

Sami Klapuri

**AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS- JA KANNATTA-
VUUSSELVITYS**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tieto- ja viestintäteknikan koulutusohjelma
Marraskuu 2018**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Marraskuu 2018	Tekijä/tekijät Sami Klapuri
Koulutusohjelma Tieto- ja viestintäteknikka		
Työn nimi AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS- JA KANNATTAVUUSSELVITYS		
Työn ohjaaja Hannu Ala-Pönttiö	Sivumäärä 36	
Työelämäohjaaja Hannu Ala-Pönttiö		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millainen aurinkosähköjärjestelmä olisi sopivin Kälvillä sijaitsevaan hevostalliin.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin aurinkoenergiaan ja sen mahdollisuuksiin sähkön tuotannossa. Teoriaosuudessa esiteltiin myös aurinkopaneelin toimintaperiaatteet ja erilaiset paneelityypit sekä niiden hyötysuhde. Aurinkosähköjärjestelmä ja sen eri komponentit muodostivat yhden keskeisen osa-alueen teoriasta. Lisäksi perehdyttiin MPPT-tekniikkaan.</p> <p>Tutkimusosioon valittiin kolme erilaista aurinkosähköjärjestelmää, joita vertailtiin keskenään. Vertailu painottui järjestelmien sähköntuottoon, kannattavuuteen ja takaisinmaksuaikaan. Vertailun pohjalta valittiin esimerkijärjestelmä tutkittavaan kohteeseen.</p>		
Asiasanat aurinkoenergia, aurinkopaneeli, aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, MPPT		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date November 2018	Author Sami Klapuri
Degree programme Information and communication technology		
Name of thesis DESIGN AND PROFITABILITY SURVEY OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM		
Instructor Hannu Ala-Pöntiö	Pages 36	
Supervisor Hannu Ala-Pöntiö		
<p>The aim of this thesis was to examine which kind of solar energy system would be the most appropriate for a stable located in Kälviä.</p> <p>In the theory section of the thesis was oriented in solar energy and its possibilities in electricity production. The theory section introduced the principle of the solar panel and different kind of panels and the efficiency of panels. The main theme of theory section was solar energy system and its different components. MPPT-technology was also oriented.</p> <p>Three different kinds of solar energy systems were selected in the empirical section and were compared with production, profitability and repayment period. Based on comparison the proper example system was chosen for the stable in Kälviä.</p>		

<p>Key words solar energy, solar panel, photovoltaic system, MPPT</p>
--

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 AURINKOENERGIA	2
2.1 Auringon säteilyenergia	2
2.2 Aurinkoenergian kapasiteetti Suomessa ja maailmalla	4
3 AURINKOPANEELIT	5
3.1 Rakenne ja toimintaperiaate.....	5
3.2 Aurinkopaneelityypit.....	6
3.3 Paneelien hyötysuhde	7
3.3.1 Hyötysuhteen laskeminen	8
3.3.2 Hyötysuhteen tulevaisuus	9
4 VERKKOON LITETTY AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ	10
4.1 Järjestelmän osat	10
4.2 Verkkoinvertteri	10
4.3 Turvakytkin	11
4.4 Kaapelit.....	12
4.5 Kiinnitysjärjestelmä	13
5 JÄRJESTELMÄN MITOITTAMINEN	14
6 AURINKOSÄHKÖN MYYMINEN	15
6.1 Ylijäämäsähkön syöttö verkkoon.....	15
6.2 Spot-hinnoittelu	15
7 ENERGIA TUET	17
8 MPPT-TEKNIikka.....	18
8.1 MPPT-toiminnon periaate	18
8.2 Maksimitehopisteen etsintämenetelmät.....	19
8.2.1 Kokeile ja vertaa	19
8.2.2 Sisäinen differentiaalinen resistanssi	19
8.2.3 Vakiojännitemenetelmä	19
8.2.4 Virtapyyhkäisy	20
9 SELVITYS AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN VALINNASTA KOHDEKIINTEISTÖÖN	21
9.1 Tietoa tarkasteltavasta kiinteistöstä	21
9.2 Sähkönkulutus	22
9.3 Auringon vuotuinen säteilyteho kohteessa	23
10 JÄRJESTELMÄN VALINTA	24

10.1	Vaihtoehdot aurinkosähköjärjestelmäksi	24
10.2	Vertailtavien järjestelmien vuosituoton arvio.....	27
10.3	Investoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika	31
10.4	Tutkimuskohteeseen valikoitunut aurinkosähköjärjestelmä	32
11	YHTEENVETO.....	33
12	LÄHTEET	34

KUVIOT

KUVIO 1.	Asennetun aurinkosähkötuotannon kapasiteetti maanosittain vuonna 2015.....	4
KUVIO 2.	Aurinkopaneelin maksimihyötysuhteen laskentakaava.....	8
KUVIO 3.	Spot-sähkön reaaliaikainen markkinahintadiagrammi.....	16
KUVIO 4.	Aurinkopaneelin maksimitehopisteen kuvaaja.....	18
KUVIO 5.	Auringon vuotuinen säteily määrä kohdekiinteistön kohdalla.....	23
KUVIO 6.	Järjestelmien vuosituottoarvio kuukausittain.....	28
KUVIO 7.	3,05 kW- järjestelmän tuotantolukemia.....	28
KUVIO 8.	5,0 kW- järjestelmän tuotantolukemia.....	29
KUVIO 9.	7,41 kW- järjestelmän tuotantolukemia.....	30

KUVAT

KUVA 1.	Auringon säteilyenergiakartta.....	3
KUVA 2.	Aurinkopaneelin toimintaperiaate.....	5
KUVA 3.	Yksikide- ja monikidepaneeli.....	8
KUVA 4.	Taipuisa ohutkalvopaneeli.....	7
KUVA 5.	Taipuisa ohutkalvopaneeli.....	10
KUVA 6.	SUNNY TRIPOWER 100000TLEE-JP- verkkoinvertteri.....	11
KUVA 7.	Turvakytkin.....	12
KUVA 8.	Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän asennuspaketista.....	13
KUVA 9.	Ilmakuva tallirakennuksista.....	21
KUVA 10.	Päätallirakennus ja paneeleille kaavailtu sijoituskohta.....	24

TAULUKOT

TAULUKKO 1.	Vaihtoehtojärjestelmä 1.....	25
TAULUKKO 2.	Vaihtoehtojärjestelmä 2.....	25
TAULUKKO 3.	Vaihtoehtojärjestelmä 3.....	26
TAULUKKO 4.	3,05 kW- järjestelmän tuotantolukemia.....	28
TAULUKKO 5.	5,0 kW- järjestelmän tuotantolukemia.....	29
TAULUKKO 6.	7,41 kW- järjestelmän tuotantolukemia.....	30
TAULUKKO 7.	Järjestelmien kannattavuusvertailu.....	31

1 JOHDANTO

Uusiutuviin energialähteisiin kuuluva aurinkoenergia ja sen hyödyntäminen on voimakkaassa kasvussa niin maailmalla kuin meillä Suomessakin. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ovat laskeneet viime vuosina, ja tämän seurauksena investoinnin kannattavuus on parantunut entisestään sähkön kuluttajan näkökulmasta. Aurinkosähkön mikrotuotannon yleistymisen näkyy aurinkosähköjärjestelmien kasvavasta määrästä. Maaseudun Tulevaisuuden (20.8.2018) mukaan aurinkosähköjärjestelmien määrä onkin kovassa kasvussa. Kesällä 2017 järjestelmien määrä kaksinkertaistui, ja vuonna 2018 edellisen kesän ennätys rikottiin. Vuoden 2017 lopussa aurinkosähköä oli Suomessa 70 MW. Aurinkoenergian hyvinä puolina on sen taloudellisuus ja ekologisuus, mikä sopii vallan mainiosti meille Suomeenkin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä esiselvitys kustannustehokkaasta aurinkosähköjärjestelmästä valittuun kohteeseen, joka on Kälviällä sijaitseva hevostalli. Työn taustalla on ajatus siitä, kuinka sähköntuotannon omavaraisuutta lisäämällä ostosähkön käyttöä voisi vähentää ja saada tätä kautta sähkölaskua pienemmäksi. Tutkimuksen kautta on tarkoitus selvittää, millainen järjestelmä on kyseiseen kohteeseen paras ratkaisu.

Työssä vertailtiin kolmea kohteeseen soveltuvaa aurinkosähköjärjestelmäpakettia, joista yksi on sähköyhtiön kautta valittu järjestelmä ja kaksi muuta aurinkosähkötuotteita myyvien yritysten järjestelmiä. Tarkoituksena on analysoida ja vertailla järjestelmien soveltuvuutta eri näkökulmista. Opinnäytetyön lähdeaineistona käytettiin alan kirjallisuutta ja sähköistä materiaalia.

2 AURINKOENERGIA

2.1 Auringon säteilyenergia

Lähes kaikki hyödyntämämme energia on peräisin auringon säteilyenergiasta. Aurinkoenergialla tarkoitetaan sitä, kun auringosta saatavaa energiaa hyödynnetään suoraan. Lisäksi aurinko tuottaa epäsuorasti vesivoimaa, tuuli- ja aaltoenergiaa sekä kasvien bioenergiaa. Myös miljoonien vuosien saatossa muodostuneet fossiiliset polttoaineet, kuten kivihili, maakaasu ja öljy, ovat lähtöisin aurinkoenergian tuottamista kasvien jäänteistä. (Perälä 2017.)

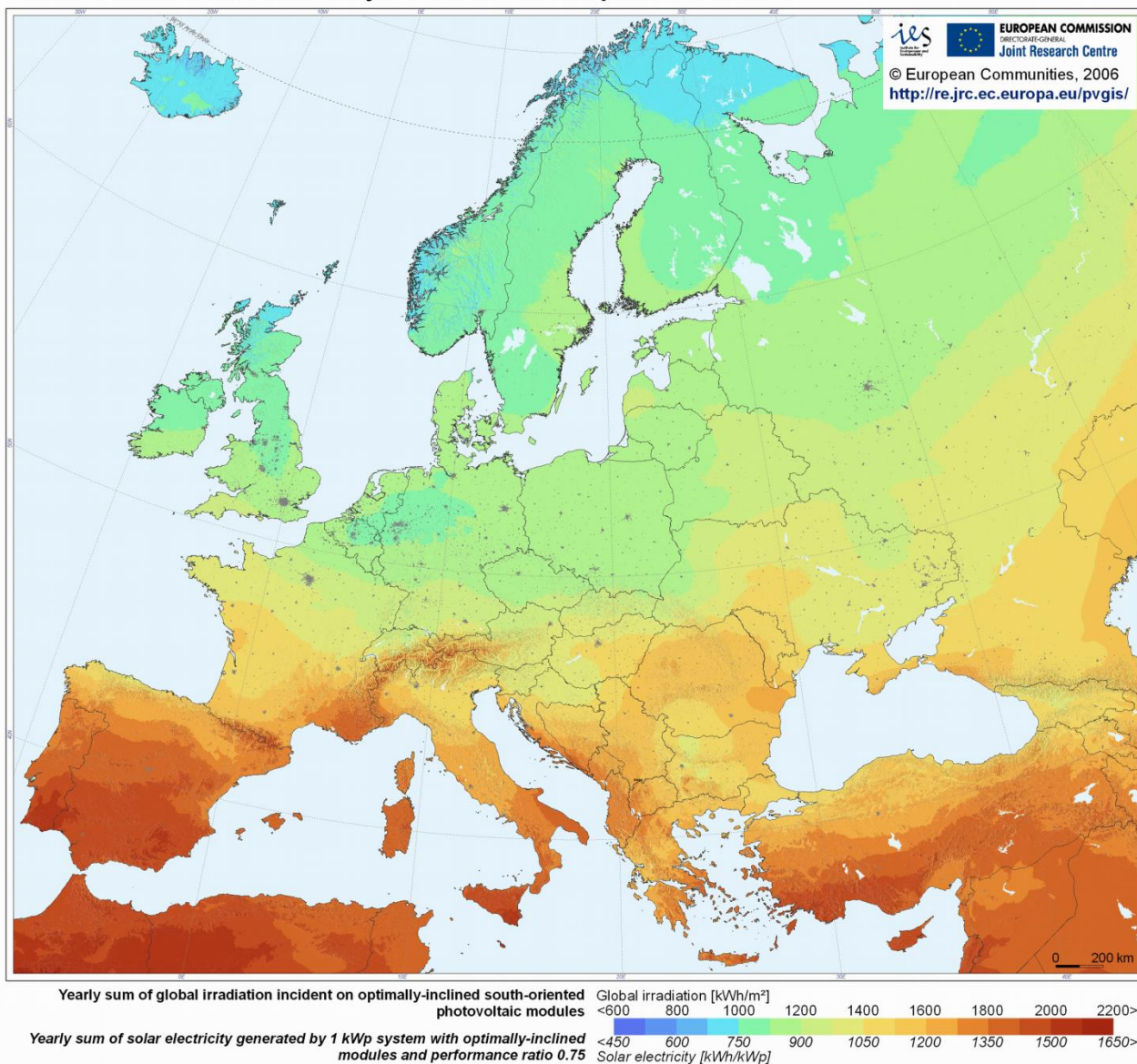
Auringosta saatava suora säteilyenergia eli insolaatio on edellytys kaikelle elämälle. Maahan saapuva säteilyenergian määrä on vain murto-osa auringon tuottamasta kokonaisenergiasta, sillä suuri osa energiasta etenee planeettamme ohi avaruuteen. Tästä huolimatta auringosta saapuu maahan jatkuvasti säteilyä 175 biljoonan kilowatin teholla. Kaikki teho ei pääse maan pinnalle saakka lainkaan, vaan osa siitä absorboituu ilmakehässä ja osa heijastuu takaisin avaruuteen. Säteilyenergiaa kertyy maahan silti valtavia määriä. Keskimäärin auringosta saatava energia on 1360 W/m^2 , josta käytetään nimitystä aurinkovakio. Arvo tosin vaihtelee hieman johtuen maan soikeasta muodosta. (Perälä 2017.)

