

AURINKOSÄHKÖSUUNNITELMA
KOTITALOUSKÄYTTÖÖN

Porkola Sami

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Sami Porkola	Vuosi	2019
Ohjaaja	Ins. YAMK Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Lapin AMK		
Työn nimi	Aurinkosähkösuunnitelma kotitalouskäyttöön		
Sivu- ja liitesivumäärä	45 + 2		

Aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet kotitalouksissa viime vuosina. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli luoda ohje aurinkosähkösuunnitelman tekemiseen kotitalouskäyttöön. Työn lähtökohta oli mitoittaa 3 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä kustannustehokkailla aurinkopaneeleilla. Työssä käytettiin esimerkikohteenä Oulussa sijaitsevaa omakotitaloa.

Eri kunnilla on erilaiset vaatimukset tarvittavista luvista aurinkosähköjärjestelmille. Tässä työssä käytiin läpi esimerkikohteen avulla Oulun kaupungin lupa- ja käytäntö aurinkosähköjärjestelmän rakentamiseen. Samalla selvitettiin, mitä lupia Oulun Energia Siirto ja Jakelu-yhtiön alueella tarvitaan järjestelmän liittämiseen sähköverkkoon.

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa arvioitaessa on hyvä ottaa huomioon, mitä tukia kotitaloudet voivat saada aurinkosähköjärjestelmän rakentamiseen. Tukiasioiden käsittelyn lisäksi työssä laskettiin takaisinmaksuaikoja esimerkikohteen aurinkosähköjärjestelmälle.

Avainsanat

aurinkosähköjärjestelmät, aurinkosähköpaneelit, takaisinmaksuaika

Electrical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Sami Porkola	Year	2019
Supervisor	Aila Petäjäjärvi, MEng		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Photovoltaic Plan for Household Use		
Number of pages	45 + 2		

Photovoltaic systems have become more common in households in recent years. The purpose of this thesis was to create a guide for making a photovoltaic plan for household use. The starting point for this work was to design a 3 kWp photovoltaic system with cost effective solar panels. The project was based on a detached house in the City of Oulu.

Different municipalities have different requirements for the permits of photovoltaic systems. This example project was used in this work to examine the permit practices in the City of Oulu. The required permits to connect the system to the electricity grid of the Oulun Energia Siirto ja Jakelu were also reviewed.

When estimating the profitability and payback time of photovoltaic systems, it is a good to consider what subsidies households can get for the construction of the photovoltaic system. In addition to reviewing subsidies, the payback time is also calculated in the example project of the photovoltaic system.

Key words

photovoltaic systems, photovoltaic panels, payback time

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TEORIA	8
2.1 Aurinkoenergia.....	8
2.2 Aurinkosähköjärjestelmä.....	10
2.3 Aurinkopaneelit	11
2.4 Invertteri.....	16
2.5 Kaapelointi	17
2.6 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	19
2.7 Saarekejärjestelmät	21
3 LUVAT JA LAINSÄÄDÄNTÖ	23
3.1 Rakennuslupa	23
3.2 Sähköverkkoon liittyminen	24
3.3 Tuet.....	25
4 ESIMERKKIKOHTTEEN SUUNNITTELU.....	27
4.1 Lähtötiedot.....	27
4.2 Mitoitus	27
4.3 Järjestelmän valinta	29
4.4 Takaisinmaksuaika	35
4.5 Tuottotakuu.....	37
4.6 Sähkön varastointi	37
5 POHDINTA.....	39
LÄHTEET.....	42
LIITTEET	45

ALKUSANAT

Haluan kiittää Lapin ammattikorkeakoulua mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Erityinen kiitos työn ohjaajalle Aila Petäjäjärvelle hyvistä vihjeistä opinnäytetyöhön, sekä kannustuksesta suorittaa opinnot loppuun.

Oulussa 11.12.2019

Sami Porkola

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AC	Alternating Current, vaihtovirta
DC	Direct Current, tasavirta
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
kWh	Kilowattitunti, tehon yksikkö
kWh/m ²	Kilowattituntia per neliometri, ominaisteho
kWp	Kilowatt-peak, huipputeho
LED	Light Emitting Diode, valoa säteilevä diodi
mm	Millimetri, pituuden yksikkö
MPPT	Maximum Power Point Tracking, maksimitehopisteen seuraaja
PERC	Passivated Emitter and Rear Contact, passivoitu emitteri ja takasolu
PWM	Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
SPOT	Sähköpörssin tuntihinta
TW	Terawatti, tehon yksikkö
W	Watti, tehon yksikkö

1 JOHDANTO

Aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet nopealla tahdilla. Opinnäytetyön tarkoitus on luoda pohja aurinkosähkösuunnitelman tekoon kotitalouskäyttöön. Kohde voi olla sähköverkkoon kytketty omakotitalo tai vapaa-ajanasunto. Työssä kartoitetaan auringon säteilyresurssit, käydään läpi aurinkosähkön peruseriaatteita, aurinkosähköjärjestelmien teoriaa sekä mitoitukseen liittyvät peruseriaatteet. Tehtävä on mitoittaa 3 kWp:n aurinkosähkövoimala.

