisille on ilmoitettava, jos biokaasua on yli 0,2 tonnia tai jos muita vaarallisia kemikaaleja on yli ilmoitusvelvollisuusrajan. Raja-arvot eri kemikaaleille löytyvät valtioneuvoston asetuksesta vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 855/2012. (Heikkinen 2012)

Rakennus- tai toimenpidelupa on kaupungin tai kunnan rakennusvalvonnan kautta haettava lupa, jonka liitteeksi tarvitaan laitoksen rakennepiirustukset. Rakennuslain mukainen loppukatselmus tulee tehdä laitoksen valmistuttua ja ennen sen käyttöönottoa. Poikkeustapauksissa laitos voidaan hyväksyä käyttöön ennen loppukatselmusta. (Heikkinen 2012)

Biokaasulaitoksen generaattori liitetään sähköverkkoon generaattorin tahdistamiseksi, vaikka sähköä ei siirrettäisi verkkoon. Verkkoon liittymisestä tulee sopia verkonhaltijan

kanssa. Sähköä tuottavan ja myyvän tilan tulee tarkistaa tai tehdä liittymäsopimus, verkkosopimus ja myyntisopimus. (Taavitsainen 2006)

## 4. AURINKOENERGIA

Auringon säteilyn energiaa voidaan hyödyntää passiivisesti ilman erillisiä laitteita sekä aktiivisesti aurinkokeräimillä ja aurinkopaneeleilla. Passiivisesti aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää rakennuksen sijoittamisella niin, että auringon säteily lämmittää rakennusta mahdollisimman paljon ja rakennus on samalla tuulen suojassa. Yksinkertaisin passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiskeino on käyttää luonnonvaloa keinovalon sijaan. Aktiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä säteily voidaan muuttaa joko lämmöksi aurinkokeräimellä tai sähköksi aurinkopaneeleilla. (Motiva 2015a)

### 4.1 Aurinkopaneelit

Suurin osa käytössä olevista aurinkopaneeleista on valmistettu piistä (Si). Piitä käytetään paneeleissa yksi- ja monikiteisenä sekä amorfisessa muodossa. Yksikiteiset piikennot valmistetaan pyöreistä piikiekoista sahaamalla ohuita siivuja. Raaka-aine on kallista, joten pyöreistä kiekkoista ei kannata valmistaa neliskulmaisia. Tästä johtuen yksikiteisissä paneeleissa on aukot kennojen kulmissa, kuten kuvasta 4.1 nähdään. Monikiteiset kennot voidaan tehdä neliskulmaisista aihioista, jolloin materiaali saadaan hyödynnettyä tehokkaammin. Amorfisesta piistä saadaan taipuisia ja halvempia kennoja, mutta niiden hyötysuhde on heikompi kuin kiteisestä piistä valmistetuilla kennoilla. Yksi- ja monikiteisistä piikennosta valmistetut paneelit ovat paremman hyötysuhteensa takia suosituimpia paneeliratkaisuja. (Suntekno 2015)

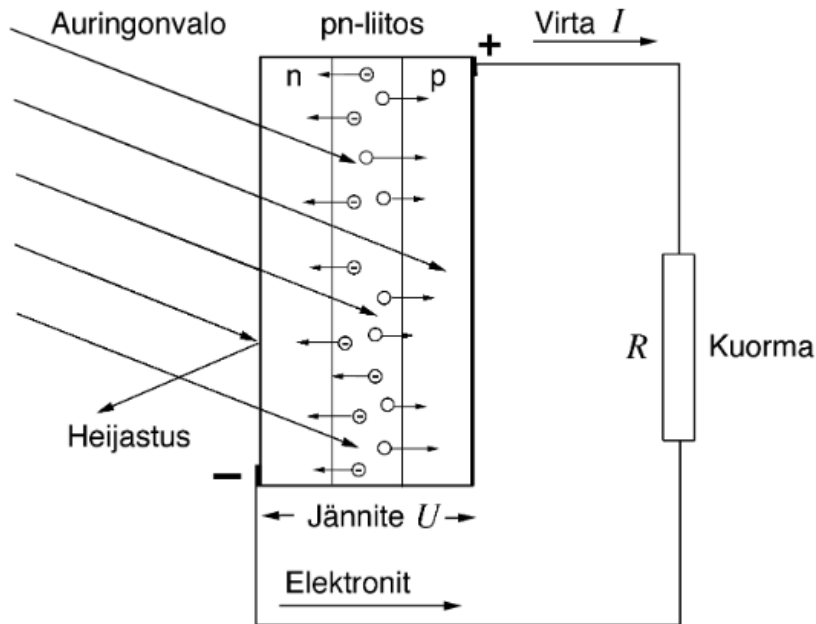


Kuva 4.1 Vasemmalla monikiteinen piikkenno ja oikealla yksikiteinen piikkenno. (Siliconsolar 2015)

