

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Juho Kuisma

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ LUOMUTILALLE

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2017



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2017
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 600

Tekijä
Juho Kuisma

Nimeke
Aurinkosähköjärjestelmä luomutilalle

Toimeksiantaja
Ansioniemen Sähkö Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä perehdytään aurinkosähköön yleisellä tasolla sekä yksittäisen kohteen aurinkosähköjärjestelmän mitoittamiseen. Tavoitteena oli mitoittaa mahdollisimman kustannustehokas järjestelmä.

Työssä laskettiin myös verkkoon liitettävän akuston kannattavuutta sekä erikokoisien paneelistojen vaikutusta takaisinmaksu-aikaan kyseisessä kohteessa. Laskelmat osoittivat akuston olevan kannattamaton hankinta. Järjestelmän taloudellisimmaksi kooksi ilman investointitukia osoittautui 15 kW_p:n paneelisto, investointitukien kanssa 17 kW_p:n paneelisto.

Kieli
suomi

Sivuja 27

Liitteet 0

Liitesivumäärä 0

Asiasanat

aurinkoenergia, aurinkosähkö, verkkoon kytketty



THESIS
June 2017
Degree Programme in
Electrical Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
p. +358 13 260 600

Author
Juho Kuisma

Title
Photovoltaic Energy for an Organic Farm

Commissioned by
Ansioniemen Sähkö Oy

Abstract

In this thesis photovoltaics is familiarized with on a general level, as well as with designing a single photovoltaic system. The most important aspect of this thesis was to design a cost-effective photovoltaics system.

The payback period of using batteries with on-grid photovoltaics system and different output powers of systems were also calculated on this site. The calculations proved that using batteries in on-grid photovoltaic system is not financially profitable. The optimal size of the system without any investment aids was 15 kWp and with investment aid it was 17 kWp.

Language

Finnish

Pages 27

Appendices 0

Pages of Appendices 0

Keywords

on-grid, solar energy, photovoltaic energy

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Aurinkoenergia Suomessa	7
3	Aurinkoenergian hyödyntäminen	8
3.1	Lämpöenergia.....	8
3.2	Sähköenergia.....	8
4	Aurinkosähköjärjestelmän komponentit	8
4.1	Aurinkopaneeli	8
4.2	Verkkoinvertteri	9
4.3	Akusto.....	10
4.4	Lataussäätimet	11
4.5	Energiamittari.....	11
5	Kohde, järjestelmä ja mitoitus	12
5.1	Kohde	12
5.2	Järjestelmä	12
5.3	Kohteen energiankulutus	12
5.4	Paneeliston sijoitus	16
5.5	Paneeliston mitoitus.....	17
6	Kannattavuuslaskelmat.....	23
7	Pohdinta.....	26
	Lähteet.....	28

Käsitteet ja lyhenteet

Off-grid	Itsenäinen aurinkosähköjärjestelmä
On-grid	Jakeluverkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä
Latausohjain	Laite jolla säädetään akuston latautumista
Mikrotuotantolaitos	Paikallinen, alle 50 kVA:n sähkötuotantolaitos
MPPT	Maximum Power Point Tracker, suurimman tehonpisteen seuranta
PWM	Pulse Width Modulation, pulssin leveyden modulaatio
W_p	Standardioloissa aurinkopaneelista saatava huipputeho

1 Johdanto

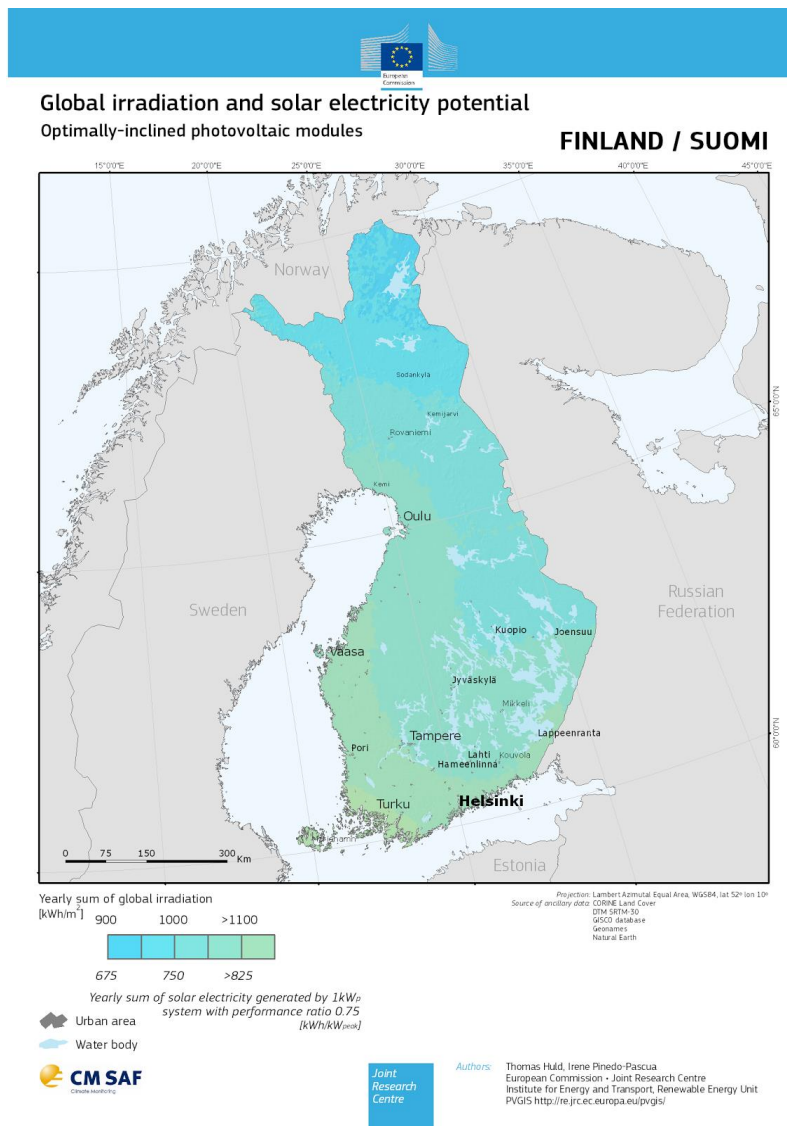
Aurinkoenergian käyttö on viime vuosina kasvattanut valtavasti suosiotaan. Aurinkosta saatava energia on puhdasta ja ympäristöystävällistä. Suurin tuotanto kuitenkin ajoittuu alkukevään ja kesän aikaan, jolloin tavanomaisesti energiankulutus on pientä. Tämän vuoksi järjestelmän mitoittaminen kohteen todellisen kulutuksen mukaan on tärkeää, mikäli investoinnista halutaan saada täysi hyöty.

Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella ja mitoittaa verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä luomutilan käyttöön. Pohjustuksena käydään pintapuoleisesti läpi erilaisia aurinkoenergian hyödyntämiseen suunnattuja ratkaisuja ja verkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän komponentteja. Erityisesti työssä kuitenkin keskitytään optimaalisen järjestelmäkoon mitoittamiseen aurinkosähköjärjestelmässä.

Osana työtä tutkittiin lyhyesti myös järjestelmään liitettävän akuston kannattavuutta sähköenergian varastoinnissa sekä pohdittiin keinoja ylimääräisen energian hyödyntämiseen.

2 Aurinkoenergia Suomessa

Aurinko säteilee Etelä-Suomessa vuotuisesti noin 3500 MJ/m² vaakasuoralle pinnalle, mikä vastaa noin 970 kWh/m² tehoa. Kuvasta 1 nähdään eri puolilla Suomea auringosta saatavan energian määrä. Auringon tuottamaa energiaa voidaan hyödyntää Suomessa lähes ympäri vuoden. Vain joulukuusta tammikuulle säteilymäärät ovat niin pieniä, että hyödynnettävää energiaa ei ole kovin paljon tarjolla. [1.] Tätä energiaa voidaan hyödyntää erilaisilla sovelluksilla lämpö- ja sähköenergian tuotannossa niin aktiivisesti kuin passiivisestikin [2].