Toinen oleellinen osa työtä on selvittää eri viranomaisluvut aurinkosähkövoimalan rakentamiseen ja sähköverkkoon kytkemiseen sekä mahdolliset muut lupa-, vero-, lainsäädäntö ja tukiasiat. Nämä luvat vaihtelevat osittain kuntakohtaisesti ja tässä työssä selvitetään vaaditut viranomaisluvut esimerkkikohteessa, joka sijaitsee Oulun kaupungin alueella.

Tässä työssä keskitytään aurinkosähköjärjestelmiin, jotka soveltuvat yhdistettäväksi sähkönjakeluverkkoon 3-vaiheisena. Työn ulkopuolelle jätetään järjestelmät, joita voi käyttää erilaisilla tasajännitteillä tai vaihtojännitteellä kytkemättä laitteistoa sähköverkkoon. Tätä asiaa käsitellään kuitenkin lyhyesti luvussa 2.7.

2 TEORIA

2.1 Aurinkoenergia

Auringosta maahan tulevan säteilyn määrä on 170 000 TW. Tästä määrästä voidaan kuitenkin hyödyntää vain pieni osa. Auringosta saatava säteily määrä on Etelä-Suomessa samaa suuruusluokkaa Keski-Euroopan kanssa, mutta Suomessa säteilyn vuodenaikavaihtelu on suurempaa. Etelä-Suomessa auringosta saatavasta säteilystä 90 prosenttia saadaan maalisi-syyskuun aikana. (Energiateollisuus ry 2019.)


Auringosta maahan suuntautuvaa säteilyä voidaan pitää lähes vakiona ja se on maan ilmakehän ulkopuolella noin 1366 w/m^2 (Pvedecation.org 2019a). Maan ilmakehä pienentää maahan asti saapuvaa auringon säteilyä. Esimerkiksi auringonvalon absorptio ilmakehään, valon siroaminen ja valon heijastuminen pienentävät maahan saapuvaa valon määrää. Lisäksi paikallisesti vaikuttavia tekijöitä ovat ilman vesipitoisuus, pilvet ja ilmansaasteet. (Pveducation.org 2019b.)

Auringon kokonaissäteily koostuu suoraan auringosta tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteilyn osuus on Suomessa merkittävä, ja Etelä-Suomessa jopa puolet säteilystä on hajasäteilyä. Aurinkopaneeleille tuleva säteily voi olla joko suoraa tai hajasäteilyä, eikä sillä ole merkitystä aurinkopaneelien sähköntuotantoon. Suomessa suuri hajasäteilyn kokonaismäärä kuitenkin vaikuttaa siihen, että keskittävät aurinkosähköjärjestelmät ja aurinkoa seuraavat järjestelmät eivät ole taloudellisesti järkeviä yleisen käsityksen mukaan, sillä niiden toiminta perustuu lähinnä suoran säteilyn tehokkaaseen hyödyntämiseen. (Motiva 2019c.)

Liitteessä 1 on esitetty auringon säteily määrä Rexel Finland Oy:n aurinkosähköjärjestelmän esitteen mukaisesti. Eteläisessä Suomessa auringon säteilyä tulee maahan vuosittain reilut 900 kWh/m^2 , ja maan pohjoisosissa lukema on pudonnut noin 800 kWh/m^2 . Samassa liitteessä näkyy myös auringon säteilyn jakauma kuukausikohtaisesti. Lisäksi liitteestä selviää, mikä on 5 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän vuosittainen sähköntuotto kolmella eri paikkakunnalla Suomessa. (Rexel Finland Oy 2019, 6.)

European Commission Joint Research Centre on Euroopan komission Yhteinen tutkimuskeskus. Tutkimuskeskuksen internetsivuilta löytyy PVGIS-osio (Photovoltaic Geographical Information System), jossa voidaan arvioida maahan kohdistuvaa auringon säteily määrää ja antamalla tarvittavat lähtötiedot pystytään määrittämään halutun kohteen auringon säteily määrän. Suomessa esimerkiksi Oulussa sijaitsevasta esimerkkikohteesta saadaan kuvan 1 mukainen informaatio.