Piikidekennojen teoreettinen paras mahdollinen hyötysuhde on 31 %. Hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. metallijohteiden liitokset paneelien pinnalla, resistanssi ja heijastukset paneelin päällä olevasta lasista. (Suntekno 2015) Parhaimmilla piikidepaneeleilla päästään yli 25 % hyötysuhteeseen. (MIT 2014)

#### 4.1.1 Aurinkokennon toimintaperiaate

Aurinkokennossa auringonvalo muuttuu suoraan sähköksi valosähköisen ilmiön mukaan. Kennossa on yhdistetty kaksi erilaista puolijohdemateriaalia p- ja n-tyyppin puolijohde. P-tyyppin puolijohde valmistetaan seostamalla piitä boorilla (B), jolloin voidaan ajatella puolijohdeeseen jäävän positiivisesti varautuneita aukkoja. N-tyyppin puolijohde valmistetaan puolestaan seostamalla piitä fosforilla (P), jolloin puolijohdeeseen jää ylimääräisiä elektroneita. Kun fotoneilla eli auringonvalon hiukkasilla on riittävästi energiaa, ne pääsevät pintakerroksen läpi puolijohdemateriaalien rajapintaan. Fotonin osuessa p-tyyppin puolijohdeeseen se luovuttaa energiansa elektronille, joka siirtyy n-puolelle. Fotonin osuessa n-tyyppin puolijohdeeseen voidaan ajatella aukon siirtyvän n-puolelta p-puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän takia elektronit voivat liikkua vain tiettyyn suuntaan. Kun valaistun puolijohdemateriaalin p- ja n-puoli liitetään sähköpiiriin (kuva 4.2), se toimii piirin jännitelähteenä. (Suntekno 2015)

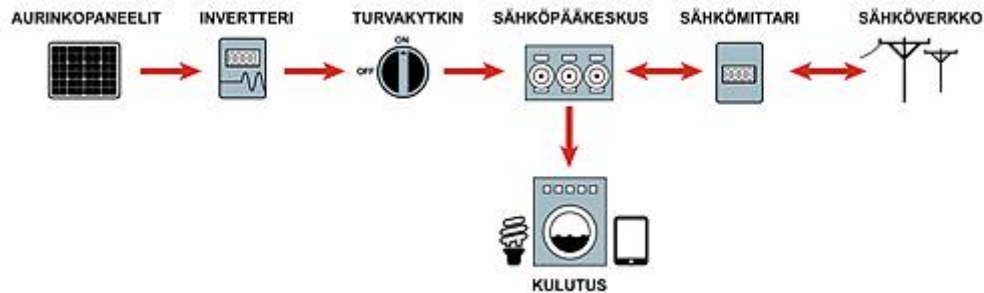


Kuva 4.2 Aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Suntekno 2015)

#### 4.2 Vaihtosuuntaaja

Aurinkosähköpaneelit tuottavat tasavirtaa, jonka takia aurinkosähköjärjestelmään tarvitaan vaihtosuuntaaja eli invertteri, jos järjestelmä aiotaan kytkeä perinteiseen vaihtosähköjaka-luverkkoon. Vaihtosuuntaaja muuttaa paneeleista saatavan tasavirran 50 Hz:n vaihtovirraksi ja tahdistuu jakeluverkon avulla. Aurinkosähköjärjestelmän pitää irrota verkosta jakeluverkon sähkötoimituksen katkettua, jottei jakeluverkosta eroa sähköntuotantolaitoksen syöttämää saarekettä (VTT 2009). Vaihtosuuntaaja tulee pystyä erottamaan myös tasavirtapuoletta.