Kuva 1. Auringosta saatava sähköenergia Suomessa [3].

3 Aurinkoenergian hyödyntäminen

3.1 Lämpöenergia

Lämpöenergiaa saadaan lämpökeräimillä, joissa auringon energia muutetaan lämmöksi ja voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttöveden lämmityksessä. Lämpöenergia siirretään keräimestä lämmönsiirtonesteeseen, esimerkiksi vesi-glykoliseoksen, välityksellä lämminvesivaraajaan. [2]. Tällaisessa järjestelmässä päästään 25 – 35 %:n hyötysuhteeseen. [1].

3.2 Sähköenergia

Auringon säteilystä sähköenergiaa saadaan aurinkopaneeleilla. Se hyödyntäminen jaetaan kahteen pääryhmään; on-grid- ja off-grid-järjestelmiin. On-grid-järjestelmässä paneelien tuottama virta muutetaan aina tasavirrasta vaihtovirraksi ja käytetään korvaamaan joko osittain tai kokonaan verkosta ostettava energia, sekä mahdollisesti myydään verkkoon ylimääräinen tuotettu energia verkkoon. Off-grid-järjestelmät puolestaan ovat irti valtakunnan verkosta ja toimivat itsenäisinä energiantuotannon yksikköinä. Tässä työssä keskitytään on-grid-järjestelmään.

4 Aurinkosähköjärjestelmän komponentit

4.1 Aurinkopaneeli

Kaikki nykyään käytössä olevat aurinkopaneelit perustuvat auringon sähkömagneettisen säteilyn kykyyn irrottaa metallin pinnalta elektroneja. Tämä ilmiötä tutkittiin jo 1900-luvun alussa, mutta sille ei löydetty selitystä perinteisestä fysiikasta.

Vasta Albert Einsteinin olettaessa, että sähkömagneettinen säteily on kvantittunut, saatiin ilmiö selitettyä. [4, 351–352].

Nykyään käytössä on useita erilaisia paneelityyppejä. Kaikki paneelityypit kuitenkin tuottavat tasavirtaa. Näistä yleisimpiä ovat yksikiteiset piipaneelit (sc-Si), monikiteiset piipaneelit (mc-Si) ja erilaiset ohutkalvopaneelit (CdTe, CIGS ja CIS). Paneelien hyötysuhde vaihtelee rakenteesta riippuen 7:stä 25 %:iin. Käytössä on myös gallium-arsenidi (GaAs) -paneeleita, joiden hyötysuhde on jopa yli 40%, mutta hintansa vuoksi niitä ei ole kuluttajamarkkinoilla. [5].

Yksikiteiset paneelit ovat hyötysuhteeltaan parempia (16–25 %) kuin vastaavat monikiteiset paneelit (14–18 %), mutta niiden hinta on myös huomattavasti korkeampi. Kaikkein edullisimpia paneeleita ovat ohutkalvopaneelit, sillä niiden valmistuksessa käytetään vähemmän puolijohdemateriaaleja. Tämä myös pudottaa niiden hyötysuhdetta pinta-alaansa nähden, tyypillisen hyötysuhteen ollessa 7–16,8 % käytetystä tekniikasta riippuen. Etuna ohutkalvopaneeleissa on kuitenkin niiden keveys ja taivuteltavuus. [5].

4.2 Verkkoinvertteri

Verkkoinvertterillä muunnetaan paneeleilta tuleva tasavirta vaihtovirraksi ja sovitaan se valtakunnalliseen sähköverkkoon. Tällainen invertteri tuottaa siniaaltoista taajuudeltaan ja vaiheeltaan verkkoon sovitettua sähköä. [6, 326-330.] Verkkoinverttereiden on myös kyettävä tunnistamaan valtakunnallisen sähköverkon tila, jotta mahdollisissa verkkosyötön katkeamisissa tuotantolaitos irrotetaan verkosta. Tuotanto on kytkettävä irti myös, jos tuotetun sähkön jännite tai taajuus poikkeavat liiksi jakeluverkon arvoista. [7].

Verkkoinverttereitä on kahdenlaisia; mikroinverttereitä, jotka ovat heti paneeliston yhteydessä yksittäisille paneeleille tai perinteisempi invertteri, joka sijaitsee hie-
man kauempana paneelistosta ja muuttaa koko paneeliston tuottaman virran yh-
dessä pisteessä vaihtovirraksi. [6].

Tavanomaiselle invertterille vedetään paneelistolta tasavirtakaapelointi. Tämä
rajaa pidemmät siirtomatkat pois johtimien poikkipinta-alan mukanaan tuomien
kustannuksien vuoksi. Mikroinverttereiden etuna on helpompi ja edullisempi
siirto, sillä tuotettua energiaa ei tarvitse siirtää tasavirtana paneelistolta eteen-
päin. Mikroinverttereiden hankintahinta on kuitenkin korkeampi kuin tavanomai-
sen invertterin, toisaalta yhden mikroinvertterin hajoaminen ei vielä pysäytä koko
tuotantoa. [8].

4.3 Akusto

Akuston käyttö aurinkosähköjärjestelmissä on yleistä pääasiallisesti off-grid-jär-
jestelmissä, mutta sitä voidaan hyödyntää on-grid-järjestelmissä pidentämään
aurinkosähköllä tuotetun energian käyttöä auringon laskun jälkeen. Toinen sovel-
lus on esimerkiksi kulutushuippujen leikkaaminen akustoon varatulla energialla.
[8, 9].

Nykyään käytettävistä akustoista suurin osa on lyijyakkuja, mutta ne ovat suuri-
mittaiseen energian varastointiin epäsopivia pienen energiatihetyensä (<100
Wh/kg) vuoksi. Jos akuston sijoittamiseen sopivasta tilasta ei ole puutetta, lyijy-
akut ovat edullisempi ratkaisu kuin litiumakut pienimuotoisessa energian varas-
toinnissa. [9].

Litiumakuston energiatiheys on huomattavasti suurempi (300–400 Wh/kg) ja se
soveltuu suhteessa pienemmän kokonsa vuoksi sijoitettavaksi olemassa oleviin
rakennuksiin paremmin. Heikkoutena litiumakuilla on vielä suhteellisen korkea

hinta, yleensä yli 600 €/kWh. [9]. Uutuutena kuluttajamarkkinoille on kuitenkin tul-
lut Teslan Powerwall, jonka hinta on noin 570€/kWh asennettuna jo olemassa
olevaan järjestelmään. [10].

4.4 Lataussäätimet

Lataussäädintä käytetään akuston yhteydessä oikean latausjännitteen ja -virran
säättämiseen sekä syväpurkautumisen estämiseen. Lataussäätimiä on kahta eri
tyyppiä, PWM- ja MPPT-lataussäätimet. [11]

PWM-lataussäätimet ovat hyötysuhteeltaan noin 50–60 %, sillä säätö tapahtuu
katkomalla paneelistolta tulevaa virtaa sykleittäin. MPPT-lataussäätimen hyöty-
suhde on 95–99 %:n välillä. Tällainen lataussäädin hakee jatkuvasti parasta jän-
nitteen ja virran kerrointa, jotta paneelistolta saatava teho olisi optimaalinen. [11,
12].