Eniten energiaa kertyy päiväntasaajan alueella, jossa aurinko paistaa lähes kohtisuorasti. Energian määrä vähenee, mitä lähemmäs napoja siirrytään, koska auringon säteily tulee maahan loivemmassa kulmassa ja säteet joutuvat kulkemaan pidemmän matkan ilmakehässä. (Perälä 2017.)

Auringon säteilytehon määrä Suomessa on noin 1000 W/m^2 , jolloin tunnin aikana jokaiselle neliömetrille kertyy energiaa noin 1 kWh. Kun aurinkopaneelien hyötysuhde on parhaimmillaan noin 17 %, tällöin Suomen olosuhteissa yhden neliömetrin kokoinen aurinkokenno tuottaa enimmillään noin 170 kWh energiaa vuoden aikana. Tästä energiasta tosin menetetään jonkin verran muun muassa energian siirrossa ja aurinkopaneelien suuntauksessa. (Suntekno 2012a.)

Suomessa auringon säteily on voimakkainta touko-heinäkuun välisenä aikana. Säteilyenergiaa kertyy tuolloin Helsingissä kohtisuoralle pinnalle kuukaudessa keskimäärin $160\text{--}170 \text{ kWh/m}^2$ ja Sodankylässä $140\text{--}150 \text{ kWh/m}^2$. Vähiten säteilyenergiaa saadaan tammi- ja helmikuun sekä loka- ja joulukuun välisenä aikana, jolloin säteilymäärä jää alle 30 kWh/m^2 tasolle. (Suntekno 2012a.)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



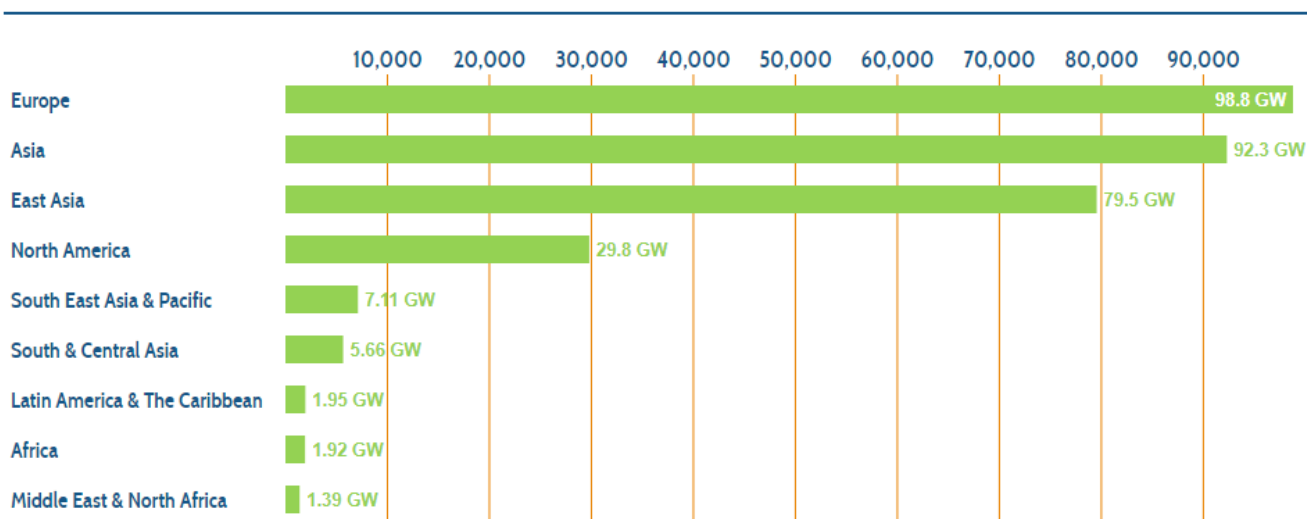
KUVA 1. Auringon säteilyenergiakartta (Wikimedia Commons 2017)

2.2 Aurinkoenergian kapasiteetti Suomessa ja maailmalla

Energiavirasto on kerännyt tietoa suomalaisilta jakeluverkkoyhtiöiltä sähköverkkoon liitetystä pientuotantokapasiteetista, joissa tuotantoyksikön teho on alle 1 MW. Tällaisten pientuotantoyksiköiden tuotantokapasiteetti on Suomessa noin 156 MW. Aurinkoenergian lisäksi pientuotannossa on mukana muitakin eri tuotantomuotoja, kuten tuulivoima ja bioenergia. Aurinkoenergia on kuitenkin kasvanut eniten eri tuotantomuodoista. Energiaviraston keräämän aineiston mukaan aurinkosähkötuotannon kapasiteetti oli vuoden 2016 lopussa noin 27 MW, kun vuoden 2015 kapasiteetti oli vain noin 8 MW. (Energiavirasto 2017.)

Maailmanlaajuisesti aurinkoenergian tuotantokapasiteetti oli vuoden 2015 lopussa 227 GW, ja sen osuus on yhden prosentin verran koko maailman sähköntuotannosta. Eurooppa ja Aasia ovat aurinkosähkötuotannon kärjessä (vrt. KUVIO 1). Suurimpia aurinkosähkön yksittäisiä tuottajamaita ovat Saksa, Kiina, Japani, Italia ja USA. (World Energy Council 2016.) Näistä esimerkiksi Saksassa aurinkosähköä oli vuoden 2015 lopussa käytössä noin 40 GW, joka on reilusti yli 1000-kertainen määrä Suomeen verrattuna. Määrä jakautui noin 1,5 miljoonalle eri aurinkosähkövoimalalle, joiden tuotoilla katettiin suunnilleen 7,5 prosenttia koko Saksan sähkönkulutuksesta. (Lampila 2016.)

SOLAR INSTALLED CAPACITY BY REGION

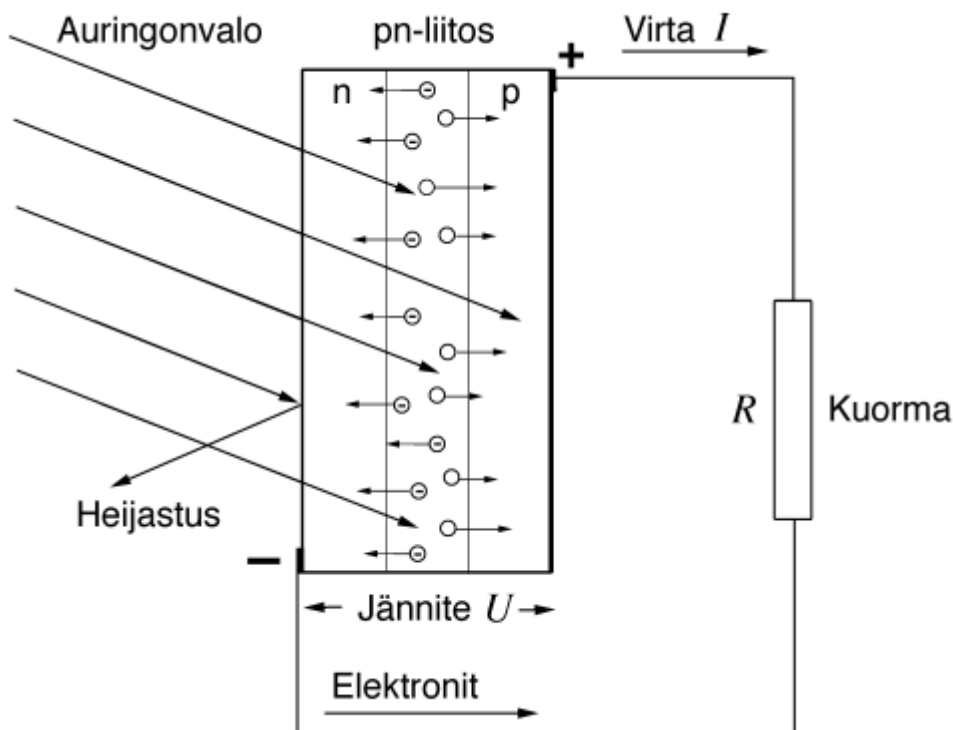


KUVIO 1. Asennetun aurinkosähkötuotannon kapasiteetti maanosittain vuonna 2015 (World Energy Council 2016)

3 AURINKOPANEELIT

3.1 Rakenne ja toimintaperiaate

Aurinkokennoa voidaan ajatella suurena fotodiodina, jossa yhdistyy kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Kennoon kohdistuva auringonvalo muuttuu suoraan sähkövirraksi. Tämä johtuu siitä, että osalla valohiukkasista eli fotoneista on niin suuri energia, että ne läpäisevät ohuen pintakerroksen ja osuvat pn-liitokseen, jolloin ne muodostavat elektroni–aukkopareja. Pn-liitoksen lähellä muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Elektronit voivat kulkea ainoastaan tiettyyn suuntaan rajapintaan syntyneen sähkökentän vuoksi. Niiden täytyy kulkea ulkoisen johtimen kautta p-tyypin puolijohteeseen, jossa ne sitten voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun pn- liitoksen molemmilla puolilla on siten koko ajan vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, jolloin liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä. Yleisimmin käytetty materiaali aurinkokennoissa on pii (Si). Sitä käytetään yksi- ja monikiteisenä sekä lisäksi amorfisessa muodossa. (Suntekno 2012b.)



KUVA 2. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno 2012b)

3.2 Aurinkopaneelityypit

Markkinoilla on saatavilla useita erilaisia aurinkopaneeleita, jotka eroavat toisistaan lähinnä valmistusteknologian, koon, tehon ja hyötysuhteen perusteella. Yleisimmät paneelityypit ovat yksikide- (monocrystalline, c-Si), monikide- (polycrystalline, c-Si) ja ohutkalvopaneelit. Näiden markkinaosuudet jakautuivat vuonna 2013 niin, että monikidepaneelien osuus oli noin 55 %, yksikidepaneelien noin 36 % ja ohutkalvopaneelien sekä muiden osuus noin 10 %. (Saviranta 2016.)