Summary



Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	65.127, 25.766
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-ERA5
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	35
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	829
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	1030
Year to year variability [kWh]:	41.10
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-3.2
Spectral effects [%]:	? (0)
Temperature and low irradiance [%]:	-3.4
Total loss [%]:	-19.6

Kuva 1. Oulun esimerkkikohteen tiedoilla tuotettu informaatio auringon säteilystä. (Euroopan komissio 2019, PVGIS Tools)

Kuvan 1 lähtötiedoilla on tuotettu liitteen 2 informaatio. Siitä selviää, miten auringon säteily jakautuu kuukausitasolla Oulussa. Samoin liitteestä 2 selviää annetuilla lähtötiedoilla 1 kWp tehoiselta aurinkopaneelijärjestelmältä saatava sähköteho kuukausikohtaisesti. Tämä sama tieto on kerätty taulukkomuotoon taulukkoon 1. Vertailtaessa liitteiden 1 ja 2 tietoja toisiinsa voidaan todeta, että liitteen 2 antama auringon säteily määrä on suurempi kuin liitteen 1, mutta kokoluokka on

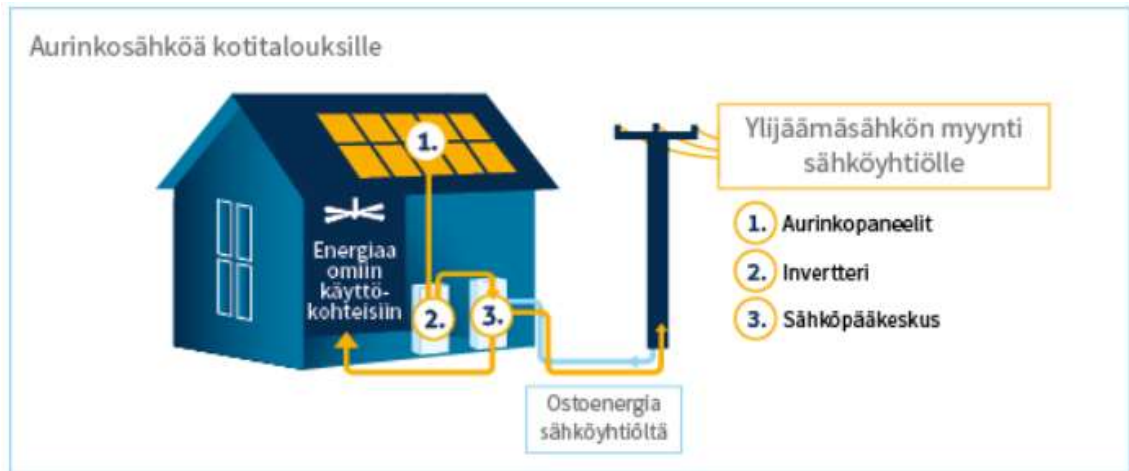
kuitenkin suunnilleen sama. Verrattaessa saatavaa energiamäärää on ero pienempi auringon säteilyyn verrattuna.

Taulukko 1. Liitteen 2 tiedot taulukkomuodossa.

Kuukausi	Auringonsäteily (kWh/m ²)	Teho (kWh)
Tammikuu	6	5
Helmikuu	30	25
Maaliskuu	105	91
Huhtikuu	138	115
Toukokuu	166	133
Kesäkuu	158	124
Heinäkuu	159	123
Elokuu	130	102
Syyskuu	82	66
Lokakuu	45	37
Marraskuu	10	8
Joulukuu	1	0
	1030	829

2.2 Aurinkosähköjärjestelmä

Kuviossa 1 on tyypillinen aurinkosähköjärjestelmä (Oulun Energia 2019a). Aurinkosähköpaneelit ovat aurinkosähköjärjestelmän tärkein komponentti. Paneelit muuttavat auringosta tulevan säteilyn sähköksi. Sähköverkkoon liitettävissä aurinkosähköjärjestelmissä oleellinen osa on myös invertteri, jonka tehtävä on muuttaa paneeleilta tuleva tasajännite sähköverkkoon sopivaksi 50 Hz vaihtojännitteeksi. Invertteri syöttää paneeleilta saatavan vaihtosuunnatun sähkö kiinteistön sähkökeskukseen. Tuotannon ollessa pienempi kuin kulutus, otetaan puuttuva määrä sähköä sähköverkosta. Kulutuksen ollessa tuotantoa pienempi voidaan ylijäämä sähkö myydä sähköyhtiölle. Osana aurinkosähköjärjestelmää on myös kaapelointi. (Rintala & Joutsenvaara 2016, 21.)