4.5 Energiamittari

On-grid-aurinkosähköjärjestelmiin tarvitaan kaksisuuntainen energiamittaus, mi-
käli tarkoituksena on myydä ylimääräistä tuotettua energiaa verkkoon. Tuotan-
nosta täytyy myös tehdä sopimus verkonhaltijan kanssa, sekä varmistaa verkon
kestävän tuotettu energia. Lisäksi on huomioitava tuotannon kokoluokka, sillä yli
100 kVA järjestelmillä tarvitaan erillinen mittaus oman tuotannon kulutukselle.
Tämä toteutetaan käytännössä mittaamalla oma tuotanto ja vähentämällä siitä
järjestelmän itsensä käyttämä sähkö ja verkkoon syötetty sähkö. [13]

5 Kohde, järjestelmä ja mitoitus

5.1 Kohde

Järjestelmä suunnitellaan Komppa-Seppälän luomutilalle Korpilahdelle. Tilan tärkein tuote on hunaja ja mukaan on tullut särkisäilykkeiden tuotanto. Tilalla on tällä hetkellä 3x50 A liittymä ja sähkön kulutus on n. 80 000 kWh vuodessa. Suurimmat kulutushuiput ajoittuvat kesällä keskipäivään, joten aurinkoenergian hyödyntäminen on hyvin perusteltua.

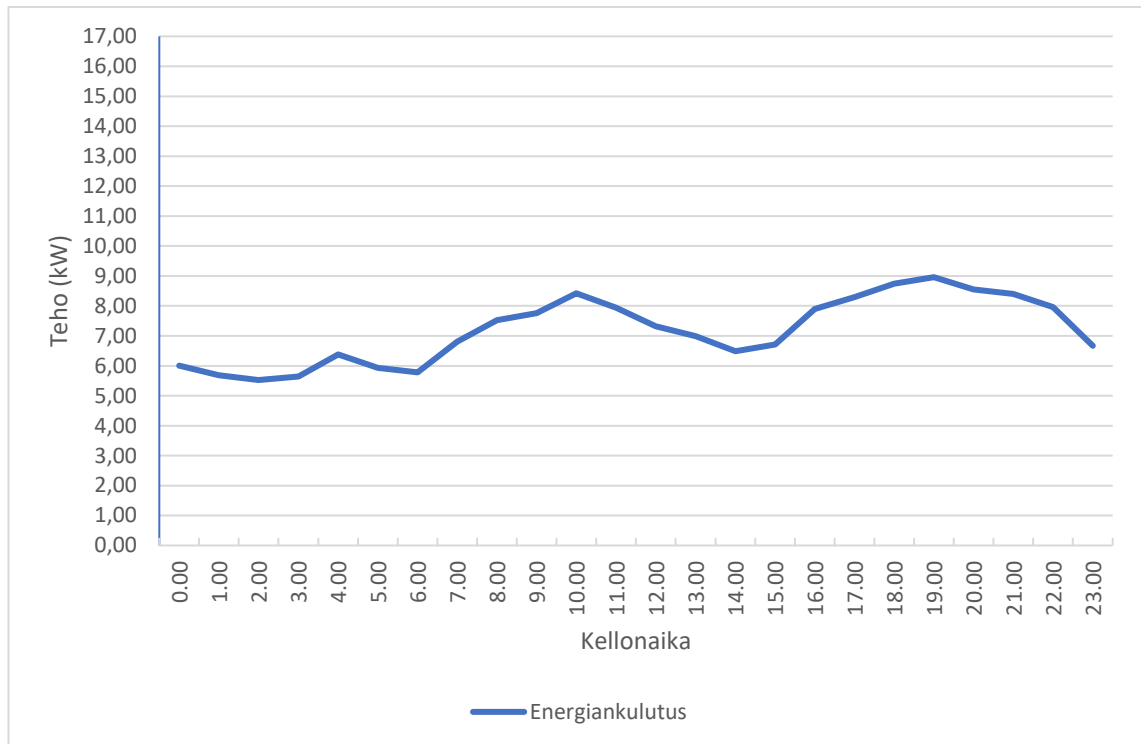
5.2 Järjestelmä

Järjestelmä on tarkoitus mitoittaa nykyisen kulutuksen mukaan, jättäen kuitenkin laajennusvaraa tulevaisuuden varalle. Järjestelmän tavoitteena on mahdollisimman kustannustehokas aurinkoenergian tuotanto tilalle. Järjestelmän koko mitoitetaan osin nykyisen kulutuksen mukaan, mutta siinä otetaan huomioon myös mahdollisten tukien ehdot ja niiden hyödyntämisen mahdollisuudet.

5.3 Kohteen energiankulutus

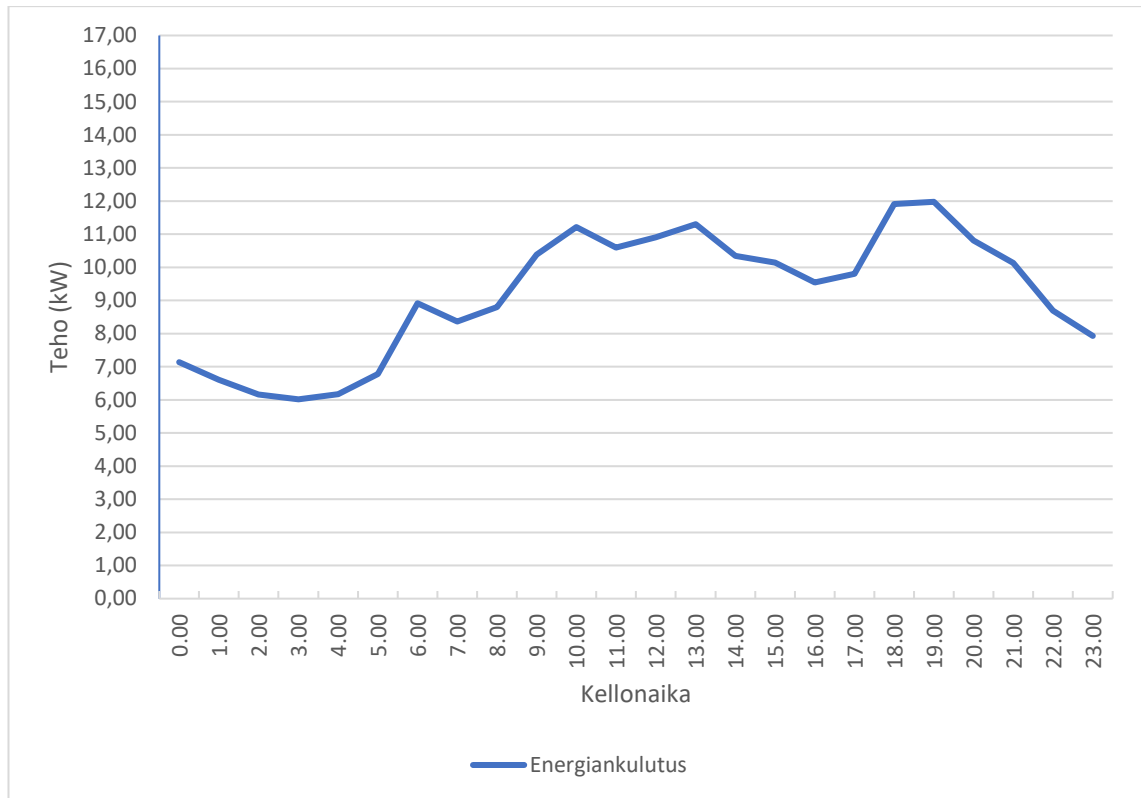
Järjestelmän tehokkaan mitoittamisen kannalta on tärkeää päästä käsiksi tuntikohtaisiin kulutustietoihin, jotta voidaan tarkastella oletettua kulutusta niinä aikoina, kun aurinkoenergiaa on oletettavasti saatavilla. Tilalta saatujen tunnusten avulla saatiin ladattua tuntikohtaiset kulutustiedot vuodelta 2016 verkkoyhtiön internetpalvelusta. Tuntikohtaisesta kulutuksesta muodostettiin jokaisen kuukauden tuntikohtainen keskiarvo 0:00–23:00 väliselle ajalle. Esimerkkikuukaudet on valittu mahdollisimman laajan kuvan antamiseksi eri vuodenaikojen eroista energiankulutuksen kannalta.