KUVA 3. Yksikide- ja monikidepaneeli (freemansolar 2017)

Kiinteistöikäytössä eniten käytetään yksikide- ja monikidepaneeleita, joista monikidepaneeli on yleisempi. Yksikidepaneeli koostuu yksikiteisestä piistä sahatuista pyöreistä kiekkoista, joista on leikattu palat pois, jotta aktiivinen pinta-ala saadaan laajemmaksi. Puolijohteen yhtenäisen kiderakenteen myötä hyötysuhde saadaan erittäin korkeaksi silloin, kun aurinko paistaa puolijohteeseen kiderakenteen kannalta optimaalisesta suunnasta. Yksikidepaneelien wattihinta on hieman monikidepaneelia suurempi. Yksikiteisen paneelin tunnistaa aktiivisen alueen vieressä olevista salmiakkikuvioista. (Käpylehto 2016, 57–58.)

Monikidepaneelin puolijohteesta voidaan valmistaa helpommin halutun kokoinen, ja näin koko paneelin pinta-ala saadaan katettua kokonaan kennoilla. Kiderakenteen ollessa erilainen hyötysuhde jää pienemmäksi kuin yksikiteisellä paneelilla. (Käpylehto 2016.) Monikiteisen paneelin tuntomerkit ovat paneelin pinnassa erottuvat kiteiden rajat ja kennojen kulmista puuttuvat pyöritykset (Perälä 2017).

Kiteisten kennojen ohella käytössä on myös huokeita amorfisesta piistä valmistettuja kevyitä ohutkalvokennoja. Niissä käytetään huomattavasti vähemmän piimateriaalia kuin kidepaneeleissa. Ohutkalvokennot ovat taipuisia, joten ne soveltuvat esimerkiksi ulkoilukäyttöön: rinkan kylkeen sijoitetulla kennoilla voidaan ladata vaikka matkapuhelinta. Haittana amorfisilla piikennoilla on heikko hyötysuhde ja lyhyt, muutamaan vuoteen rajoittuva käyttöikä. (Perälä 2017.)



KUVA 4. Taipuisa ohutkalvopaneeli (Swenergia 2017)

Ohutkalvotyypisiä amorfisia aurinkokennoja valmistetaan myös muistakin materiaaleista kuin piistä. CdTe-kennoissa käytetään kadmiumia ja telluuria. CIGS-kennoissa käytetään puolestaan kuparia, indiumia, galliumia ja seleeniä. CIGS-kennoista on vasta muutamien vuosien käyttökokemus, joten niiden tulevaisuutta on vielä hankala arvioida. Ohutkalvokennojen kehitystyö on nykyisin voimakasta, ja niiden ennustetaan valtaavan markkinoita tulevaisuudessa. (Perälä 2017.)

3.3 Paneelien hyötysuhde

Nykyisten aurinkopaneelien hyötysuhde (efficiency) on noin 16–21 prosentin välillä riippuen kennotyypistä. Yksikiteisen aurinkopaneelin hyötysuhde voi olla teoriassa jopa 31 prosenttia, mutta metallisten virtajohtimien ja kennojen väliin jäävien kaistojen pienentämä hyötypinta ja rekombinaatio puolijohteessa pienentävät aurinkokennojen hyötysuhdetta 17–21 prosenttiin. Monikiteisissä aurinkopaneeleissa hyötysuhde jää 16–19 prosentin välille, mikä on siis hiukan alempi kuin yksikiteisissä paneeleissa. Eron syynä on monikiteisten kennojen kidevirheet, jotka aiheuttavat enemmän rekombinaatiota, ja virtaa myös menetetään enemmän. Monikiteiset aurinkopaneelit ovat kasvattaneet suosiotaan yksiki-

teisiä edullisemman hintatasonsa ansiosta. Matalampi hyötysuhde voidaan korvata suuremmalla paneelimäärällä. (Perälä 2017.)

Aurinkopaneelien hyötysuhteeseen vaikuttavat paneelien ominaisuuksien lisäksi myös niiden ikä, käyttökohteet, suuntaus ja varjostus sekä sääolosuhteet, kuten ympäristön lämpötila. Aurinkoenergia on tuottavinta silloin, kun paneelit ovat uusia ja esimerkiksi 12 vuoden päästä tehon tuotto on vieläkin 90 prosenttia. Paneelien tehontuotantotakuu on 30 vuotta. Tehokkaan tuotannon kannalta on optimaalisinta, jos paneelien tuottama energia kyetään hyödyntämään saman tien välittömässä käyttökohteessa. Suuntaamalla paneelit etelään, länteen tai lounaaseen oikeassa kulmassa voidaan myös teho maksimoida. Tehokkaimpaan tuotantoon päästään 40–45 asteen kulmalla. Myös sääolosuhteet vaikuttavat keskeisesti aurinkopaneelien hyötysuhteeseen. (Halikon Huoltosähkö Oy 2018.) Hyötysuhde paranee matalassa lämpötilassa, eli aurinkopaneelit toimivat sitä paremmin, mitä viileämpää on. Viileää ilmanalaa voidaan pitää erityisesti Suomen etuna. (LUT 2017.)

3.3.1 Hyötysuhteen laskeminen

Aurinkopaneelin hyötysuhde saadaan laskettua siten, että jaetaan paneelin nimellisteho W_p paneelin pinta-alan ja säteilytehon 1000 W/m^2 tulolla. Esimerkiksi, jos paneelin nimellisteho on 270 Wp ja pinta-ala on $1,63 \text{ m}^2$, hyötysuhde on tällöin 16,6 prosenttia. Tällöin paneeliin kohdistuneesta auringon säteilyenergiasta 16,6 prosenttia muuttuu sähköenergiaksi. (Finnwind 2017.)

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\max}}{E * A_c} * 100\%$$

P_{\max} = Maximum Power Output (in W)

E = incident radiation flux (in W/m^2)

A_c = Area of collector (in m^2)

KUVIO 2. Aurinkopaneelin maksimihyötysuhteen laskentakaava (Rfwireless-world 2012)

3.3.2 Hyötysuhteen tulevaisuus

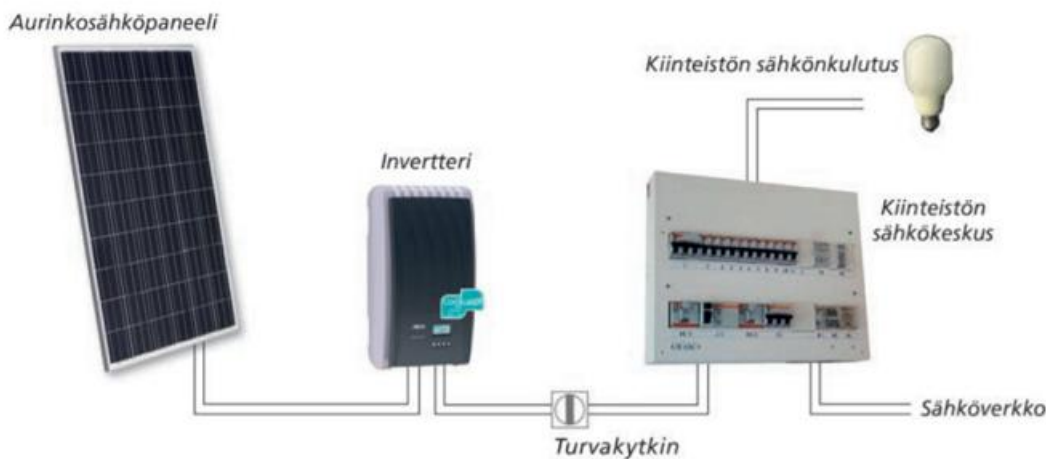
Hyötysuhteen parantamiseksi tehdään jatkuvasti kehitystyötä. Japanissa tutkijat ovat saaneet nostettua hyötysuhteen jo yli 26 prosenttiin. Tähän saakka paras tulos on Kaneka-yhtiön saavuttama 26,6 prosenttia niin sanottu heteroliitokseen perustuvissa kennoissa. Teoreettisella tasolla piiohutkalvoilla saatava maksimihyötysuhde on 29,1 prosenttia. Kanekassa kehitetty ohutkalvo voidaan valmistaa nykyisillä teollisilla prosesseilla, joten uudenlainen tehokkaampi aurinkokennokalvo on myös kaupallistettavissa. Kehitystyötä on tehty myös muunlaisilla rakenteilla. Parhaimmillaan on saavutettu jopa yli 40 prosentin hyötysuhde, kun auringonvaloa on kerätty kennostoon erityyppisillä keskittimillä. (Etn 2017.)

4 VERKKOON LIITETTY AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

4.1 Järjestelmän osat

Kiinteistöön liitetyn aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, verkkoinvertteri, turvakytkin ja muut asennustarvikkeet. Aurinkopaneeleita käsittelin jo luvussa kolme, joten tässä luvussa avaan muiden pääkomponenttien merkitystä aurinkosähköjärjestelmässä.

Tiivistettynä aurinkosähköjärjestelmä toimii seuraavasti (kuva 5): Aurinkopaneelien tuottama tasavirta muunnetaan verkkoinvertterissä vaihtovirraksi, jossa se synkronoituu verkkoon ja huolehtii suojauksista. Aurinkopaneelit kytketään verkkoinvertterissä oleviin tracker- eli seurantapiireihin. (Käpylehto 2016, 71–72.) Aurinkosähköjärjestelmässä paneelit kytketään yleensä verkkoinvertterin kanssa sarjaan, ja tällaisesta sarjaan kytketystä aurinkopaneelien joukosta käytetään nimitystä paneeliketju. Verkkoinvertteri, johon kytketään paneeliketju, on niin sanottu string-invertteri ja yhden aurinkopaneelin kanssa käytettävää invertteriä kutsutaan mikroinvertteriksi. (Aurinkovirta 2018.)



KUVA 5. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanokuva (Varaaja 2018)

4.2 Verkkoinvertteri

Verkkoinvertterin kautta aurinkopaneelit saadaan kytkettyä suoraan kiinteistön omaan sähköverkkoon ilman akkuja. Tämä mahdollistaa sen, että aurinkosähkön voi käyttää ensin itse ja ylijäämäsähkön voi myydä sähköverkkoon. Suomessa invertteri liitetään sähköverkkoon verkkoyhtiön mittarin perään

kiinteistön sähkölaitteiden rinnalle, jolloin järjestelmästä saadaan edullinen ja yksinkertainen. Verkkoinvertteri voi olla joko 1-vaiheinen

en (yksivaiheinen) tai 3-vaiheinen (kolmivaiheinen). Inverttereitä on paljon eri tehoisia, joista 1,5–12kVA-tehoiset invertterit sopivat kotikäyttöön ja 15–50kVA-tehoiset sopivat erityisesti maatala- ja yrityskäyttöön. (Aurinkovirta 2018.)

Invertterin tärkeimpiä ominaisuuksia on, että se toimii turvallisesti ja tehokkaasti sekä muuntaa aurinkopaneelien tuottamasta tasasähköstä laadukasta siniaaltoista verkkovirtaa mahdollisimman pienin häviöin. Tärkeää on myös hyvä hyötysuhde, jolla paneelien sähkö muunnetaan verkkosähköksi. Kunnollisen verkkoinvertterin hyötysuhde vaihtelee 97,5–98,5 prosentin välillä, ja hyötysuhteeksi ilmoitettu osa muutetaan tasasähköstä vaihtosähköksi. Loppuosa 1,5–2,5 prosenttia paneelien tuottamasta sähköstä muuttuu hukkalämmöksi. (Aurinkovirta 2018.)