Invertterit voidaan sijoittaa vapaasti, joko paneelien läheisyyteen, lähelle pääkeskusta tai niiden välille. Komponenttien sijoittelussa kannattaa pyrkiä minimoimaan kaapelin pituus, jolloin voidaan säästää kustannuksissa. Vaihtosuuntaaja voidaan kytkeä yksi- tai kolmivaiheisesti. Tyypillisesti pienet alle 4 kWp:n järjestelmät kytketään yksivaiheisesti. Kuvassa 4.3 on esitetty periaate verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän komponenteista ja liitteessä II on standardissa SFS 6000-7-712 esitetty valosähköisen järjestelmän yleiskaavio. (ST kortisto 2009)



Kuva 4.3 Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanon periaate. (Motiva 2014)

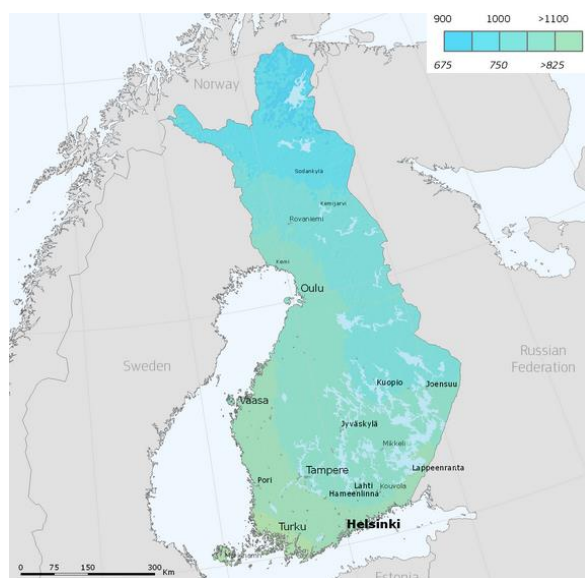
### 4.3 Auringonsäteilyn määrä Suomessa

Auringonsäteily koostuu sekä suoraan auringosta tulevasta säteilystä että hajasäteilystä. Hajasäteily on pilvistä, ilmakehästä tai maan pinnasta heijastuvaa säteilyä. Aurinkopaneelien kannalta suora- ja hajasäteily ovat yhtä käyttökelpoisia. Suomessa hajasäteilyn osuus on merkittävä, minkä takia keskittävät aurinkosäteilyjärjestelmät ja aurinkoa seuraavat järjestelmät eivät ole taloudellisesti kannattavia. Nämä järjestelmät perustuvat suoran säteilyn tehokkaaseen hyödyntämiseen. Etelä-Suomessa jopa puolet vuoden säteilystä on hajasäteilyä.

Aurinkopaneelien kallistaminen ja sijoittelu vaikuttavat paneeleille tulevan kokonaissäteilyn määrään. Hetkellisesti kallistetuille paneeleille tuleva kokonaissäteily voi kasvaa jopa 20 % lumesta, kiiltävistä kattopinnoista tai vedestä heijastuvasta hajasäteilystä. Vuositasolla pinnoilta heijastuvan säteilyn osuus on kuitenkin marginaalinen, tavallisesti vain muutaman prosentin luokkaa. Sen sijaan paneelien kallistaminen esim. 45 asteen kulmaan etelään päin kasvattaa vuositasolla kokonaissäteilyn määrää noin 20 - 30 % verrattuna vaakasuoraan asennukseen (kuvat 4.4 ja 4.5). (Motiva 2015b)



Kuva 4.4 Vuotuinen auringon säteily määrä [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ] ja 1 kW nimellistehoisen aurinkosähköjärjestelmän tuottama energian määrä [ $\text{kWh}/\text{kW}_p$ ] 75 % kokonaishyötysuhteella vaakasuoralle pinnalle Suomessa. (PVGIS 2015)