Kevättalvella kulutus jäi melko vähäiseksi, yksittäisten piikkien ollessa korkeintaan 9 kW:n luokkaa (kuva 2). Korkein energiankulutus on aamupäivästä ja laskee kohti keskipäivää. Kulutus ei ole nykyisellään optimaalinen aurinkoenergian hyödyntämistä ajatellen.



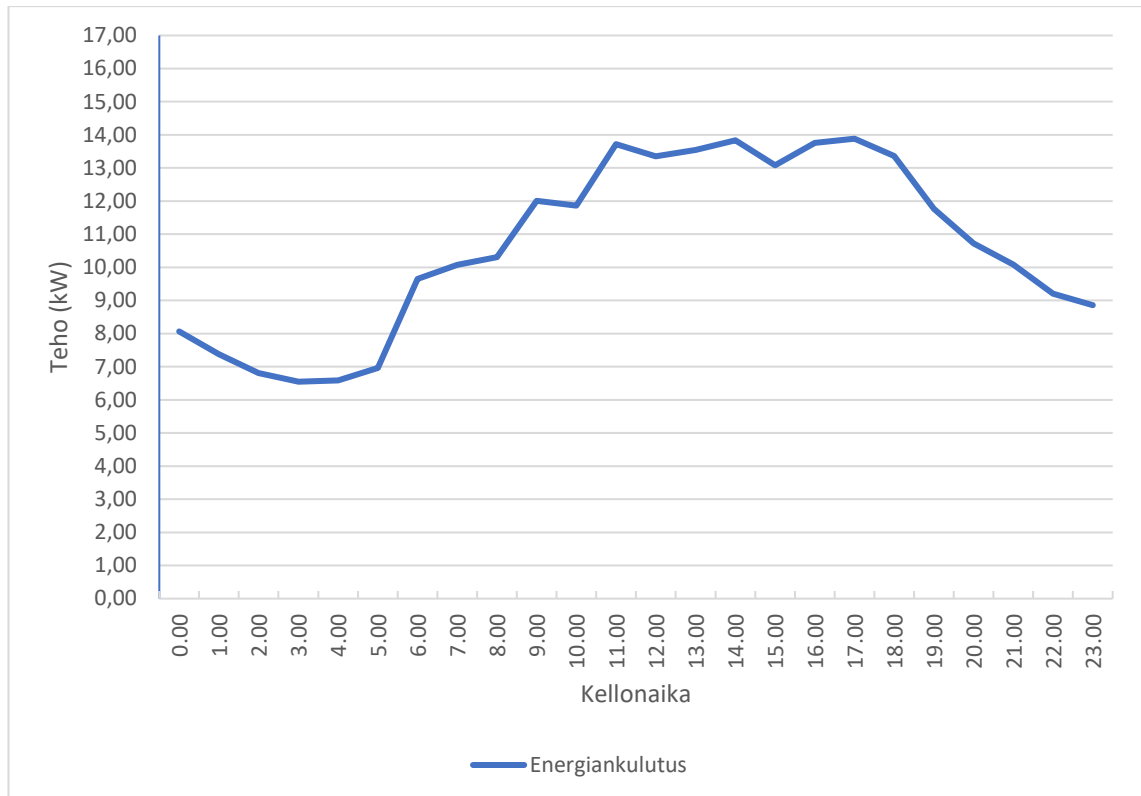
Kuva 2. Maaliskuun keskiarvoinen energiankulutus.

Kuten kuvasta 3 nähdään, kesäkuussa päivällä on suhteellisen paljon kulutusta. Illalla klo 18:00–19:00 on toinen piikki, mutta sitä ei aurinkoenergialla voida kompensoida. Kulutus nousee aamusta keskipäivää kohti aina n. 11 kW:n tehoon asti. Keskipäivän jälkeen kulutus laskee hieman ennen illan piikkiä. Kulutus on optimaalinen aurinkoenergian käyttöä ajatellen, sillä tarve kasvaa suurin piirtein samassa suhteessa kuin aurinko tarjoaa energiaa.



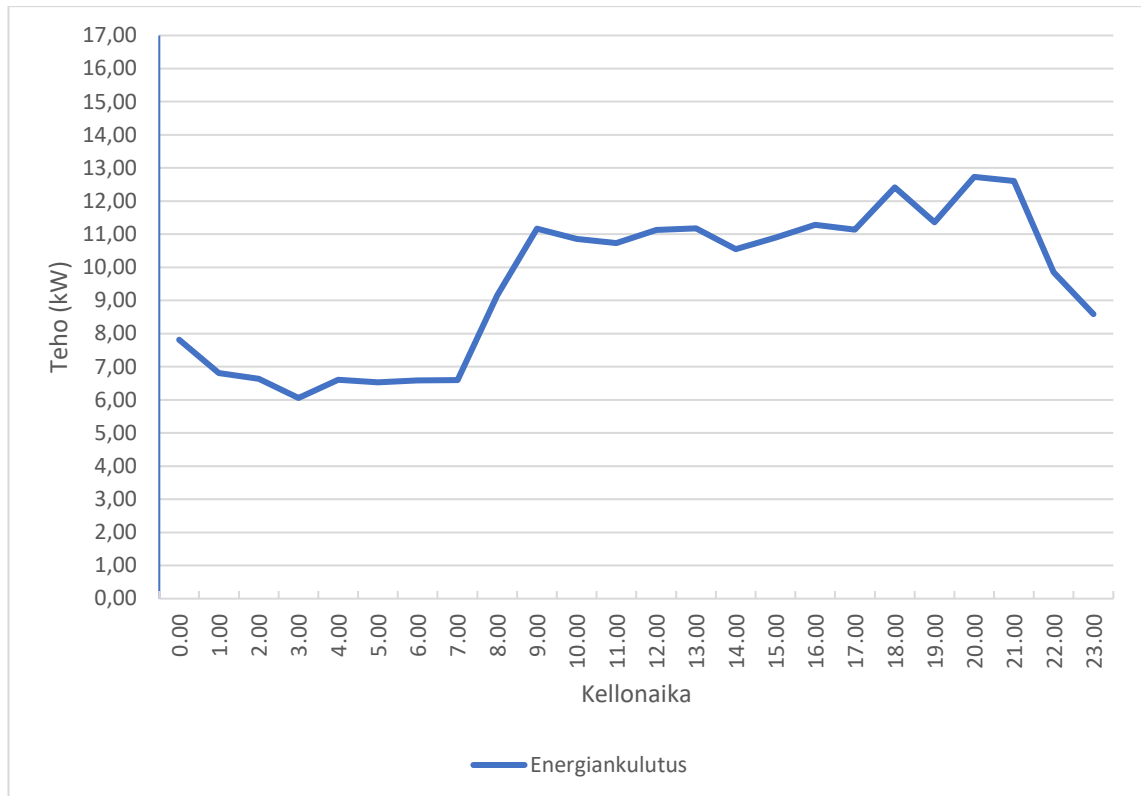
Kuva 3. Kesäkuun keskimääräinen energiankulutus.

Heinäkuu on kulutuksen osalta hyvin samankaltainen kesäkuun kanssa. Elokuussa kulutus on selvästi korkeampi, kuten kuvasta 4 nähdään. Kulutus lähtee nousuun aamusta ja saavuttaa huippunsa keskipäivän aikaan, joten oikein mitoitettulla paneelistolla saataisiin katettua merkittävä osa päivän energiantarpeesta aurinkoisena päivänä.



Kuva 4. Elokuun keskimääräinen energiankulutus.

Marraskuussa kulutus ei nouse merkittävästi kesän lukemista, suurin kulutus osuu päivän ajalle. Järjestelmän mitoittamisen kannalta marraskuu ei ole erityisen tärkeä kuukausi, sillä oletettu tuotanto jää hyvin matalaksi. Marraskuu onkin tässä vain tuomassa vertailua kulutuksen ja myöhemmin tuotannon määrästä eri vuodenaikoina.



Kuva 5. Marraskuun keskimääräinen energiankulutus.