KUVA 6. SUNNY TRIPOWER 100000TLEE-JP-verkkoinvertteri (Sma 2018)

4.3 Turvakytkin

Aurinkosähköjärjestelmässä on oltava myös turvakytkin, joka erottaa verkkoinvertterin sähköverkosta. Sähköturvallisuusmääräysten mukaisesti turvakytkin tulisi asentaa paikalle, johon on esteetön pääsy.

Tasavirtapuolella turvakytkin on joissakin verkkoinverttereissä valmiiksi mukana, kuten SMA:n laitteissa alaosassa oleva irrotettava kytkin. (Käpylehto 2017, 148.)



KUVA 7. Turvakytkin (Aurinkopaneelikauppa 2018b)

4.4 Kaapelit

Kaapeloinneissa tasavirtapuolella paneeliston ja verkkoinvertterin välillä käytetään suojattua teräskaapelia, joka on yleensä 6 tai 10 mm² vahvuista niin sanottua aurinkopaneelikaapelia. Vaihtovirtapuolella eli verkkoinvertterin, turvakytkimen ja sähköpääkeskuksen välillä voidaan käyttää normaalia sisäasennuskaapelia, esimerkiksi MMJ 5 x 6 mm². Paneeliston maadoituksessa käytetään 16 mm² maadoituskaapelia, joka kytketään paneeliston maadoituskorvakkeeseen ja maadoituspiste esimerkiksi johonkin teräsrakenteeseen. Paneelistolta tuleva tasavirtakaapelointi voidaan viedä sähköpääkeskukselle esimerkiksi talon ulkoseinää pitkin putkitettuna tai käyttäen olemassa olevia johdotuskanavia. Kaapeloinnin mitoituksessa on hyvä ottaa huomioon siinä syntyvä jännitehäviö, jonka aiheuttaa johtimen resistiivisyys. (Käpylehto 2017, 141,153, 154.)

Kaapelin resistanssi ja tehohäviö saadaan laskettua kaavalla:

$$R = \left(res * \frac{L}{A} \right) * (1 + ltk * (t - 20))$$

$$Jännitehäviö U = I * R$$

$$Tehohäviö P = U * I$$

R = kaapelin resistanssi ohmia

res = resistiivisyys (kupari 0,017)

L = kaapelin pituus (m)

A = poikkipinta-ala (mm²)

ltk = lämpötilakerroin

t = johtimen lämpötila (°C)

U = jännite (häviö)

I = virta

P = teho

4.5 Kiinnitysjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmään asennuksessa tarvitaan lisäksi kiinnitysjärjestelmä, joka koostuu kattokiinnikkeistä, alumiiniprofiileista, liittimistä, kiinnitysruuveista ja vastakappaleista. Eri kattotyypeille on saatavilla omanlaisensa kiinnikkeet. (Käpylehto 2017, 161.)



KUVA 8. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän asennuspaketista (Aurinkopaneelikauppa 2018a)

5 JÄRJESTELMÄN MITOITTAMINEN

Kun aurinkosähköjärjestelmän kokoa lähdetään mitoittamaan, perusteltuna lähtökohtana voidaan pitää sitä, että tuotosta saadaan suurin osa hyödynnettyä itse ja sähköverkkoon myytävä osuus jää pieneksi kokonaistuotantoon nähden. Tällä tavalla on mahdollista saavuttaa paras taloudellinen lopputulos. Optimaalisen mitoituksen tekeminen on vaikeaa, joten siinä kannattaa hyödyntää alan ammattilaista. Mitoitukseen voivat vaikuttaa myös käytössä oleva asennuspinta-alan laajuus tai ulkonäköseikat. (Motiva 2018.)

Mitoituksen suunnittelussa voidaan käyttää apuna kohteen sähköenergian kulutuksen mittaustietoja, mikä on tärkeää silloin, kun enimmäistuottotarvetta suunnitellaan. Kulutustiedot löytyvät nykyään kattavasti tunnin tarkkuudella jakeluverkkoyhtiöiden verkkopalveluista. Jo yhden vuoden mittaustietojen perusteella saadaan selvitettyä melko tarkasti kohteen pohjakulutus eli se energiamäärä, jonka kohde vähintään kuluttaa jokaisen tunnin aikana, jona aurinkosähköä voidaan tuottaa. Vaikka pohjakulutus olisikin öisin lähellä nollaa, sitä ei tarvitse ottaa mitoituksessa huomioon, koska silloin ei ole tuottoakaan. Tuotantomäärän kuukausittainen vaihtelu huomioidaan mitoituksessa yleensä siten, että hyvänä tuotantoaikana tuotettua energiaa jää myytäväksi verkkoon. Tällä tavoin myös vuoden kokonaistuotto saadaan suuremmaksi, kun kevät- ja syksyaikoina tuotetun aurinkosähkön määrä riittää pitemmäksi ajaksi omaan käyttöön. (Motiva 2018.)

Mitoituksessa voidaan hyödyntää myös automaatiota, jonka avulla kiinteistön sähkönkulutusta voidaan jakaa tasaisemmin päivän aikana. Pohjakulutusta voidaan lisätä niinä aikoina, kun aurinkosähköä on eniten saatavilla eli kulutusta siirretään käytännössä päiväaikaan. Automaation avulla kulutusta on mahdollista ohjata aurinkosähkön tuotantohuipun aikana niin, että mahdollisimman suuri osa sähköstä saadaan hyödynnettyä itse. (Motiva 2018.)

6 AURINKOSÄHKÖN MYYMINEN

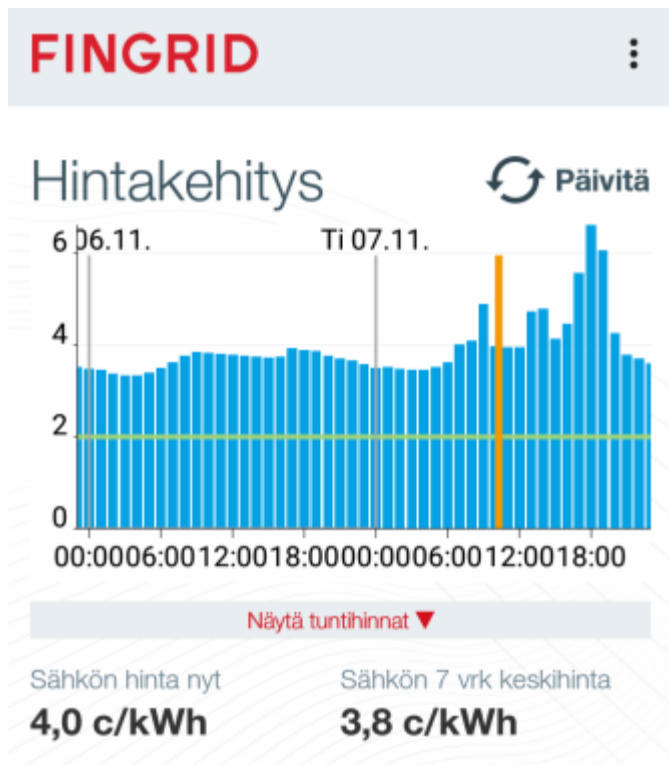
6.1 Ylijäämäsähkön syöttö verkkoon

Vaikka Suomessa ei vielä olekaan aurinkosähkölle tarkoitettua syöttötariffia eli takuuhintajärjestelmää käytössä, voi aurinkokennoilla tuotettua sähköä myydä, jos järjestelmä on kytketty sähköverkkoon ja aurinkosähkön tuottajalla on sopimus ylijäämäsähkön myymisestä sähkön myyjän kanssa. Ilman sopimusta sähköä ei saa syöttää verkkoon. Verkkoon syötetyn sähkön siirrosta, mittaroinnista ja tuotantolaitteiston verkkoon liittamisestä vastaa paikallinen jakeluverkkoyhtiö. Verkkoon syötettyä tuotannon määrää mitataan verkkoyhtiön mittareilla tunnin välein. Sähkönmyyjien kilpailuttaminen ja vaihtaminen on mahdollista, mutta jakeluverkkoyhtiön ei. Tietoa aurinkosähköä ostavista sähköyhtiöistä, ostoehtoista ja hinnoista löytyy Sähkön hintavertailu-palvelusta, jota ylläpitää Energiavirasto. (Motiva 2017.)

6.2 Spot-hinnoittelu

Ostosähkön hinnoittelu perustuu markkinahintaan. Yleisesti hinnoittelun määrittämisessä on käytössä sähköpörssissä noteerattava Spot-hinta, joka muuttuu tunneittain. Spot-hinta on yleensä korkeimmillaan päivisin–varsinkin aamulla ja alkuillasta. Tuolloin olisikin järkevää korvata päiväajan sähkönkulutusta omalla tuotannolla ja muuna aikana käyttää halvempaa Spot- ostosähköä. Huomioitavaa on, että sähkön hinnan muodostukseen vaikuttaa monta tekijää ja hinnan vaihtelu vuorokausitasolla voi olla suurtakin.

Sähköstä maksettava hinta tuottajalle on samaa tasoa, mitä tuottaja joutuisi itsekin maksamaan käyttämästään sähköenergiasta. Muistettavaa on vielä se, että verkkoon syötettävän sähköenergian myyntituloista pientuottajan maksettavaksi jää sähkönsiirtomaksut ja verot. Niistä muodostuvat kulut voivat olla jopa kaksi kolmasosaa siitä kokonaishinnasta, jonka tuottaja maksaa kuluttamastaan sähköstä. (Motiva 2017.)



KUVIO 3. Spot-sähkön reaaliaikainen markkinahintadiagrammi (Fingrid 2017)

7 ENERGIA TUET

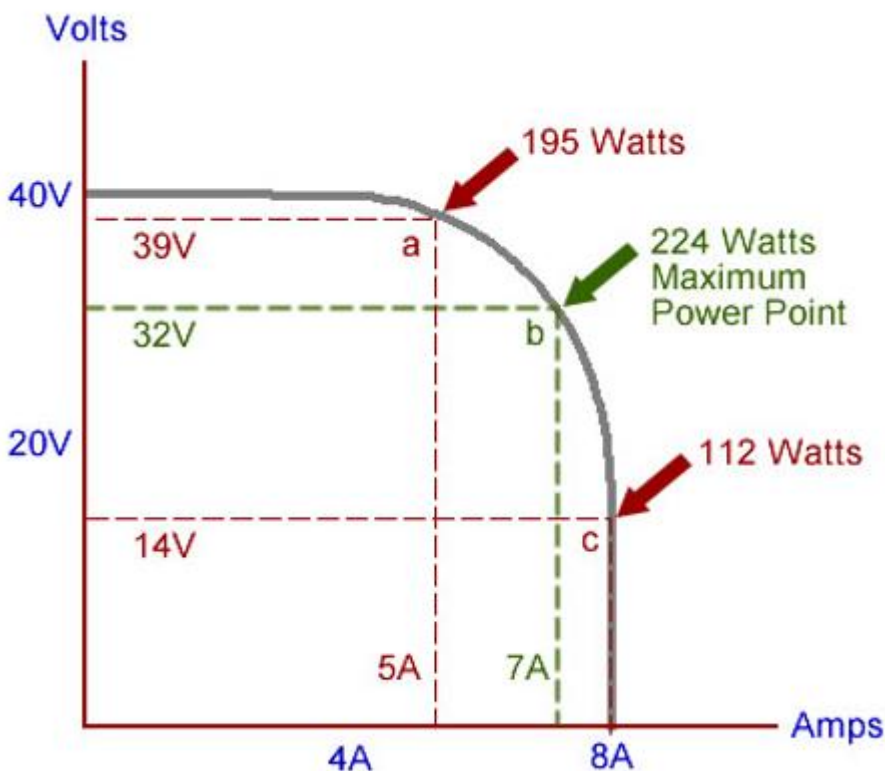
Aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen vaatii aina alkuinvestointeja. Järjestelmän hankinnan avuksi on saatavissa kuitenkin eri tahojen myöntämiä tukia ja avustuksia. Näitä ovat kotitalousvähennykset, maatalouksien investointituet sekä kuntien, yritysten ja yhteisöjen energiatuet (ESE 2018). Energiatukien keskeisenä tavoitteena on edistää uuden energiateknologian käyttöä. (Business Finland 2018.)