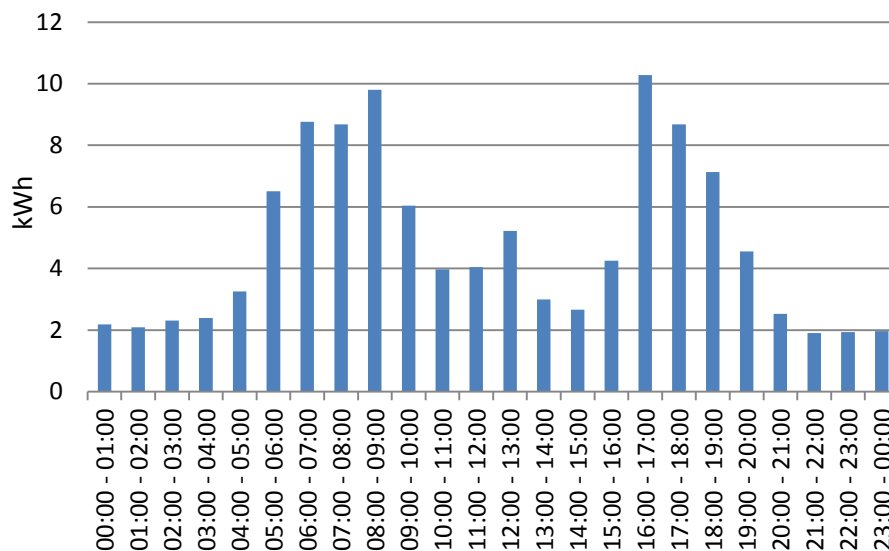


Kuva 4.5 Vuotuinen auringon säteily määrä [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ] ja 1 kW nimellistehoisen aurinkosähköjärjestelmän tuottama energian määrä [ $\text{kWh}/\text{kW}_p$ ] 75 % kokonaishyötysuhteella optimaalisesti suunnatulle ja kallistetulle pinnalle Suomessa. (PVGIS 2015)

#### 4.4 Paneelien suuntaamisen vaikutus

Tilan sähkönkulutus jakautuu kesäkuukausina pääosin kahteen kulutushuippuun: aamuun klo 5:00 – 10:00 ja iltaan klo 16:00 – 19:00. Kulutushuiput johtuvat aamu- ja iltalypsystä. Aurinkosähköjärjestelmän mitoittamisen kannalta kulutusprofiili on haastava, koska paneeleista saatava teho on suurimmillaan kulutushuippujen välissä. Kuvassa 4.6 on kesäpäivän

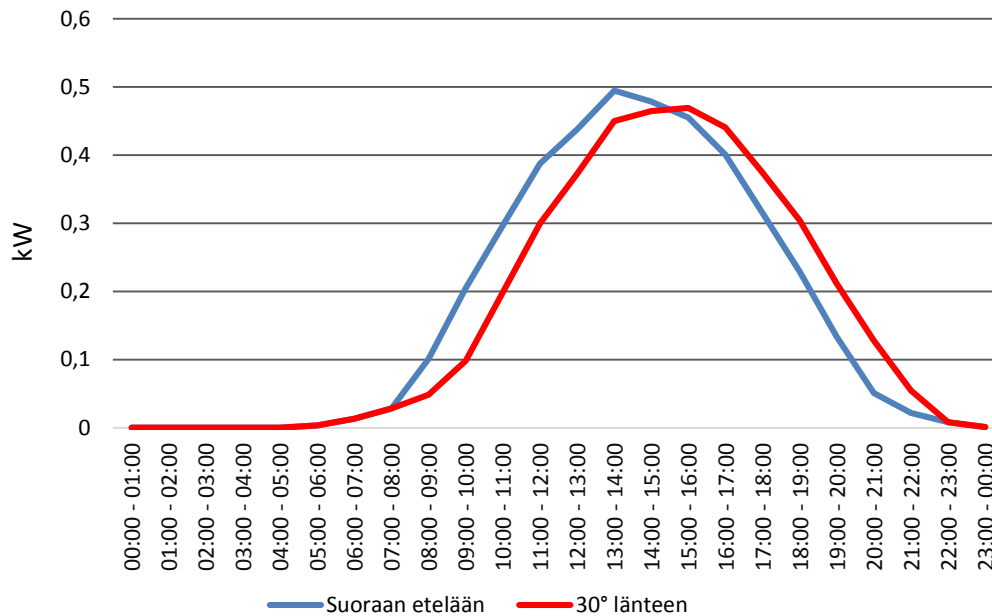
sähkönkulutuksen keskiarvo tunneittain yhdeltä tyypilliseltä kesäviikolta (20.–26.7.2015). Keskiarvo on laskettu vain yhdeltä viikolta, koska viikko on pisin aikaväli, jolle sähköverkkoyhtiö tarjoaa palvelussaan tuntikohtaisia kulutustietoja.



Kuva 4.6 Sähkönkulutuksen jakautuminen tunneittain tyypillisenä kesäpäivänä.

Kuvassa 4.7 on verrattu teholtaan yhden kilowatin aurinkopaneelien tuottamaa tehoa päivän aikana suoraan etelään ja 30 astetta etelästä länteen suunnatuille paneeleille. Kuvan 4.7 tulokset on saatu simuloimalla HOMER-ohjelmistolla paneelien tuottama teho huhtikuusta syyskuuhun maatilalla ja laskemalla jokaiselle vuorokauden tunnille keskiarvo.