5.4 Paneeliston sijoitus

Paneeliston sijoitus on tärkeä osa suunnittelua, sillä sijoituspaikka, -suunta ja -kulma voivat vaikuttaa paneeliston tuottoon merkittävästi. Huonosti sijoitettu ja optimoimaton asennuskulma saattavat syödä paneeliston tuottoa useita prosentteja.

Komppa-Seppälän luomutila sijaitsee muutaman mäenharjanteen varjossa, mutta tilan maa-alaan kuuluu viereisen mäen rinne (kuva 6). Osa rinteestä on etelään, joten paneelit saadaan optimaaliseen ilmansuuntaan. Koska paneelistora ei asenneta rakennuksen katolle vaan maajalkojen varaan, on paneeliston kunnossapito huomattavasti helpompaa.



Kuva 6. Googlen 3D ilmakuva tilasta.

Rinne sijaitsee noin 170 metrin päässä pääkeskuksesta. Siirtomatka on siis melko pitkä. Siirto kannattaa kustannustehokkuuden kannalta tehdä vaihtovirtana, joten invertteri tulee sijoittaa paneeliston lähelle rinteeseen. Vaihtoehtoina ovat mikroinvertterit tai tavanomainen verkkoinvertteri. Koska suurta varjostusriskiä ei rinteeseen asennettuna ole, tavanomainen verkkoinvertteri muodostuu kustannustehokkaammaksi vaihtoehdoksi. Invertterin teho tarkentuu paneeliston mitoituksen yhteydessä.

5.5 Paneeliston mitoitus

Tuottolukemat on laskettu käyttäen Institute for Energy and Transportation (IET) tarjoamaa auringon säteilyn tehokaskurin antamia säteilyarvoja Komppa-Seppälän tilan koordinaatteihin. Laskurin avulla oli mahdollista optimoida paneeliston kallistuskulma, joka tässä tapauksessa ympärivuotista tuottoa ajatellen on 42 astetta. Keskiarvoteho on laskettu kuukausittaisen suoran- ja hajasäteilyn määrällä, kun taas maksimiteho on laskettu käyttäen pelkkää aurinkoisen päivän säteilytehoa.

Järjestelmän hyötysuhteeksi on laskettu 85 %. Siinä on otettu huomioon järjestelmässä syntyvät siirto- ja muuntohäviöt. Itse paneeliston hyötysuhde (16 %) saatiin 260 W_p:n ja 1,625 neliömetrin kokoisesta paneelistä. Koko järjestelmän tuottama tuntikohtainen sähköenergia saadaan kaavalla 1:

$$E_h = A * r * H_h * PR \quad (1)$$

jossa

E_h = Tunnissa tuotettu sähköenergia (kWh)

A = Paneeliston pinta – ala (m²)

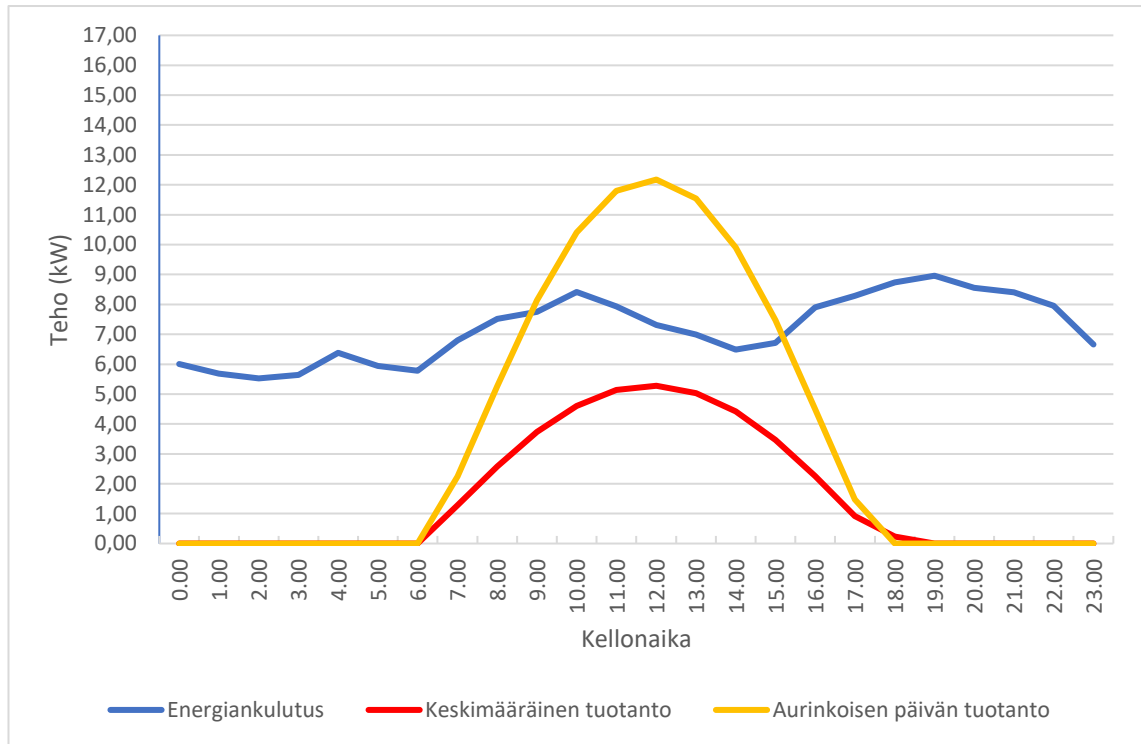
r = Paneeliston hyötysuhde (%)

H_h = Auringon tunnissa säteilemä energia $\left(\frac{W * h}{m^2} \right)$

PR = Järjestelmän hyötysuhde (%)

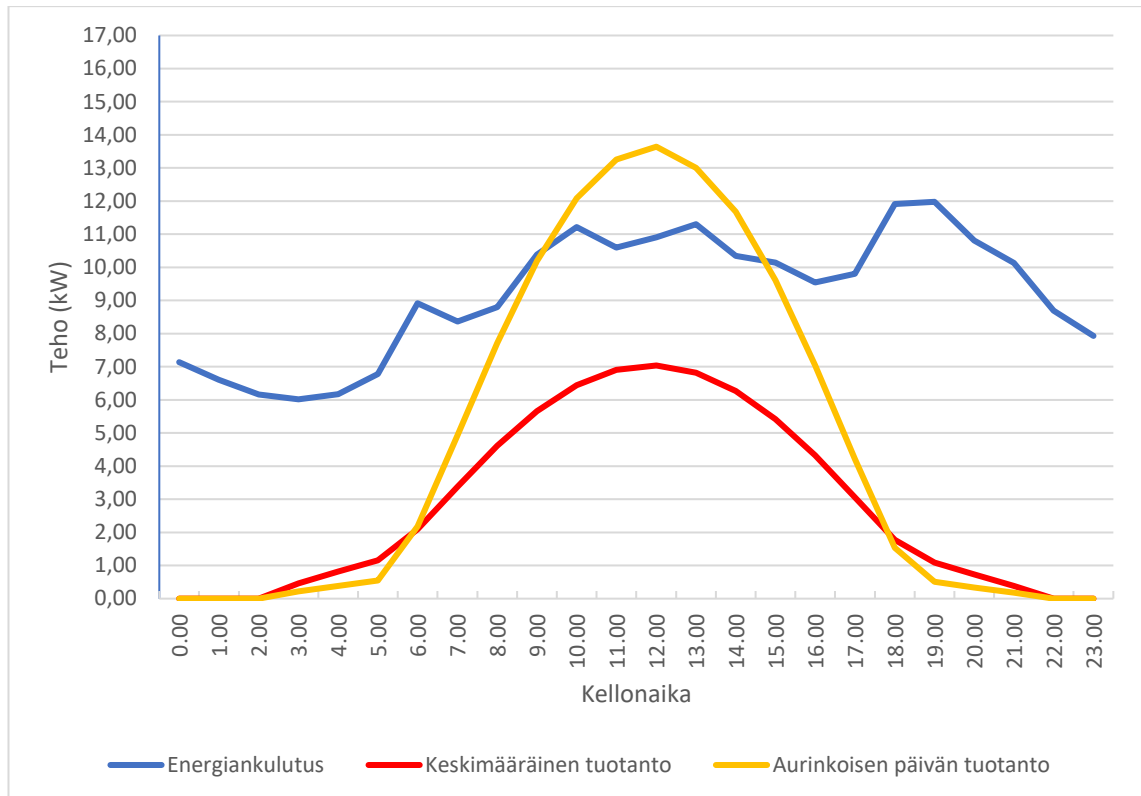
Tilaaajan toiveena on saada mahdollisimman suuri osa omasta kulutuksesta korvattua itse tuotetulla energialla, kuitenkin taloudellisesti kannattavalla tavalla. Kulutuslukemista muodostettuja kuvaajia tutkimalla n. 15 kW:n järjestelmä osoittautuisi kokonsa puolesta parhaaksi vaihtoehdoksi, sillä suurimmat kulutushuiput saataisiin leikattua ylittämättä kuitenkaan kohtuuttomasti omaa tarvetta. Verkoon myyminen ei yleisesti ottaen ole kannattavaa, sillä myydyn sähkön hinta on noin kolmasosa ostetun hinnasta. Siksi tuotanto kannattaa mitoittaa siten, että ylimääräistä tuotantoa ei tule.