Yksityishenkilöt voivat hakea kotitalousvähennystä omakotitalon tai vapaa-ajan asunnon aurinkosähköjärjestelmän asennustyöstä. Kotitalousvähennyksen määrä riippuu siitä, palkkaako työntekijän itse vai teettääkö työn yrityksellä. Vähennys on kuitenkin enintään 50 prosenttia työn osuudesta ja korkeintaan 2 400 euroa/henkilö 100 euron omavastuuosuudella. (Verohallinto 2018.) Kunnat, yritykset ja yhteisöt voivat saada energiatukea, jolla voi kattaa 25 prosenttia investointikustannuksista. Energiatukea myöntää Business Finland, jonka muodostavat 2018 tammikuussa yhdistyneet teknologiarahoittaja Tekes ja kansainvälistymispalveluja tarjoava Finpro. (Business Finland 2018.) Maatilat voivat hakea aurinkoenergiainvestointitukea Mavista eli maatalouden investointitukirahoista. Tuki on 40 prosenttia investointikustannuksista, ja tuen on oltava aina vähintään 7000 euroa. (Mavi 2018.)

8 MPPT-TEKNIikka

8.1 MPPT-toiminnon periaate

Nykyaikaisissa lataussäätimissä ja verkkoinverttereissä käytetään MPPT-toimintoa (Maximum Power Point Tracking) eli maksimitehopisteen jäljitystä, jolla tarkoitetaan aurinkopaneelin kuormittamista jatkuvasti suurimmalla mahdollisella teholla (Perälä 2017). MPPT-teknologiaa hyödyntämällä aurinkosähköjärjestelmästä saadaan käyttöön paras mahdollinen hyötysuhde ja tuotantopotentiaali, kun MPPT-yksikkö säätää aurinkopaneelien ulostulojännitteen toimimaan maksimitehopisteessä. (Motiva 2016.) Vaikka auringon säteily, aurinkopaneelin lämpötila tai akun varaustila vaihtelee, lataussäätimen MPPT-toiminto säätää paneelin toimimaan maksimiteholla. Sitä pistettä, jolloin aurinkopaneelin teho on suurimmillaan, kutsutaan tuottokäyrällä maksimitehopisteeksi. Paneelin maksimitehon määrään vaikuttavat auringon säteilyn voimakkuus ja paneelin lämpötila. Säteilyn voimistuessa siis paneelin maksimiteho kasvaa, mutta huomioitavaa on myös se, että paneelin lämpeneminen alentaa paneelin tuottamaa jännitettä ja näin ollen siitä saatavaa tehoa. (Perälä 2017.)



KUVIO 4. Aurinkopaneelin maksimitehopisteen kuvaaja (Mysolarshop 2018)

8.2 Maksimitehopisteen etsintämenetelmät

8.2.1 Kokeile ja vertaa

MPPT-säädin voi löytää aurinkopaneelin maksimitehopisteen monin eri tavoin. Yksi tavoista on kokeile ja vertaa -menetelmä (Perturb and observe), jossa säädin muuttaa jatkuvasti paneelista otettavaa jännitettä pienin askelin joko suuremmaksi tai pienemmäksi. Jokaisen askeleen jälkeen mitataan, kasvoi ko vai pieneni paneelin antama teho. Jos teho kasvoi, säädin ottaa vielä seuraavankin askeleen samaan suuntaan. Jos teho pieneni, säädin ottaakin askeleita taaksepäin. Säädin muuttaa askeleitaan niin kauan, kunnes huippukohta on saavutettu. Menetelmän huonona puolena on se, että säädin voi ottaa turhia edestakaisia askelia etsiessään parasta tehoa, ja tällöin liikkeet näkyvät toiminnassa värähtelyinä. (Perälä 2017, 70–74.)

8.2.2 Sisäinen differentiaalinen resistanssi

Toisena maksimitehon etsintätapana on menetelmä, joka perustuu sisäisen differentiaalisen resistanssin määrittämiseen. Tämä tapa on kokeile ja vertaa -menetelmää nopeampi ja vaatii säätimeltä tehokkaampaa laskentakykyä. Säädin muuttaa paneelista otettua ΔI -virtaa hieman ja mittaa, kuinka paljon ΔU -jännite silloin muuttuu. Näiden arvojen suhteesta $\Delta U/\Delta I$ saadaan laskettua paneelin sisäinen differentiaalinen resistanssi. Tämän jälkeen verrataan differentiaalista resistanssia paneelin jännitteen ja virran suhteeseen U/I eli sen staattiseen resistanssiin, jolloin löydetään maksimitehopiste. Paneelin staattinen jännite/virta-suhde ja sen differentiaalinen resistanssi ovat yhtä suuret maksimitehopisteen kohdalla. Säädin toimii tässä pisteessä niin kauan, kunnes olosuhteet muuttuvat ja sama prosessi toistetaan uudelleen. Tässäkin menetelmässä voi syntyä värähtelyä, mutta harvemmin kuin kokeile ja vertaa -menetelmässä. (Perälä 2017, 70–74.)

8.2.3 Vakiojännitemenetelmä

Maksimitehoa voidaan etsiä myös kolmannella menetelmällä, jota kutsutaan vakiojännitemenetelmäksi. Sen oletuksena on, että paneelin maksimiteho U_{mp} on koko ajan tietty prosenttiosuus avoimen piirin jännitteestä U_{oc} . Yleensä prosenttiosuus on noin 76 prosenttia. Tämä menetelmä toimii siten, että virta katkaistaan hetkeksi ja mitataan samalla paneelin tyhjäkäyntijännite U_{oc} . Tämän jälkeen paneelia

kuormitetaan jännitteellä, joka on 76 prosenttia tyhjäkäyntijännitteestä. Tilanteen muuttuessa mittaus toistetaan. Menetelmää pidetään yksinkertaisena ja helppokäyttöisenä, mutta sen tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin muissa tavoissa, koska sama 76 prosentin osuus tyhjäkäyntijännitteestä ei välttämättä päde eri olosuhteissa. (Perälä 2017, 70–74.)

8.2.4 Virtapyyhkäisy

Maksimitehopisteen hakemiseen voidaan lisäksi käyttää virtapyyhkäisymenetelmää, jossa säädin mittaa paneelin virta/jännite-käyrän säännöllisesti muuttamalla nopeasti virtaa koko alueen yli ja mittamalla samanaikaisesti jännitteet eri virta-arvoilla. Näiden arvojen perusteella se laskee maksimitehopisteen ja aloittaa paneelin kuormituksen tässä pisteessä. (Perälä 2017, 70–74.)

9 SELVITYS AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN VALINNASTA KOHDEKIINTEISTÖÖN

9.1 Tietoa tarkasteltavasta kiinteistöstä

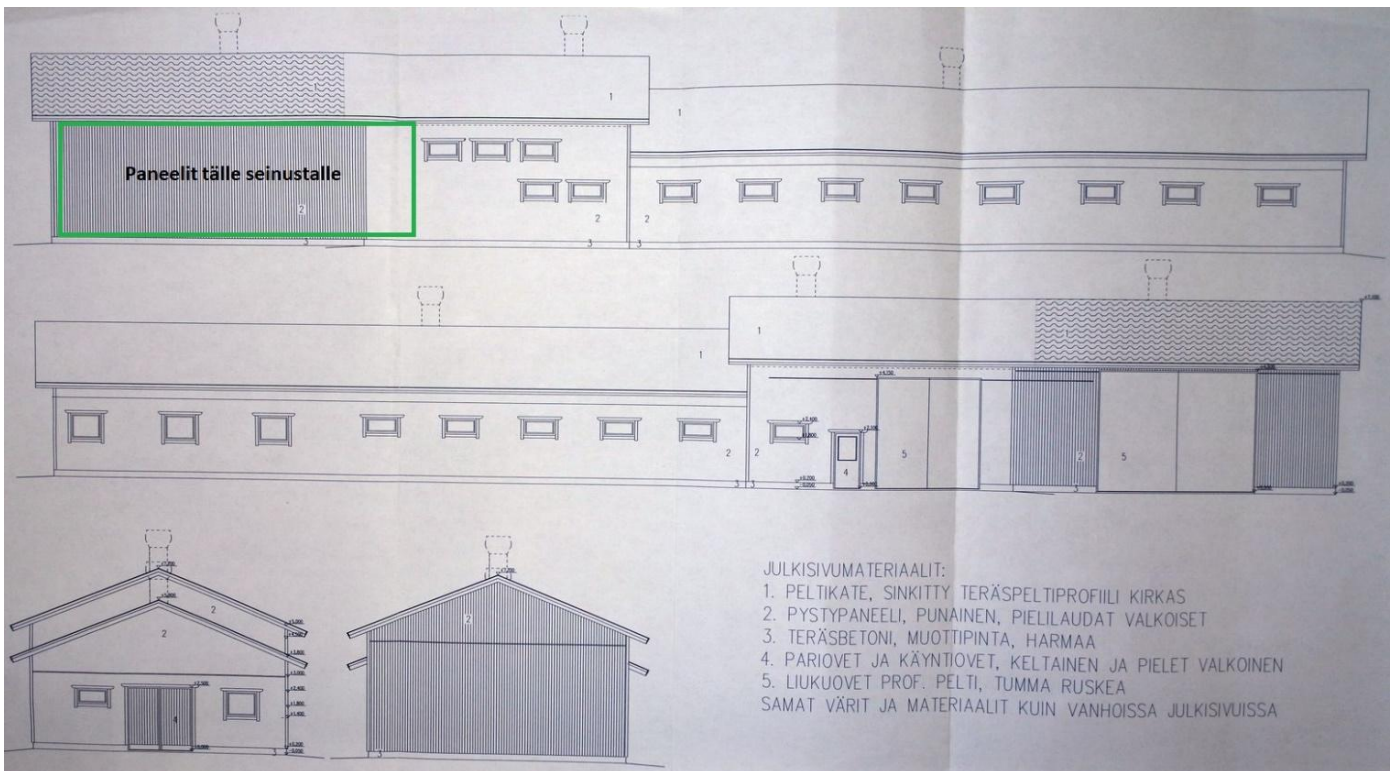
Tutkimukseni tavoitteena oli tehdä selvitys Muhosen tallille soveltuvasta aurinkosähköjärjestelmästä. Muhosen talli sijaitsee Keski-Pohjanmaalla Kokkolan Kälviällä. Talli on Suomen Ratsastajainliiton hyväksymä ratsastuskoulu, jossa on ympärivuotista ratsastustoimintaa kursseineen ja tapahtumineen. Tallilla on tällä hetkellä 23 hevosta ja ponia.

Kohteen rakennuksiin kuuluvat maneesi ja kaksi erillistä tallirakennusta (päätalli ja pikkutalli) rehuvarastoineen. Maneesi ja päätalli ovat pitkittäin katsottuina lähes itä-länsisuuntaisesti, niiden väliin jäävät sekä autojen parkkialue että läpikulkureitti tallin rehuvarastoon. Pikkutalli on pitkittäin katsottuna likimain pohjois-eteläsuunnassa siten, että se sijoittuu vastapäätä maneesin idänpuoleista päätyä.



KUVA 9. Ilmakuva tallirakennuksista (Paikkatietoikkuna 2018)

Paneeleille kaavailtu asennuspaikka (KUVA 9.) tulisi olemaan päätallin vuonna 2012 valmistuneen laajennusosan eteläpuoleinen seinä, jonka kokonaispinta-ala on noin 54 m², jossa seinän korkeus on 4 metriä ja leveys 14 metriä. Aurinkopaneeleille riittää siis hyvin asennustilaa. Seinälle paistaa aurinko suuren osan päivästä, eikä seinän edessä ole korkeita varjostavia elementtejä. Paneelien kiinnitykseen käytettäisiin seinätelineitä, joissa olisi hieman kallistuskulmaa ja jotka olisivat mahdollisesti säädettävissä.