Suuntaamalla paneelit 30 astetta etelästä länteen saadaan hyödynnettyä iltaurinko tehokkaammin ja paneeleista saatava teho osuu paremmin illan kulutushuipun kohdalle. Tällöin paneelien tuottama kokonaisenergiamäärä vuodessa laskee kuitenkin noin 2,5 % verrattuna suoraan etelään suunnattuihin paneeleihin PVGIS:n (Photovoltaic Geographical Information System) laskurin antamien energiantuotantoennusteiden mukaan.



Kuva 4.7 Keskiarvo 1 kW:n aurinkopaneelien tuottamasta tehosta suoraan etelään ja etelästä 30° länteen suunnatuille paneeleille.

#### 4.5 Kannattavuuden arviointi

Tarkastellaan huipputeholtaan 1,5 – 10,6 kW aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta asennettuna sekä suoraan etelään 41 asteen kallistuskulmassa että käännettynä 30 astetta länteen etelästä ja 40 asteen kallistuskulmassa. Optimaaliset kallistuskulmat ja vuotuinen energiantuotto oletetulla 14 % systeemihäviöillä saadaan PVGIS:n laskurilla. Sähkön hankintahintana käytetään nykyisen sähkösopimuksen mukaista sähkönhintaa ja oletetaan, että myydystä sähköstä saadaan 4 snt/kWh, josta täytyy vähentää tuotannonsiirtotariffi 0,07 snt/kWh.

Arvioidaan aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta annuiteettimenetelmän avulla, jota on käsitelty kappaleessa 3.3. Oletetaan järjestelmän käyttöikäksi 20 vuotta. Tyypillisesti valmistaja antaa aurinkopaneeleille tehotakuun, joka takaa vähintään 90 % valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta kymmenen vuoden ajalle ja 80 % nimellistehosta 25 vuoden ajalle. (Motiva 2015c) Kannattavuuslaskelmissa ei oteta huomioon paneelien tehontuoton laskua.

Aurinkosähköjärjestelmän hinta arvioidaan vertailemalla kotimaisten toimittajien (Areva Solar, Fortum ja Solareon) aurinkosähköpakettien hintoja ja arvioimalla asennuksen kustannusten olevan noin 1 000 €. Paneelien suuntausvaihtoehdoista 30 astetta länteen käännetty paneelit ovat kannattavuuslaskelmien mukaan kannattavampia, mutta molemmat vaihtoehdot ovat kuitenkin tappiollisia laskelmien oletuksilla. 20 vuoden tarkasteluajalla ja 5 %



korolla 2,12 kW:n järjestelmä on vähiten tappiollisin ja 30 % investointituella 5,3 kW:n järjestelmä. Taulukossa 4.1 on esitetty 30 astetta etelästä länteen suunnattujen aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuden vertailua ilman investointitukea. Sähkön hinta taulukossa 4.1 saadaan laskettua painotettuna keskiarvona myytävän- ja kulutettavan sähkön suhteen tilan nykyisen sähkösopimuksen sähkön hinnan ja sähköenergian myyntihinnan avulla.

Taulukko 4.1 Erisuuruisten aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuden vertailu.

<b>Teho</b>	<b>Investointi sis. ALV[€]</b>	<b>Energian tuotto vuodessa[kWh]</b>	<b>Sähkön hinta [€/kWh]</b>	<b>Säästö vuodessa [€/a]</b>	<b>Annuiteetti [€/a]</b>	<b>Erotus [€]</b>
<b>1,50 kW</b>	4400	1160	0,1167	135,34	353,07	-217,73
<b>2,12 kW</b>	5000	1650	0,1167	192,51	401,21	-208,71
<b>3,18 kW</b>	6200	2470	0,1167	288,18	497,50	-209,33
<b>3,71 kW</b>	6800	2880	0,1167	336,01	545,65	-209,64
<b>5,30 kW</b>	9000	4110	0,1128	463,62	722,18	-258,56
<b>6,36 kW</b>	10500	4940	0,1089	538,13	842,55	-304,41
<b>7,42 kW</b>	11800	5760	0,1051	605,18	946,86	-341,69
<b>8,48 kW</b>	13000	6580	0,1012	665,88	1043,15	-377,28
<b>9,54 kW</b>	14500	7410	0,0973	721,20	1163,52	-442,31
<b>10,60 kW</b>	16000	8230	0,0935	769,17	1283,88	-514,71