Aluksi tutkitaan ilman akustoa olevan 15 kW:n järjestelmän tuottoja edellä poimitujen kuukausien kulutuslukemiin verraten. Keskimääräinen tuotto on laskettu kuukausittaisen suoran- ja hajasäteilyn määrällä, mikä sisältää niin aurinkoiset kuin pilviset päivät. Aurinkoisen päivän tuotto on laskettu käyttäen pelkkää aurinkoisen päivän säteilytehoa.



Kuva 7. Maaliskuun energiankulutus ja -tuotto.

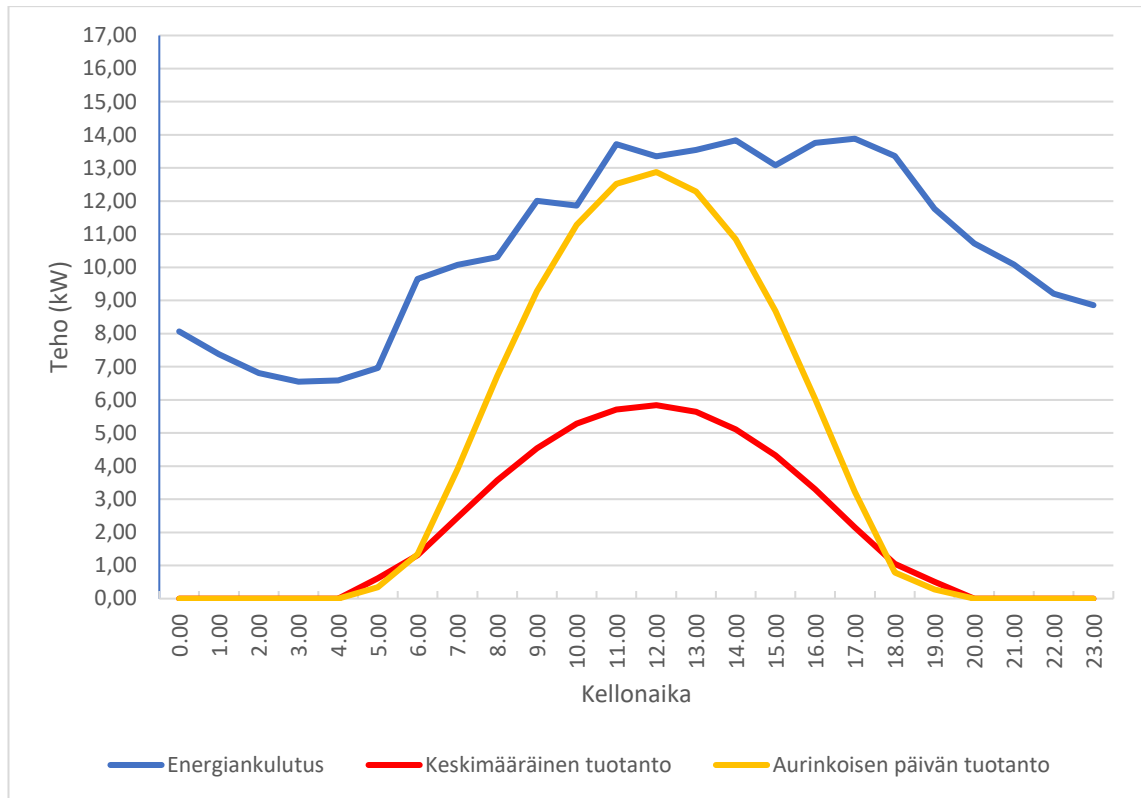
Tuotto maaliskuussa aurinkoisena päivänä ylittää huipputuotannon aikana kulutuksen miltei viidellä kilowatilla. Aurinkoisten päivien osalta paneelisto on selvästi ylimitoitettu. Kun huomioidaan pilvisten päivien vaikutus tuottoon, keskiarvoteholla saadaan tuotettua noin 23 % koko maaliskuun energiantarpeesta. Aurinkoisina päivinä tuotetun sähkön määrä kattaa noin 49 % päivittäisestä energiantarpeesta, ja lisäksi verkkoon myydään noin 20 kWh. Tuotetusta energiasta noin 38 % on siis hyödynnettävissä tilan omaan käyttöön auringon paistaessa kirkkaalta taivaalta.



Kuva 8. Kesäkuun energiankulutus ja -tuotto.

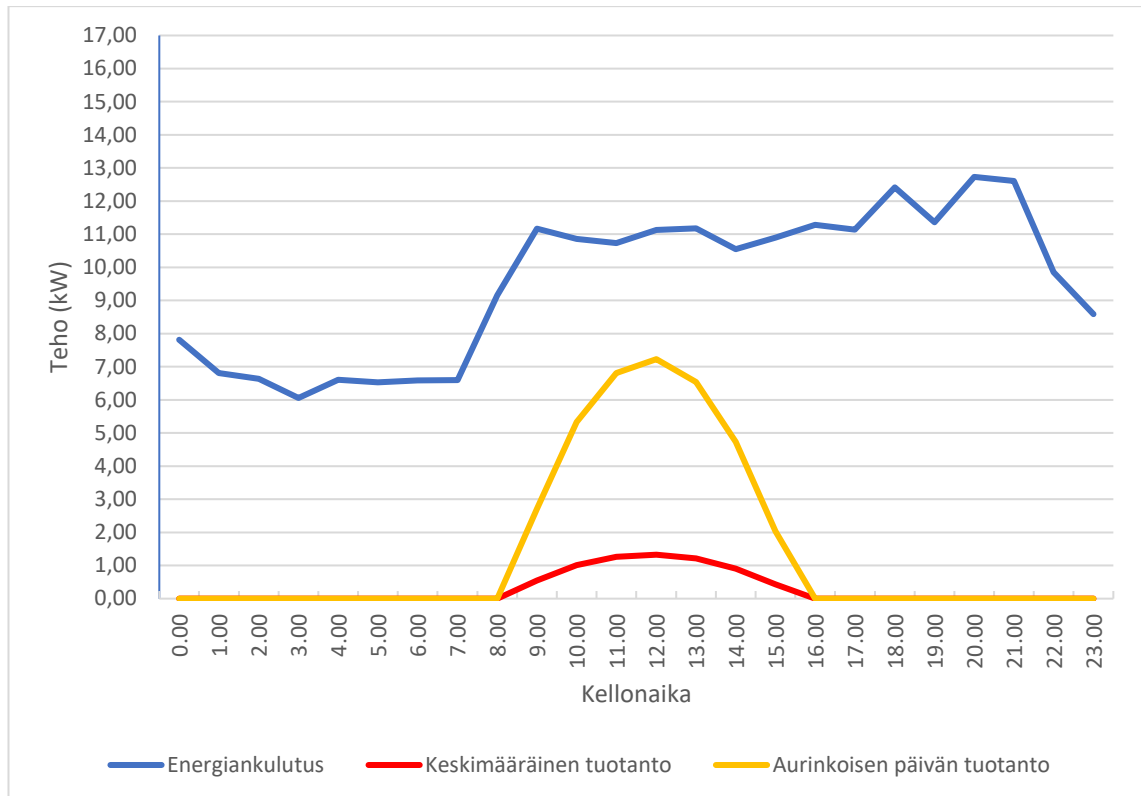
Kesäkuussa kulutettu ja tuotettu energiamäärä kohtaavat melko hyvin. Huipputuotannon aikana ylimääräistä energiaa tuotetaan vain vajaa kolme kilowattia. Keskimäärin kesäkuussa saadaan tuotettua 31 % energiantarpeesta, aurinkoisina päivinä jopa 51 %. Huipputuotannosta omaan käyttöön on hyödynnettävissä 92 %, joten verkkoon ei tarvitse myydä kovin suuria määriä energiaa.