KUVA 10. Päätallirakennus ja paneeleille kaavailtu sijoituskohta

9.2 Sähkönkulutus

Tallin sähkönkulutus on vuositasolla noin 22500 kWh. Sopimustyyppinä on kausisähkö, joka sopii kohteeseen silloin, kun sähköä käytetään kohtuullisen paljon myös talviöisin ja kesäaikana. Sähköä vievät eniten tallissa talviaikaan käytettävät lämminilmapuhaltimet ja ilmanvaihto. Sähkönkulutusta lisää myös lämminvesivaraaja, jota joutuu pitämään päällä lähes jatkuvasti suuren lämpimän veden tarpeen vuoksi.

Kulutusta on tasaisesti myös kesällä päiväsaikaan, jolloin aurinkosähköä voidaan hyvin hyödyntää. Esimerkkinä on heinäkuussa keskipäivällä mitattu pohjakulutuslukema, jonka suuruus oli mittaushetkellä 2,1 kW. Hetkellinen kulutus voi olla ajoittain suurempikin, koska tallilla käytetään välillä myös voimavirtaa tarvitsevia laitteita.

9.3 Auringon vuotuinen säteilyteho kohteessa

Alla oleva kuvio esittää kuukausittaiset aurinkoenergian säteilymäärät kohdekiinteistön kohdalla. Luekemat perustuvat PVsol-online-verkkosivustolta löytyvän laskurin tietoihin, johon kohteen osoitetiedot syötettiin.



KUVIO 5. Auringon vuotuinen säteily määrä kohdekiinteistön kohdalla (PVsol 2018)

10 JÄRJESTELMÄN VALINTA

Markkinoilla on tarjolla useita erilaisia vaihtoehtoja aurinkosähköjärjestelmäksi. Ne voivat vaihdella esimerkiksi teholtaan, tekniikaltaan, hinnaltaan ja laadultaan. Järjestelmä on mahdollista rakentaa osittamalla osat itse suoraan aurinkosähkötarvikkeita myyvältä taholta tai sen voi hankkia joltakin aurinkosähköjärjestelmiä myyvältä toimittajalta valmiiksi asennettuna. Valmispaketteja myyvien toimittajien määrä on kasvanut Suomessa lähivuosina runsaasti, ja niitä myyvät muun muassa monet LVI- ja sähköasennusyritykset kuin myös useat energiayhtiöt. Yritysten verkkosivuilla on esillä erikokoisia valmiiksi koottuja järjestelmiä käyttötarpeen mukaan. Useimmiten järjestelmiä markkinoidaan avaimet käteen -periaatteella ja niille on laskettu alkaen-hinta, josta ei käy kuitenkaan ilmi todellisia kustannuksia. Tarkemmat hinnat saadaan kysymällä suoraan laitetoimittajilta ja pyytämällä tarjoukset.

10.1 Vaihtoehdot aurinkosähköjärjestelmäksi

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kolmea järjestelmää, joista yksi on sähköyhtiön aurinkopaneelijärjestelmä ja kaksi muuta aurinkosähkötarvikkeita myyvien yritysten järjestelmiä. Mitoituksen perustana käytettiin kohteen 2,1 kW:n suuruista pohjakulutuslukemaa. Tarvittavan järjestelmän koko saadaan laskettua kaavalla $2,1 \text{ kW} / 0,8 = 2,6 \text{ kW}$. Jakolaskun nimittäjä 0,8 tulee oletuksesta, että todellinen huipputeho on 80 % nimellistehosta. Kaavan avulla verkkoon syötettävä sähkö voidaan minimoida. (Niemi 2018, 10.) Tämä tarkoittaa sitä, että tutkittavassa kohteessa tulisi tällöin olla nimellisteholtaan 2,6 kW:n aurinkosähköjärjestelmä, jotta aurinkosähkön tuotolla voitaisiin korvata mitattua pohjakulutusta.

Valitsin tutkimukseeni kolme erilaista aurinkosähköjärjestelmää, jotta saisin vertailutuloksiin hieman eroja. Kaikki järjestelmät ovat nimellistehoa hieman suurempia järjestelmiä, mutta tarkoituksella sen tehoiset, että tuotto voidaan käyttää suurelta osin itse. Vaikka ylijäämätuottoa tulisikin, sen voi tarvittaessa syöttää esimerkiksi vesivaraajaan invertterin kuormanohjausreletoiminnon avulla.

Tutkimuksen aurinkosähköjärjestelmät ovat Kokkolan Energian Pouta Priima 3,05 kW, Aurinkopaneelikaupan Aurinkovoimala 5,0 kW ja Thermosunin järjestelmä 7,41 kW. Alla olevissa taulukoissa olen listannut järjestelmien toimitussisällöt, vuosituoton ja hinnat. Järjestelmien tiedot ovat peräisin toimittajien verkkokauppojen sivuilta syksyltä 2018 ja näin ollen julkista tietoa.

Vaihtoehto 1: Pouta Priima 3,05 kW

TAULUKKO 1. Vaihtoehtojärjestelmä 1 (Kokkolan Energia 2018)

Nimellisteho	3,05 kW
Paneelien määrä	10 kpl 305 W NAPS Saana-paneelit
Invertteri	1 kpl Fronius Symo 3.0-3-M Wlan
Kiinnikkeet ja tarvikkeet	*AC-turvakytkin *Schletter-kiinnitysmekaniikka harjakatolle *Asennuksen pientarvikkeet *Tarvittava määrä 6 mm ² DC-kaapelia
Vuosituotto	n. 2600 kWh
Kokonaishinta (alkaen)	6559 € (työn osuus 2600 €)

Pouta Priima-pakettiin kuuluvat kotimaiset 300 Watin Naps Solar Systemsin toimittamat Saana-aurinkopaneelit, jotka ovat kokoluokassaan tehokkaimpia EU:ssa valmistettuja paneeleita. Naps Solar Systems on Suomen ja Pohjoismaiden johtava aurinkosähköjärjestelmien tuottaja, jonka ratkaisut pohjautuvat lähes neljäkymmenen vuoden kokemukseen energia-alalta.

Vaihtoehto 2: Aurinkovoimala 5,0 kW

TAULUKKO 2. Vaihtoehtojärjestelmä 2 (Aurinkopaneelikauppa 2018)

Nimellisteho	5,0 kW
Paneelien määrä	20 kpl 270W monikiteinen paneeli
Invertteri	1 kpl 5kW SMA 5000TL-20
Kiinnikkeet ja tarvikkeet	*AC-turvakytkin + opastekyltti *asennustelineet *asennuksen pientarvikkeet *30 m solarkaapelia + liittimet
Vuosituotto	n. 4320 kWh
Kokonaishinta (alkaen)	4990 € (+ Työn osuus)

Toisena vaihtoehtona on Aurinkopaneelikaupan 5,0 kW:n tehoinen järjestelmä, jonka odotettu vuosituotto on 4320 kWh. Verkkokaupan sivuilla ei ilmoiteta asennushintaa työlle, joten annan sille arviohinnaksi 1500 €.

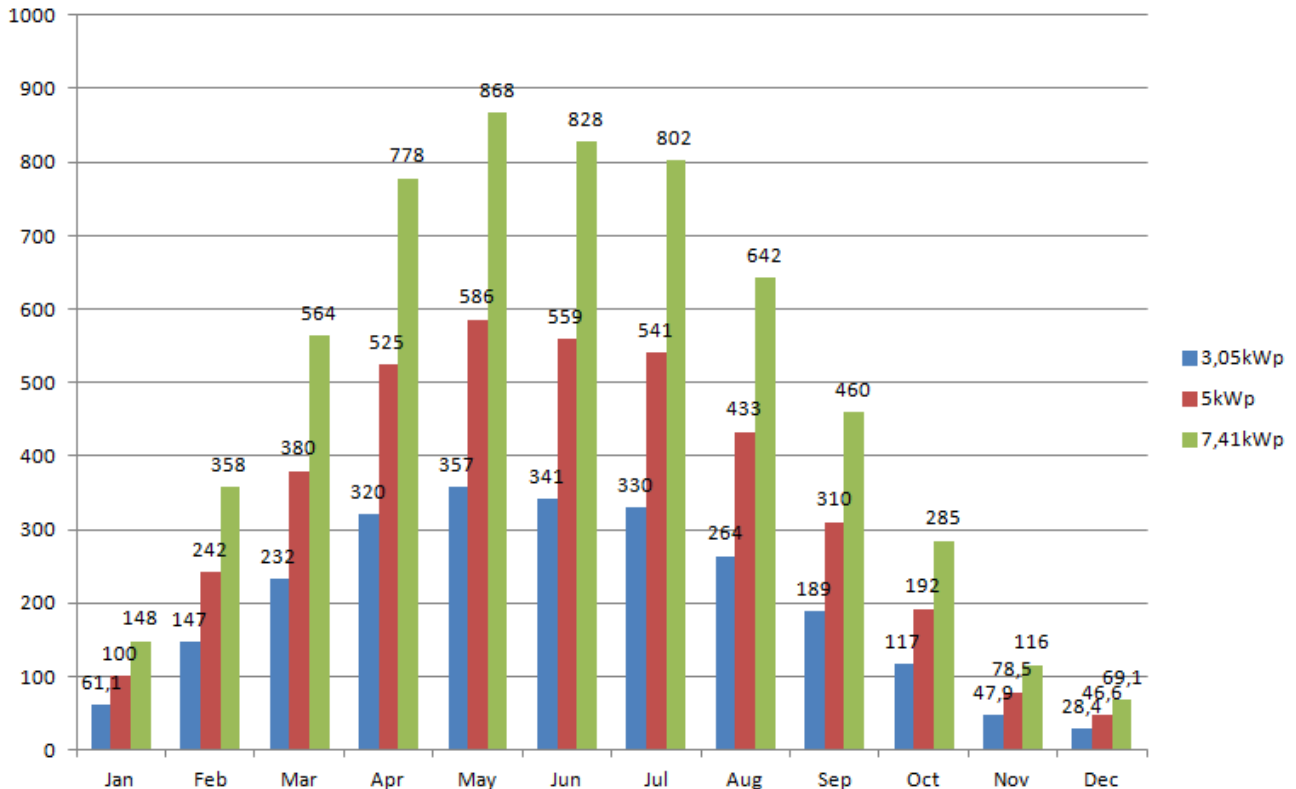
Vaihtoehto 3: Aurinkovoimala 7,41 kW

TAULUKKO 3. Vaihtoehtojärjestelmä 3 (ThermoSun 2018)

Nimellisteho	7,41 kW
Paneelien määrä	26 kpl 285W Astronenergy moniki- teinen paneeli
Invertteri	1 kpl Fronius Symo 7.0 3-S
Kiinnikkeet ja tarvikkeet	*AC-turvakytkin *Katto- tai seinäasennustelineet *Asennuksen pientarvikkeet *60 m 6 mm ² solarkaapelia + liittimet
Tuotto vuodessa	n. 5920 kWh
Kokonaishinta (alkaen)	7540 € (+ työn osuus €)

Kolmantena vaihtoehtona on Thermosunin järjestelmä, johon kuuluvat Astroenergyn 60-kennoiset aurinkopaneelit. Paneelien yhteispinta-ala on vähän yli 40 m², joten ne sopisivat vielä hyvin tutkimuskohteen seinäalueelle. Työn osuudelle arvioin hinnaksi 1700 €.