Ilman tukea investointi on edelleen tappiollinen, vaikka annuiteetti laskettaisiin 30 vuoden pitoajalle. Jos kuitenkin aurinkosähköjärjestelmä hankitaan ilman lainarahaa, kannattavimmat järjestelmät ovat länteen päin suunnatut ja 5,30 – 8,48 kW:n suuruiset, joiden takaisinmaksuajaksi saadaan 20 vuotta. Tällä takaisinmaksuajalla investoinnin voidaan katsoa olevan kannattava olettaen, että järjestelmän käyttöikä on yli 20 vuotta.

TEM (Työ- ja elinkeinoministeriö) myöntää energiatukea ilmasto- ja ympäristömyönteisiin hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä, energiansäästöä, energian tuotannon tai käytön tehostamista, taikka vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja. Aurinkosähköhankkeille on mahdollista hakea 30 % investointitukea. Nykyinen asetus, joka on voimassa 31.12.2017 asti kuitenkin rajaa pois tuen piiristä asunto-osakeyhtiöt, asuinkiinteistöt, valtionosuutta saavat perustamishankkeet ja maatilat tai niiden yhteyteen toteutettavat hankkeet.

#### 4.6 Aurinkosähkön tuotanto Suomessa ja Saksassa

Suomessa on vuonna 2015 asennettuna arviolta noin 20 MWp aurinkosähköä, joka on 0,2 % Suomen kokonaissähköntuotantokapasiteetista 12 500 MW (Fingrid 2014). Aurinkosähkökapasiteetin arvioissa on mukana sekä sähköverkkoon liitetyt- että verkosta irti olevat voimalat. Suomen suurimmat aurinkosähkövoimalat sijaitsevat Oulussa, Helsingissä,

Salossa ja Lappeenrannassa. (Aurinkoenergiaa 2015) Suomen aurinkosähkön ja -lämmön määristä ei ole toistaiseksi tarkkaa tilastointia vaan markkinakehitystä on arvioitu Aurinkoteknillisen yhdistyksen ja tilastokeskuksen toimesta asiantuntija-arvioiden perusteella. (Tahkokorpi 2014)

Saksassa on vuonna 2014 asennettuna noin 38,1 GWp aurinkosähköä, joka on noin 22 % Saksan asennetusta kokonaissähköntuotantokapasiteetista 172 GW. Saksassa aurinkovoimalla tuotetun sähköenergian määrä on kasvanut yli 22 TWh vuodesta 2004 vuoteen 2013 mennessä. (Fraunhofer ISE 2014)

## 5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Biokaasuvoimalaitoksessa tuotettu sähkö ja aurinkosähkö ovat tuotantovaiheessa hiilidioksidineutraaleita tai -vapaita sähköntuotantomuotoja, jotka soveltuvat voimalaitoskokoluokan lisäksi myös pientuotantoon. Suomessa näiden uusiutuvien energiamuotojen hyödyntäminen on vielä vähäistä verrattuna esimerkiksi uusiutuvia energiamuotoja kannustavasti tukevaan Saksaan.

Biokaasuvoimalaitoksella sähköä ja lämpöä voidaan tuottaa ympäri vuoden, jolloin tila on omavarainen sähkö- ja lämpöenergian suhteen. Aurinkosähkövoimalaitos puolestaan tuottaa sähköä vain silloin kun auringonvalo on saatavilla. Molemmat laitokset tulee liittää sähköverkkoon ylijäämäsihkon myymistä varten. Aurinkosähkövoimalan vahvuuksia biokaasuvoimalaan verrattuna ovat huoltokustannukset. Aurinkovoimala on periaatteessa huoltovapaa, kun taas biokaasuvoimala tarvitsee vuosittain huoltoseisokin laitteiden toimivuuden takaamiseksi.