Elokuu on oman tuotannon kannalta esimerkillinen kuukausi, sillä verkkoon myytävää sähköä ei ole aurinkoisinakaan päivinä. Paneelisto toimii siis optimaalisella tasolla. Keskimääräisesti saadaan tuotettua noin 20 % omasta tarpeesta ja aurinkoisina päivinä noin 39 % omasta tarpeesta.



Kuva 9. Elokuun energiankulutus ja -tuotto.

Marraskuussa aurinkoinen aika jää lyhyeksi ja aurinko paistaa matalalta, joten tuotanto jää keskimäärin hyvin vaatimattomaksi. Tuotanto vastaa vain noin kolme prosenttia päivittäisestä energiantarpeesta. Aurinkoisenakaan päivänä tuotanto ei riitä korvaamaan kuin 15 % tarpeesta. Joulukuussa tuotanto jää marraskuuta huomattavasti alemmaksi, joten synkinä talvikuukausina tuotanto jää hyvin matalaksi. Kuitenkin jo tammikuussa pakkasten tuoman auringonpaisteen myötä nousee tuotanto kolmikertaiseksi marraskuuhun verrattuna ja jopa kuusinkertaiseksi joulukuuhun verrattuna.



Kuva 10. Marraskuun energiankulutus ja -tuotto.

Kohteen vuotuiset energiankulutukset ja 15 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmän tuottamat energiamäärät on listattu taulukossa 1. Tuotettu energia on laskettu keskimääräisen säteilyn mukaan. Verkkoon myytävän energian määrä on saatu vähentämällä kuukausikohtaisen aurinkoisen päivän huipputuotannon määrä sitä vastaavan tunnin kulutuksesta, laskemalla nämä ylijäämäiset tuotantotunnit kuukaudessa yhteen ja kertomalla summa kuukauden keskimääräisellä aurinkoisten tuntien määrällä. Aurinkoisten tuntien määränä on käytetty Ilmatieteen laitoksen Jyväskylän lentoasemalta saatua dataa [asdads Verkkoon myytävän energian määrä on arvioitu todennäköisesti hieman todellista suuremmaksi, sillä auringonpaisteiset tunnit eivät välttämättä ole aina keskipäivällä, jolloin tuotanto ylittää kulutuksen.

Taulukosta 1 voidaan laskea, että vuotuisesti voidaan tuottaa aurinkoenergialla noin 17 % sähkön tarpeesta. Siitä kuitenkin pieni osa täytyy myydä verkkoon suhteellisen alhaisella hinnalla.

Noin 15 kW_p järjestelmä olisi siis perustellun kokoinen kohteeseen, sillä pilvisinäkin päivinä saadaan tuotettua kohtuullisesti energiaa. Tällaiseen järjestelmään

tulisi 58 kpl 260 W_p :n paneeleita ja laskennallinen huipputeho olisi 15080 W_p . Invertterin tulee olla siis vähintään 15,08 kW:n kolmivaiheinvertteri.

Taulukko 1. Aurinkosähkön tuotantomäärät 15 kW_p :n paneelistolla.

	Kulutettu energia (kWh)	Tuotettu energia (kWh)	Verkkoon myytävä (kWh)
tammikuu	6881	208	0
helmikuu	5609	771	126
maaliskuu	5343	1207	614
huhtikuu	6621	1790	260
toukokuu	7995	2164	128
kesäkuu	6619	2053	279
heinäkuu	6372	2114	408
elokuu	7919	1593	0
syyskuu	6526	1042	60
lokakuu	7592	556	0
marraskuu	6879	201	0
joulukuu	8035	113	0
YHTEENSÄ	82391	14302	685

Järjestelmän koon selvittyä tulee aina varmistaa alueen jakeluverkkoyhtiöltä, että verkko kestää mikrotuotantolaitoksen tuoman lisäkuormituksen. Tässä tapauksessa verkkoyhtiö ilmoitti verkon olevan liian heikko, mutta tarvittavat muutokset voidaan tehdä seitsemän viikon varoitusajalla. Järjestelmä on verkkoyhtiön puolelta toteuttamiskelpoinen. On siis perusteltua jatkaa järjestelmän tarkastelua taloudellisen kannattavuuden osalta.

6 Kannattavuuslaskelmat

Kannattavuuslaskelmat on tehty vuoden 2014–2015 keskimääräisen hintatason perusteella. Tällöin hintataso oli avaimet käteen -periaatteella 1,35 – 2 €/ W_p (ALV 0 %). [15.] Laskelmat on toteutettu käyttäen hintana 1,75 €/ W_p . Ostetun sähkön

hinnaksi on laskettu 0,14 €/kWh ja verkkoon myydyin sähkö hinnaksi on arvioitu 0,035 €/kWh.

Omalla tuotannolla korvatus ostoenegian arvoksi muodostuu 15 kW_p:n järjestelmässä vuotuisesti n. 1906 € ja lisäksi verkkoon myydystä energiasta n. 24 €. Kokonaisuudessaan vuodessa järjestelmä tuottaa n. 1930 €. Mikäli korkokantana pääomalle käytetään 5 % ja järjestelmän jäännösarvoksi oletetaan 3000 €, päästään investoinnin takaisinmaksuajassa ilman kotitalousvähennyksiä tai muita tukia 21,7 vuoteen. Takaisinmaksuaika lyhenee, mikäli ostetun sähkön hinta ylittää 0,14 €/kWh. Laskelma tehtiin hyödyntäen Excelissä olevia nykyarvofunktioita. Laskelmassa ei otettu huomioon mahdollista invertterin vaihtoa, sillä vaihdon tarpeesta ei ole varmuutta.

Taulukko 2. 15 kW_p järjestelmän investoinnin takaisinmaksuaika.

		Nykyarvo
Hankintakustannukset	26 250,00 €	26 250,00 €
Vuotuiset tuotot	-1 930,37 €	25 208,86 €
Jäännösarvo	-3 000,00 €	1 041,14 €
Tuottojen nykyarvo		26 250,00 €
Kustannusten nykyarvo		26 250,00 €
Erotus		-0,00 €
Korkokokanta	5 %	
Investointiaika	21,69	v

Maatalouskäyttöön hankitusta aurinkoenergiajärjestelmästä voi kuitenkin saada investointitukea jopa 30 %, mikäli järjestelmän koko on vähintään 17 kW_p. Seuraavaksi lasketaan tämän kokoisen järjestelmän kannattavuus käyttäen kuitenkin matalampaa, 25 %:n investointitukea.

Taulukko 3. Aurinkosähkön tuotantomäärät 17 kW_p paneelistolla.