10.2 Vertailtavien järjestelmien vuosituoton arvio



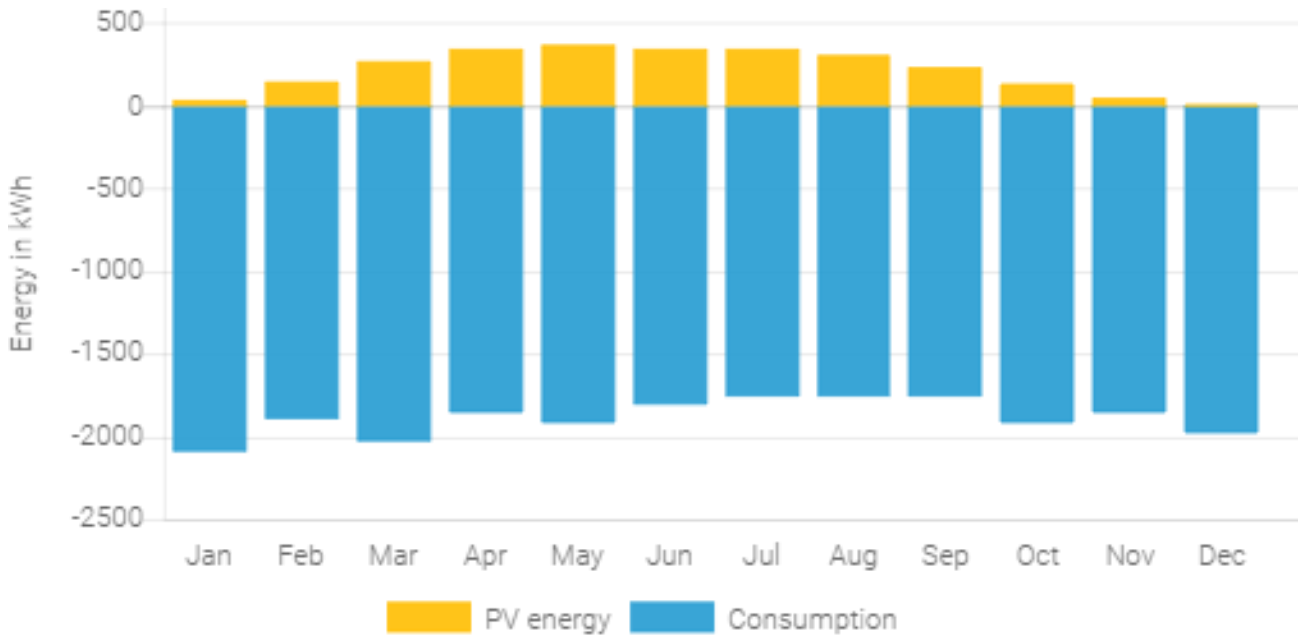
KUVIO 6. Järjestelmien vuosituottoarvio kuukausittain (PVGIS 2018)

Yllä oleva kuvio kuvaa vaihtoehtojärjestelmien vuosituoton jakautumista eri kuukausille. Tiedot perustuvat tietoihin, jotka on saatu PVGIS-laskurilla, joka on Euroopan Unionin ylläpitämä aurinkosähkölaskuri. PVGIS on lyhenne sanoista Photovoltaic Geographical Information System.

Saadut tuottoarvot on laskettu asettamalla laskuriin paneelien kulmaksi 55°, mikä on hieman optimaalista kulmaa suurempi arvo. Tämä on tehty siksi, koska paneelit asennettaisiin seinätelineisiin ja ovat oletuksena kattoasennukseen nähden suuremmassa kulmassa. Mahdollisella seinätelineiden säädettävyydellä voitaisiin vuosituottoa kasvattaa jonkin verran. Optimaaliseen kulmaan nähden vuosituotto ei kuitenkaan ole merkittävästi suurempaa. Laskelmien mukaan esimerkiksi 7,41 kW:n järjestelmän vuosituotto olisi 55° kulmalla 5918 kWh ja 44° kulmalla 5986 kWh eli vain 68 kWh enemmän. Paneelien suuremmasta kallistuskulmasta on etua etenkin talviaikana auringon ollessa matalalla.

Järjestelmää valittaessa kannattaa miettiä myös sitä, kuinka paljon järjestelmän tuotosta pystyy itse käyttämään. Tähänkin tarkoitukseen löytyy verkkosivustoja, joiden avulla voi simuloida tilannetta. Seuraavissa kuvioissa on kuvattu kunkin järjestelmän tuottoa suhteessa kulutukseen. Lukemat perustuvat PVSOL-online-sivuston antamiin tietoihin, johon syötettiin tietoja kohteen sähkönkulutuksesta.

3,05 kW-järjestelmän tuotantotietoja



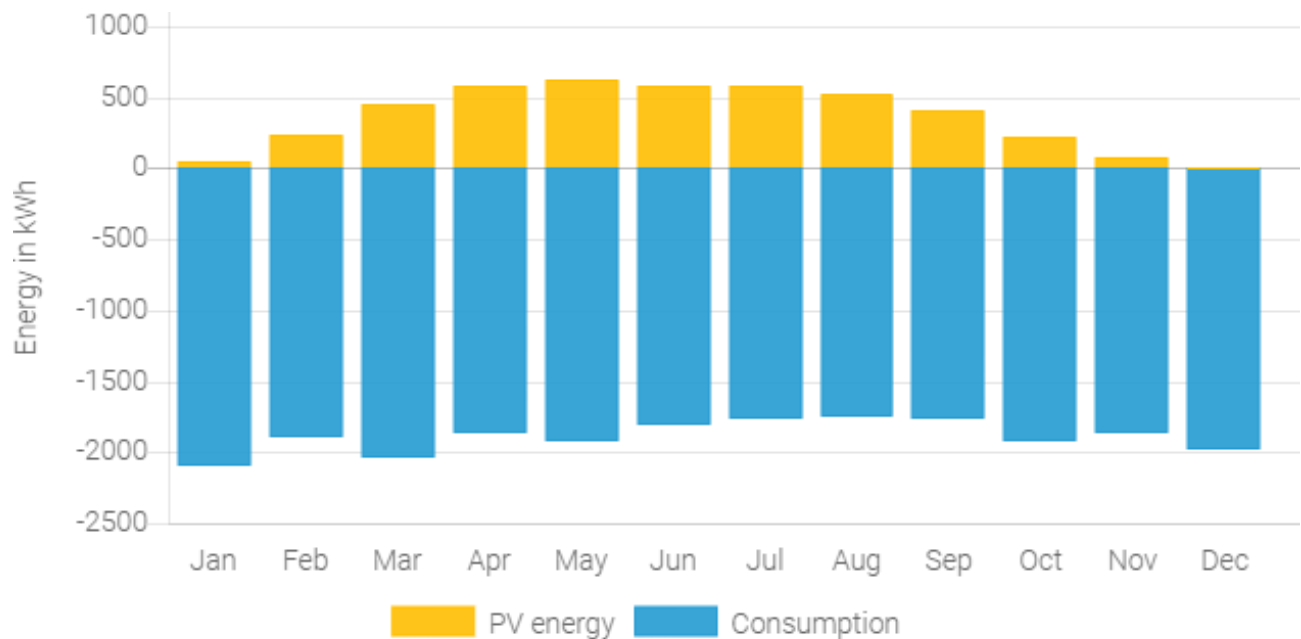
KUVIO 7. 3,05 kW-järjestelmän tuotantolukemia (PVsol 2018)

TAULUKKO 4. 3,05 kW-järjestelmän tuotantolukemia (PVsol 2018)

Annual PV energy	2534 kWh
thereof own consumption	2534 kWh
thereof grid feed-in	0 kWh
Own power consumption	100 %
Consumption	22500 kWh
covered by PV	2534 kWh
covered by grid	19966 kWh
Solar fraction	11.3 %
Avoided CO2 emissions	1356 kg/year

Vaihtoehdoista pienimmillä 3,05 kW:n järjestelmällä voidaan kattaa vuotuisesta sähkönkulutuksesta 11,3 prosenttia. Omakäyttöaste on täydet 100 prosenttia, joten kaikki aurinkosähkö voidaan hyödyntää itse.

5,0 kW-järjestelmän tuotantotietoja



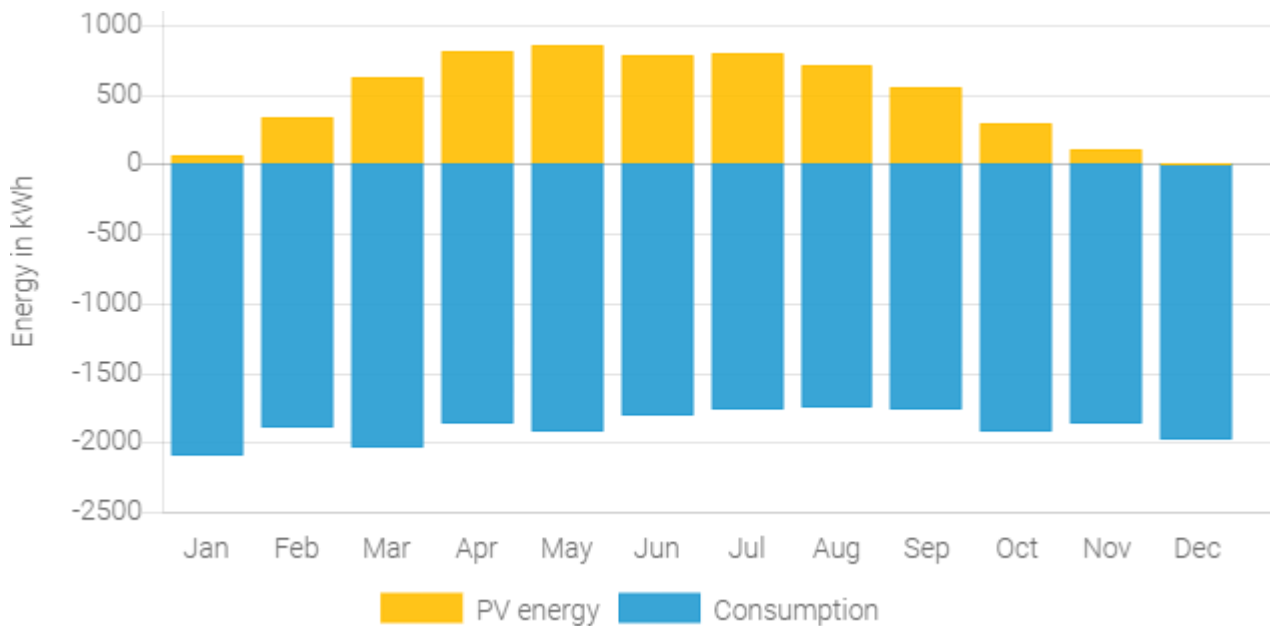
KUVIO 8. 5,0 kW-järjestelmän tuotantolukemia (PVsol 2018)

TAULUKKO 5. 5,0 kW-järjestelmän tuotantolukemia (PVsol 2018)

Annual PV energy	4353 kWh
thereof own consumption	4211 kWh
thereof grid feed-in	142 kWh
Own power consumption	97 %
Consumption	22500 kWh
covered by PV	4211 kWh
covered by grid	18289 kWh
Solar fraction	18,70 %
Avoided CO2 emissions	2329 kg/year

Järjestelmän tuoton omakäyttöaste on 97 prosenttia. Sähköä saattaa jäädä yli omankäytön kesäkuukausina mutta hyvin vähän, 142 kWh. Mahdollinen ylituotto voidaan ohjata esimerkiksi vesivaraajaan. Järjestelmällä on mahdollista tuottaa 18,70 prosentin osuus sähkön vuosikulutuksesta.

7,41 kW-järjestelmän tuotantotietoja



KUVIO 9. 7,41 kW-järjestelmän tuotantolukemia (PVsol 2018)

TAULUKKO 6. 7,41 kW-järjestelmän tuotantolukemia (PVsol 2018)

Annual PV energy	5937 kWh
thereof own consumption	5124 kWh
thereof grid feed-in	813 kWh
Own power consumption	86 %
Consumption	22500 kWh
covered by PV	5124 kWh
covered by grid	17376 kWh
Solar fraction	22,80 %
Avoided CO2 emissions	3176 kg/year

Vuosituoton käyttöaste on 86 prosenttia, jolloin ylituotantoa myytäisiin vuodessa noin 813 kWh. Ylituotantoa voidaan ohjata myös omaan käyttöön. Järjestelmällä tuotetun sähkön osuus sähkön vuosikuluksesta on 22,80 prosenttia. Hiilijalanjäljen hyvitys olisi 3176 kg vuodessa.