Tutkituilla voimalaitostyypeillä ja voimalaitosten suuruuksilla voimalaitosinvestoinnin tekeminen nykyisellä tuki- ja sähköenergian hinnan tasolla ei ole kannattavaa tämän työn esimerkkitilalla, mikäli laitos hankitaan lainarahalla. Biokaasuvoimalan kannattavuutta parantaisivat tukien ja sähkön hinnan nousun ohella kaasun- ja lämmön myyntimahdollisuudet, joita esimerkkitilalla ei sijaintinsa vuoksi ole. Aurinkovoimalan kannattavuutta parantaisi puolestaan tukien ja sähkön hinnan ohella paneelien tuotantokäyrää paremmin seuraava kulutus, jolloin suurempi osa tuotetusta sähköstä saataisiin tilan käyttöön ja myyntiin jäisi pienempi osuus sähköstä. Aurinkojärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan 20 vuotta, jos järjestelmä hankitaan ilman lainarahaa. Tällöin voidaan ajatella, että aurinkosähköinvestointi on kannattava.

Työssä arvioidaan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta erikokoisille järjestelmille, mutta biokaasuvoimalaitoksen kannattavuutta arvioidaan vain laituskoolle, joka pystyy käsittelemään kaiken tilan biokaasun raaka-aineen vuodessa. Mahdollisena jatkotutkimuksena kannattavuutta voitaisiin arvioida myös erikokoisille biokaasuvoimalaitoksille. Jatkotutkimuksessa voitaisiin verrata aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta myös muille kuin suoraan etelään ja 30° etelästä länteen suunnatuille paneeleille.

## LÄHTEET

- Aurinkoenergiaa. 2015. Suomessa. [Aurinkoenergiaa www-sivuilla]. [viitattu 10.11.2015] Saatavissa <http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa>
- Biokaasufoorumi. 2014. Tietoa biokaasusta. [Biokaasufoorumin www-sivuilla]. [viitattu 20.9.2014] Saatavissa <http://www.biokaasufoorumi.fi/>
- Fingrid. 2014. Riittääkö sähköä Suomessa?. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.11.2015] Saatavissa [http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Seminaarit/K%C3%A4ytt%C3%B6varmuusp%C3%A4iv%C3%A4/2014/Riittaako%20sahko%C3%A4%20Suomessa\\_Ruusunen.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Seminaarit/K%C3%A4ytt%C3%B6varmuusp%C3%A4iv%C3%A4/2014/Riittaako%20sahko%C3%A4%20Suomessa_Ruusunen.pdf)
- Fraunhofer ISE. 2014. Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2014. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.11.2015] Saatavissa <https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/data-nivc-/stromproduktion-aus-solar-und-windenergie-2014.pdf>
- Gasum Oy. 2015. Tulevaisuuden energiaa jo tänään. [Gasumin www-sivuilla]. [viitattu 1.11.2015] Saatavissa <http://gasum.fi/Kaasutietoutta/Biokaasu/>
- German Energy Agency 2014. Current facts and figures. [verkkodokumentti]. [viitattu 4.10.2014] Saatavissa <http://www.renewables-made-in-germany.com/en/renewables-made-in-germany-start/biogas/biogas/market-development.html>
- Heikkinen, M. 2012. Maatilan biokaasulaitokseen tarvittavat luvat. [verkkodokumentti]. [viitattu 6.10.2014] Saatavissa [http://www.motiva.fi/files/8744/Maatilan\\_biokaasulaitokseen\\_tarvittavat\\_luvat.pdf](http://www.motiva.fi/files/8744/Maatilan_biokaasulaitokseen_tarvittavat_luvat.pdf)
- Huttunen J., M., Kuittinen, V. 2013. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17 [verkkodokumentti]. [viitattu 10.10.2014] Saatavissa <http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasulaitosrekisteri2013.pdf>
- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – Raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85.
- Lindfors, A., Riihelä, A., Aarva, A., Latikka, J., Kotro, J. 2014. Auringonsäteily Helsingin Östersundissa. Ilmatieteen laitos.[verkkodokumentti]. [viitattu 28.1.2016] Saatavissa <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135830/2014nro5.pdf?sequence=1>
- MIT Technology review 2014. Record-Breaking Solar Cell Points the Way to Cheaper Power. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.10.2015] Saatavissa [www.technologyreview.com/news/528351/record-breaking-solar-cell-points-the-way-to-cheaper-power/](http://www.technologyreview.com/news/528351/record-breaking-solar-cell-points-the-way-to-cheaper-power/)
- Motiva Oy 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. [verkkodokumentti]. [viitattu 20.9.2014] Saatavissa [http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun\\_tuotanto\\_maatilalla.pdf](http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf)

Motiva Oy 2014. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. [viitattu 12.1.2016] Saatavissa

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)

Motiva Oy 2015a. Aurinkoenergia. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.10.2015] Saatavissa

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia)

Motiva Oy 2015b. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. [verkkodokumentti]. [viitattu 20.10.2015] Saatavissa

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)

Motiva Oy 2015c. Aurinkosähköjärjestelmän teho. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.10.2015] Saatavissa

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) 2015. Global irradiation and solar electricity potential. [verkkodokumentti]. [viitattu 20.10.2015] Saatavissa

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm#FI>

Ranta T. 2015. Energiatalouden johdantokurssi Investointilaskentamenetelmät.