	Kulutettu energia (kWh)	Tuotettu energia (kWh)	Verkkoon myytävä (kWh)
tammikuu	6881	235	0
helmikuu	5609	874	266
maaliskuu	5343	1368	909
huhtikuu	6621	2028	587
toukokuu	7995	2453	435
kesäkuu	6619	2327	591
heinäkuu	6372	2396	751
elokuu	7919	1806	94
syyskuu	6526	1181	241
lokakuu	7592	630	20
marraskuu	6879	228	0
joulukuu	8035	128	0
YHTEENSÄ	82391	16209	1421

Laskelmasta huomataan, että 15 kW_p:n järjestelmään verrattuna vuotuinen tuotto nousee noin 2000 kWh ja verkkoon myytävän sähkön määrä 800 kWh. Omaan käyttöön hyödynnettävän energian arvo on noin 2070 € ja myytävän energian noin 50 € vuodessa. Näillä arvoilla laskettuna takaisinmaksuajaksi, muutoin edellisen laskun arvoilla, saadaan 13,8 vuotta. Näin ollen 17 kW_p järjestelmä on taloudellisessa mielessä kannattavampi investointi, vaikka verkkoon myytävän tuotannon määrä kasvaa huomattavasti.

Taulukko 4. 17 kW_p järjestelmän investoinnin takaisinmaksuaika.

		Nykyarvo
Hankintakustannukset	22 312,50 €	22 312,50 €
Vuotuiset tuotot	-2 120,04 €	20 782,97 €
Jäännösarvo	-3 000,00 €	1 529,53 €
Tuottojen nykyarvo		22 312,50 €
Kustannusten nykyarvo		22 312,50 €
Erotus		0,00 €
Korkokokanta	5%	
Investointiaika	13,81	v

Laskettaessa 17 kW_p:n järjestelmään mahdollisesti liitettävän akuston kustannuksia, akuston koon tulisi kattaa huomattava osuus aurinkoisten päivien ylituotannosta. Akuston olisi siis varastoitava energiaa noin 10–15 kWh vuorokaudessa, että järjestelmän tuottamaa ylimääräistä energiaa päästäisiin hyödyntämään edes jossain määrin. Tähän skaalaan osuu mm. Teslan Powerwall, jonka kapasiteetti on 14 kWh ja hinta asennettuna noin 8000 €. Akustolla talteenotetun energian arvo olisi noin 140 €. Jakamalla järjestelmän hinta vuotuisella tuotolla päästään takaisinmaksuajassa, huomioimatta pääoman korkoa, noin 56,7 vuoteen. Takaisinmaku aika ylittää moninkertaisesti akuston käyttöajan, eli akuston lisääminen järjestelmään ei tuo taloudellista hyötyä.

Perinteisellä AGM-akustolla hinta asennettuna on noin 3000–4000 €, kun kokoluokka on 13 kWh. Tällöin akustosta saatava hyöty olisi 133 € vuodessa ja takaisinmaksuaika 30 vuotta ilman pääoman korkoa. Tämäkin ylittää akuston kestoajan, joten investointi olisi kannattamaton.

7 Pohdinta

Taloudelliselta kantilta järkevimmäksi järjestelmäksi osoittautuu 17 kW_p:n kokoinen paneelisto ja siihen hieman ylimitoitettu invertteri antamaan laajennusvaraa tulevaisuutta varten. Invertteri voisi olla esimerkiksi ABB TRIO-20.0-TL. Tällaisen invertterin laajennusvara ylittää 20 kW:iin asti, joten järjestelmän kokoa voitaisiin kasvattaa vielä kolmella kilowatilla. Mikäli tarkoituksena ei ole lisätä aurinkopaneelikapasiteettia, invertteriksi kannattaa valita mahdollisimman vähän ylimitoitettu, jolloin hyötysuhde on parempi.

Akuston käyttö energian varastoinnissa ei ole taloudellisesti kannattavaa nykyhetkellä, joten akustoa ei kannata hankkia osaksi järjestelmää. Tilanne voi muuttua tulevaisuudessa, kun akkuteknologia kehittyy ja ostetun sähkön hinta mahdollisesti nousee.

Tilalla on käytössä akusto mehiläispesien sähköaidoissa karhujen poissapitämiseksi kesäaikaan. Tämän järjestelmän akuston lataaminen, kuten myös esimerkiksi lämminvesivaraajan lämmittäminen, olisi optimaalista ajoittaa aurinkoisille päiville jolloin voitaisiin vähentää verkkoon myytävän energian osuutta.

Akkuteknologian kehittymistä kannattaa seurata, sillä sähkön hinnan noustessa ylimääräisen energian varastointi voi muuttua kannattavaksi uusien teknologioiden myötä. Myös esimerkiksi sähköautojen yleistyminen voi muuttaa aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta lähitulevaisuudessa parempaan suuntaan, sillä ylituotantoa voidaan varastoida sähköautojen akkuihin. Tällöin ei välttämättä ole lainkaan tarvetta myydä ylimääräistä energiaa verkkoon.

Lähteet

1. Ilmatieteen laitos. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Ilmatieteen laitos. 2012. [Viitattu 15.2.2017]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>
2. Motiva. Auringosta lämpöä ja sähköä. Motiva. 2016. [Viitattu 20.2.2017]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf
3. Joit Research Centre. Global Irradiation and solar electricity potential. Institute for energy and transport. 2012. [Viitattu 15.2.2017] Saatavissa: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgris/cmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_FI.png
4. Peltonen, Perkkiö & Vierinen. Insinöörin (AMK) fysiikka osa II. Saarijärvi. 2012. ISBN 987-952-5191-23-3.
5. International Energy Agency. Trends 2016 in photovoltaic applications. IEA. 2016. [Viitattu 20.2.2017]. Saatavissa: http://iea-pvps.org/index.php?id=3&elD=dam_frontend_push&docID=3390
6. Kekkonen A. Aurinkoenergian saatavuus ja aurinkosähkötuotannon taloudellinen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaalla, koulutustilaisuudet 24.2.2014 ja 25.2.2014. Oulun Ammattikorkeakoulu. 2014. [Viitattu 21.2.2017]. Saatavissa: http://www.oamk.fi/hankkeet/bioelologia/docs/materiaalit/aur_saataav_0214.pdf
7. Suomen standardisoimisliitto SFS Oy. SFS-käsikirja 600-1. Helsinki. 2012. ISBN 978-952-262-201-9.
8. Ilmastoinfo. Laitteet. 2017. [Viitattu 21.3.2017]. Saatavissa: <http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/laitteet/>
9. Alanen, Koljonen, Hukari & Saari. Energian varastoinnin nykytila. VTT. 2003. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>
10. Tesla. Powerwall. 2017. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavissa: https://www.tesla.com/fi_FI/powerwall
11. Renewable Energy Production Solutions. MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC. REPS. 2013. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavissa: <http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>
12. Aurinkosähkö.net. 2017. [Viitattu 17.3.2017]. Saatavissa: <http://www.aurinkosahko.net/category/11/lataussaatomet>
13. Lehto I. Sähkön tuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Energiateollisuus. 2016. [Viitattu 31.3.2017]. Saatavissa: http://energia.fi/files/1248/Ohje_tuotannon_liittamisesta_jakeluverkkoon_PAIVITETTY_20160427.pdf
14. Pirinen, Simola, Aalto, Kaukoranta, Karlsson, Ruuhela. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 – 2010. Ilmatieteen laitos. 2012. [Viitattu 18.3.2017]. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/35880>
15. Tarhkokorpi M. Aurinkosähköjärjestelmien hintayhteenveto Suomessa vuonna 2014 toteutuneista investoinneista. Utuapu Oy. 2015. [Viitattu 15.3.2017]. Saatavissa: http://www.finsolar.net/wp-content/uploads/2015/03/aurinkosc3a4hkc3b6jc3a4rjestelmien_hintayhteenveto_11032015.pdf