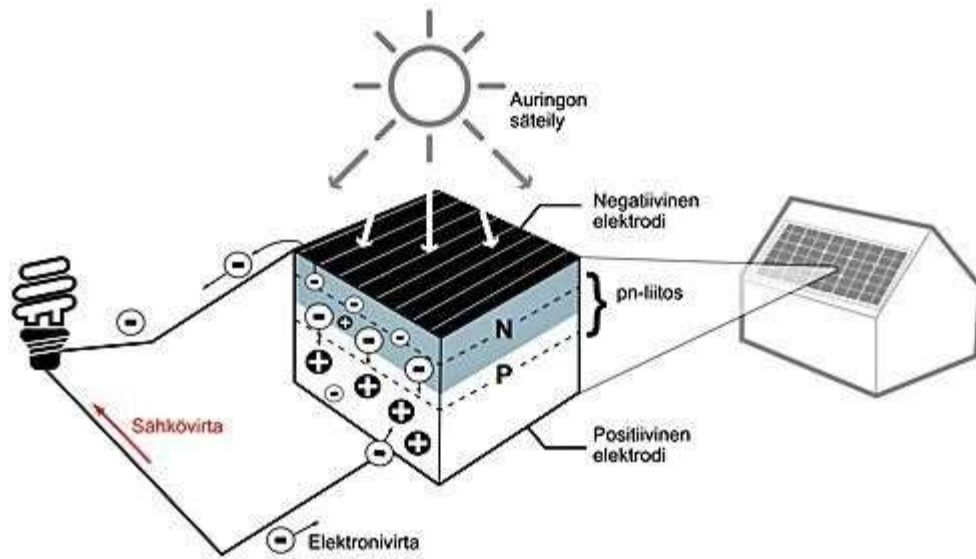


Kuvio 1. Tyypillinen aurinkosähköjärjestelmä. (Oulun Energia 2019a)

2.3 Aurinkopaneelit

Aurinkosähkö tuotetaan kennorakenteisilla aurinkopaneeleilla. Kennoissa käytetään raaka-aineena yleisimmin yksikiteistä, monikiteistä tai amorfista piitä. Aurinkokenno on elektroninen puolijohde ja auringonsäteily synnyttää jännitteen kennon ylä- ja alapinnan välille. Aurinkopaneelien tuottama virran määrä riippuu auringon säteilyn voimakkuudesta ja haluttu jännitteen taso saadaan kytkemällä kennoja sarjaan tarpeellinen määrä. Pilvisellä säällä auringon säteilyn voimakkuus on pienempää ja siten virran määrä on pienempi. (Energiateollisuus ry 2019.)

Kuviossa 2 on esitetty PN-liitokseen perustuva aurinkokenno. PN-rajapinnassa auringon säteily synnyttää elektroni - aukkopareja. Rajapinnassa elektronit kulkevat N-puolijohteeseen ja aukot P-puolijohteeseen. Varauksenkuljettajia syntyy sitä enemmän, mitä voimakkaampaa auringon säteily on. Kun aurinkokennoon kytketään kuvan 3 mukainen ulkoinen virtapiiri, elektronit alkavat virtaamaan N-puolijohteesta ulkoisen virtapiirin kautta kohti P-puolijohteessa olevia elektroniaukkoja. Auringon säteily ylläpitää elektroni - aukkoparien määrää ja siten ulkoisessa virtapiirissä säilyy jatkuva elektronivirta. Ulkovirtapiirin ollessa oikosulussa on aurinkokennon virta kaikkein suurin. (Ahoranta 2016, 295.)



Kuvio 2. Aurinkokenno (Motiva 2019a).

Pii on aurinkokennojen yleisin materiaali ja siitä tehdään yleensä yksi- ja monikiteiset aurinkokennot kuten myös amorfiset kennot. Kiteisten piikkenojen paksuus on yleensä noin 0,2-0,3 mm ja niiden koko on usein (90-160) mm x (120-160) mm. Piihioista sahataan yksikiteiset piikennot. Aihiot ovat usein 100 – 160 mm halkaisijaltaan. Koska materiaali on kallista, yksikiteisistä pyöreistä piihioista ei valmisteta nelikulmaisen muotoisia aurinkokennoja. Kennojen neljältä sivulta leikataan palat pois ja sivujen välit jäävät pyöreiksi. Raaka-aineen tarkempi hyödyntäminen on mahdollista monikiteisissä aurinkokennoissa ja siksi ne tehdään yleensä nelikulmaisiksi. (Suntekno Oy 2010.)