10.3 Investoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika

Yksi keskeisimmistä syistä aurinkosähköjärjestelmän hankkimiselle on sen taloudellisuus. Laskin järjestelmille kannattavuuslaskelman Finsolar-verkkosivuston aurinkosähkölaskuria hyödyntäen. Laskelman tunnusluvut muodostuvat järjestelmien nykyarvosta, takaisinmaksuajasta sekä sisäisestä korkokannasta. Takaisinmaksuaika ei sovellu tunnuslukuna aurinkojärjestelmien kaltaisille investoinneille kovin hyvin, koska se ei ota huomioon järjestelmän jäännösarvoa ja pitoaikaa. Hyvänä mittarina pidetään sen sijaan sisäistä korkokantaa eli IRR-lukua, joka kertoo tuottoasteen sijoitetulle pääomalle. Nettonykyarvolla tarkoitetaan investointiin diskontattujen kassavirtojen nykyarvoa. (Niemi 2018.)

TAULUKKO 7. Järjestelmien kannattavuusvertailu (Finsolar 2018)

Järjestelmän koko kW	Investointikulut €/kW (alv 0€)	Nettonykyarvo	Sisäinen korkokanta	Takaisinmaksuaika
3,05 kW	5 290 €	2903 €	5,7 %	17 v
5,0 kW	5234 €	7602 €	10,8 %	9 v
7,41 kW	7452 €	10366 €	10,5 %	9 v

Yllä olevassa taulukossa verrataan järjestelmien kannattavuutta toisiinsa. Kannattavuuslaskelman lähtöarvoiksi määritettiin kahden prosentin korkokanta ja 4,5 c/kWh ostosähkön hinta. Järjestelmien hintana on se, mikä niillä oli tarkasteluhetkellä verkkokauppojen sivuilla. Taulukosta voidaan havaita, että pienimmän järjestelmän takaisinmaksuaika on huomattavasti pitempi kuin kahdessa suuremmassa järjestelmässä. Tähän osaltaan vaikuttaa se, että järjestelmän kasvaessa laitteiden hankintahinta pienenee asennettavaa kilowattia kohden. Tämä voidaan havaita myös tästä kannattavuusvertailusta. Suurimman 7,41 kW:n järjestelmän kilowattihinnaksi jää noin 1005 €/kW ja pienimmän 3,05 kW:n järjestelmän noin 1730 €/kW. 5,0 kW:n järjestelmälle tulee hinnaksi noin 1050 €/kW. On kuitenkin otettava huomioon se, että hinnat eivät ole lopullisia. Esimerkiksi asennushinnat ovat arvioituja, ja mahdollisten lisätarvikkeiden käyttö vaikuttaa lopulliseen hintaan.

10.4 Tutkimuskohteeseen valikoitunut aurinkosähköjärjestelmä

Kolmen eritehoisen aurinkosähköjärjestelmän vertailutuloksien perusteella päädyin valitsemaan nimelisteholtaan 5,0 kW:n järjestelmän. Tämän järjestelmän avulla voidaan tuottaa lähes 20 prosenttia kohteen vuosikulutuksesta, eikä järjestelmä tuota liikaa ylituotantoa. Sen tuotto riittää myös, vaikka pohjakulutus hieman nousisi tutkimuksessa mitatusta. Tuottoa saadaan lisäksi jo alkukeväästä huomattavasti enemmän kuin pienemmällä 3,05 kW:n järjestelmällä. Järjestelmän takaisinmaksuaika ja investointikustannukset olisivat myös kohtuulliset.

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä käytiin läpi aurinkoenergian teoriaa sekä aurinkosähköjärjestelmiin liittyvää tekniikkaa ja komponentteja. Lähdeaineistona käytettiin verkossa olevia tutkimuksia ja aihetta käsittelevää kirjallisuutta. Lisäksi käytiin läpi aurinkosähköjärjestelmän mitoittamista, aurinkosähkön myymistä sähköverkkoon ja energiatukiasiaa. Työn tutkinnallisessa osuudessa tehtiin selvitys sopivan aurinkosähköjärjestelmän valinnasta Kälviällä sijaitsevalle hevostallille. Tutkimuksessa vertailtiin kolmea erilaista aurinkosähköjärjestelmää, joiden tuottoa ja kannattavuutta tarkasteltiin arviolaskelmissa. Vertailussa olleista vaihtoehdoista valikoitui sopivaksi 5,0 kW:n järjestelmä.

Aurinkosähköjärjestelmä soveltuu hevostalleille, kuten maataloille yleensäkin hyvin. Aurinkosähköjärjestelmän avulla voidaan vähentää runsaasta sähkönkulutuksesta aiheutuvia kustannuksia ja asennuspinta-alaa katoilla, seinillä ja maassa on isommillekin järjestelmille runsaasti tilaa. Tutkittavan kohteen aurinkopaneelijärjestelmä tulisi olemaan kooltaan vain 5,0 kW, joten siihen ei 40 prosentin investointitukea saa, koska investointikustannukset jäävät mataliksi. Alkukustannukset voi laittaa kuitenkin verovähennyksiin.

On mielenkiintoista nähdä, miten aurinkoenergian hyödyntäminen kehittyy maassamme. Kiinnostus on tällä hetkellä merkittävää, sillä auringon energia on taloudellisten seikkojen lisäksi myös ekologista sähköä. Aurinkosähköjärjestelmät kehittyvät jatkuvasti, ja uusia innovaatioita syntyy. Moderneilla katoilla aurinkopaneelit ovat integroituna kattoelementteihin, ja ne sulautuvat hyvin myös rakennusten julkisivuille. Oikein toteutettuna aurinkosähkö on kannattava investointi.

12 LÄHTEET

Aurinkopaneelikauppa. 2018a. Aurinkosähköjärjestelmä. Saatavissa:

https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/epages/aurinkopaneeli+kauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20120903-11092-142553-1/Products/16050 . Viitattu 13.4.2018.

Aurinkopaneelikauppa 2018b. Turvakytkin 5 kW. Saatavissa:

<https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/Turvakytkin-5kW>. Viitattu 1.10.2018.

Aurinkovirta 2018. Invertteri. Saatavissa:

<http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>. Viitattu 6.4.2018.

Business Finland 2018. Energiatuki. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/pk-ja-midcap-yritys/energiatuki/>. Viitattu 21.1.2018.

Energiavirasto 2017. Sähköverkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti yli kolminkertaistui vuodessa.

Saatavissa: http://www.energiavirasto.fi/-/sahkoverkkoon-kytketty-aurinkosahkokapasiteetti-yli-kolminkertaistui-vuode-sa?redirect=http%3A%2F%2Fwww.energiavirasto.fi%2Fhome%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_o19kFDvrgZ2J%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-8%26p_p_col_count%3D2. Viitattu 19.12.2017.

Ese 2018. Aurinkosähköjärjestelmät. Saatavissa:

<https://ese.fi/fifi/article/etusivu/aurinkopaneelipaketit/53/>. Viitattu 21.1.2018.

Etn 2017. Aurinkokennon hyötysuhde uuteen ennätykseen. Saatavissa: <http://etn.fi/index.php/13-news/6062-aurinkokennon-hyotysuhde-uuteen-ennatukseen> . Viitattu 15.11.2017.

Finnwind 2017. Aurinkopaneelin hyötysuhde. Saatavissa:

<http://www.finnwind.fi/aurinkovoima/#aurinkopaneelin-hyotysuhde>. Viitattu 13.11.2017.

Finsolar 2018. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. Saatavissa:

<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>. Viitattu 18.11.2018.

Freemansolar 2017. The solar panel debate mono poly. Saatavissa:

<http://www.freemansolar.com/solar-panel-blog/the-solar-panel-debate-mono-poly>. Viitattu 27.3.2018.

Halikon Huoltosähkö Oy 2018. Nämä 4 asiaa vaikuttavat aurinkopaneelien hyötysuhteeseen. Saatavissa:

http://www.huoltosahko.com/aurinkopaneelin_hyotysuhde Viitattu 25.3.2018.

Kokkolan Energia Oy 2018. Aurinkosähkö. Saatavissa:

<https://www.kokkolanenergia.fi/fi/aurinkosahko/>. Viitattu 1.11.2018.

Kyytsönen, J. 2018. Aurinkosähkö rajussa kasvussa tänä kesänä. Maaseudun Tulevaisuus. Saatavissa:

<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/artikkeli-1.285844>. Viitattu 25.11.2018.

Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus Oy.

LUT 2017. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Saatavissa: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa. Viitattu 21.11.2017.

Mavi 2018. Maatalouden investointituet. Saatavissa: http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/viljelijä/maatalouden_investointituet/Sivut/maatalouden_investointituet.aspx. Viitattu 21.1.2018.

Motiva 2018. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ ja_ asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus. Viitattu 23.4.2018.

Motiva 2016. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma. Viitattu 27.4.2018.

Motiva 2017. Ylijäämäsähkön myynti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijäämäsähkön_myynti. Viitattu 6.11.2017.

Mysolarshop 2018. MPPT knee diagram. Saatavissa: http://www.mysolarshop.co.uk/images/MPPT_knee_diagram.jpg. Viitattu 7.2.2018.

Niemi 2018. Aurinkosähköjärjestelmän hankintaopas maataloilille. Saatavissa: <http://www.pikes.fi/documents/89838/353163/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4n+hankintaopas.pdf/5e73d392-9f4f-95e0-1fbb-cf800f048610>. Viitattu 5.10.2018.

Paikkatietoikkuna. 2018. Saatavissa: <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/?lang=fin&metadata=8bc5dfd6-752a-40bc-9620-d67e43ab07ae#>. Viitattu 30.9.2018.

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy.

PVGIS. 2018. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. Viitattu 5.11.2018.

PVSOL. 2018. PV systems calculator. Saatavissa: <https://pvsol-online.valentin-software.com/#/results>. Viitattu 11.10.2018.

Rfwireless-world 2017. Solar cell efficiency calculator. Saatavissa: <http://www.rfwireless-world.com/calculators/Solar-Cell-Efficiency-Calculator.html>. Viitattu 13.11.2017.

Saviranta, P. Millaisen aurinkopaneelin valitsen. Saatavissa: <https://www.solarsynergia.com/single-post/2016/10/17/Millaisen-aurinkopaneelin-valitsen>. Viitattu 3.2.2018.

Sma. 2018. Solarinverters. Saatavissa: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters.html>. Viitattu 1.10.2018.

Suntekno 2012a. Aurinkoenergia. Saatavissa: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>. Viitattu 8.11.2017.

Suntekno 2012b. Aurinkopaneelit. Saatavissa:

<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>. Viitattu 21.11.2017.

Swenergia 2017. Venepaneelit. Saatavissa: <http://www.swenergia.fi/veneilijat-ja-karavaanarit/energia-aurinkojarjestelmat/vene-paneelit-venesaatimet/flexi-32w-ohutkalvopaneeli.html>. Viitattu 27.3.2018.

Thermosun 2018. Verkkoon kytkettävä järjestelmä. Saatavissa:

https://www.thermosun.fi/epages/thermosun.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/Kuvaus/Products/107126F. Viitattu 1.11.2018.

Varaaja. 2018. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanokuva. Saatavissa:

<https://www.varaaja.com/images/stories/virtuemart/product/aurinkosahkojarjestelma-toiminta-osat.png>. Viitattu 30.9.2018.

Wikimedia Commons 2017. File: Pvgis Europe-solar opt publication.png. Saatavissa:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/49/Pvgis_Europe-solar_opt_publication.png. Viitattu 10.11.2017.

World Energy Council 2016. Solar. Saatavissa:

<https://www.worldenergy.org/data/resources/resource/solar/>. Viitattu 14.1.2018.