Siliconsolar 2015. Mono-Crystalline Vs Poly-Crystalline Solar Cells. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.10.2015] Saatavissa <http://www.siliconsolar.com/commercial-solar-cells.html>

ST kortisto. 2009. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähköjakelujärjestelmään.

Suntekno Oy 2015. Paneelit. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.10.2015] Saatavissa

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Taavitsainen T. 2006. Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.11.2014] Saatavissa

[https://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia\\_ja\\_ymparisto/ymparistotekniikka/Mall\\_a2Loppuraportti%281%29.pdf](https://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/Mall_a2Loppuraportti%281%29.pdf)

Tahkokorpi M. 2014. Lähienergiatilastointi Suomessa 2013. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.1.2016] Saatavissa

[http://www.motiva.fi/files/8695/Lahienergiatilastointi\\_Suomessa\\_2013.pdf](http://www.motiva.fi/files/8695/Lahienergiatilastointi_Suomessa_2013.pdf)

VTT. 2009. Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytöissä. [verkkodokumentti]. [viitattu 11.11.2015] Saatavissa

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>

Wellinger, A., Murphy, J. D. & Baxter, D. 2013. The Biogas Handbook: Science, Production and Applications. Elsevier Science.

Åkerlund F. Motiva Oy 2014. Biokaasulaitosten tukijärjestelmät Suomessa. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.10.2014] Satavissa

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/energiaa\\_pelloilta/biokaasu/biokaasun\\_tukiratkaisut](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu/biokaasun_tukiratkaisut)

# LIITTEET

Liite I



## VILJAVUUSPALVELU OY

s-posti: neuvonta@viljavuuspalvelu.fi

## LANTA-ANALYYSI

2/3

PL 500 50101 MIKKELI (015) 320 400

Paivamaara Asiakasno Tutkimusno

12.06.2006

		Näytteenottopvm 11.05.2006
		Saapunut 12.05.2006
		Merkki

Nimi	Naudan lietelanta		
	kuiva-aineessa	ravinteita tonnissa	ravinteita kuutiossa
Typpi (N), liukoinen	35 g/kg ka	2,1 kg/tn	2,1 kg/m <sup>3</sup>
Typpi (N), kokonaispit. a)	54 g/kg ka	3,2 kg/tn	3,3 kg/m <sup>3</sup>
Fosfori (P), kokonaispit. a)	9,6 g/kg ka	0,58 kg/tn	0,59 kg/m <sup>3</sup>
Kalium (K), kokonaispit. a)	49 g/kg ka	2,9 kg/tn	3,0 kg/m <sup>3</sup>
Magnesium (Mg), kokonaispit. a)	7,9 g/kg ka	0,47 kg/tn	0,49 kg/m <sup>3</sup>
Kalsium (Ca), kokonaispit. a)	15 g/kg ka	0,9 kg/tn	0,93 kg/m <sup>3</sup>
Natrium (Na), kokonaispit.	7,0 g/kg ka	0,42 kg/tn	0,43 kg/m <sup>3</sup>
Boori (B), kokonaispit. a)	19 mg/kg ka	1,1 g/tn	1,2 g/m <sup>3</sup>
Kupari (Cu), kokonaispit. a)	40 mg/kg ka	2,4 g/tn	2,4 g/m <sup>3</sup>
Mangaani (Mn), kokonaispit. a)	200 mg/kg ka	12 g/tn	12 g/m <sup>3</sup>
Sinkki (Zn), kokonaispit. a)	270 mg/kg ka	16 g/tn	17 g/m <sup>3</sup>
Kuiva-aine	-	6,0 %	-
Tilavuuspaino	-	-	1000 kg/m <sup>3</sup>

a) -Merkityt määritykset on tehty akkreditoidulla menetelmällä.  
Tulos koskee vain meille tullutta näytettä.