Kuvassa 2 on yksikiteinen aurinkopaneeli ja aurinkokenno. Kennon kulmat on pyöristetty ja paneelissa kennojen väliin jää tyhjää tilaa, jota ei näin ollen voida hyötykäyttää. Kuvassa 3 on vastaava kuva monikidepaneelistä ja -kennosta. Monikidekennon terävät kulmat käyttävät tehokkaasti koko paneelin pinnan. Kuvassa 4 on amorfinen eli ohutkalvomenetelmällä tehty aurinkopaneeli ja -kenno. Ohutkalvotekniikan ansiosta kalvo on hyvin ohut ja se usein kestää taivuttamista ja näin ohutkalvotekniikkaa voidaan käyttää myös kaarevilla pinnoilla.

Monocrystalline



Solar panel



Solar cell

Kuva 2. Yksikiteinen aurinkopaneeli ja -kenno (Ledwatcher.com 2019).

Yksikiteisten kennojen hyötysuhde on noin 17 – 21 %. Teoreettinen maksimi yksikiteisen kennon hyötysuhteeksi on 31 %. Yksikiteinen kenno muodostuu nimensä mukaan yhdestä piikiteestä, kun taas monikiteinen kenno koostuu monesta kiteestä. Monikiteisien kennojen valmistuksessa voidaan käyttää yksikiteisen kennon valmistuksessa syntyneitä hukkapaloja. Monikiteisen kennon hyötysuhde jää näiden kidevirheiden vuoksi alemmaksi kuin yksikiteisen kennon hyötysuhde ja monikiteisen kennon hyötysuhde on 16 – 19 %. Monikidekennon varjostus ei aiheuta yhtä suurta paneelin tehonmenetystä kuin yksikidekennolla. (Perrälä 2017, 43–44.)

Yksikideaurinkokennon hyötysuhde on korkein eri aurinkokennoista. Tilantarve yksikidekennolla on myös pienin korkeamman hyötysuhteen ansiosta. Yksikidekennot ovat kestävyydeltään pitkäkestoisimpia. Yksikidekennot voivat myös tuottaa alhaisemmissa valaistusolosuhteissa parhaiten sähköä. Yksikidepaneelien toiminta on herkempää varjostusolosuhteissa kuin monikidepaneelien toiminta. Korkeampi hinta nähdään usein yksikidepaneelien ongelmana. (Miettinen 2019.)

Monikidekennojen valmistus eroaa yksikidekennojen valmistuksesta. Monikidekenno on halvempi valmistaa, koska se voidaan tehdä valamalla sulatettu pii suoraan muotteihin. Valetuista harkoista kennot saadaan leikkaamalla. Halvempi valmistuskustannus ja soveltuvuus eri käyttökohteisiin on monikidekennojen etu ja niiden markkinaosuus on selvästi yksikidekennoa suurempi, vaikka hyötysuhde

on alhaisempi. Monikidekennon lämmönsietokyky on huonompi kuin yksikidekennon ja lämpimissä paikoissa kennon tuotto putoaa alhaisemmaksi kuin yksikidekennon tuotto. Lämpimissä maissa tämä korostuu, mutta Suomen viileässä ilmastossa tämä ei ole merkittävä asia. Huonomman hyötysuhteen takia monikidekennojen vaatima tila on yksikidekennoa suurempi. (Miettinen 2019.)

Polycrystalline



Solar panel



Solar cell

Kuva 3. Monikiteinen aurinkopaneeli ja -kenno (Ledwatcher.com 2019).

Amorfisesta piistä voidaan ohutkalvotekniikalla valmistaa aurinkokennoja taivuttamista vaativiin kohteisiin. Kestävät ja taivutusta vaativat ohutkalvopaneelit soveltuvat myös liikuteltaviksi ja niistä voidaan tehdä esimerkiksi retkeilysovelluksia. Ohutkalvomenetelmän haasteena on alhainen hyötysuhde kiteisiin paneeleihin verrattuna, ja hyötysuhde jää usein 9-13 % välille. Ohutkalvotekniikalla valmistettujen kennojen sähköntuotanto vähenee kiteistä piitä käytettäviä kennoja nopeammin ja ohutkalvokennojen käyttöikä jää lyhyemmäksi. Lämpötilan vaihtelu vaikuttaa vähemmän ohutkalvokennoihin kuin kiteisiin kennoihin. Ohutkalvokennojen toiminta hämärissä olosuhteissa on parempaa kuin kiteisten kennojen toiminta. (Perälä 2017, 43–44.)

Thin-film (amorphous)



Solar panel



Solar cell

Kuva 4. Ohutkalvo aurinkopaneeli ja -kenno (Ledwatcher.com 2019).

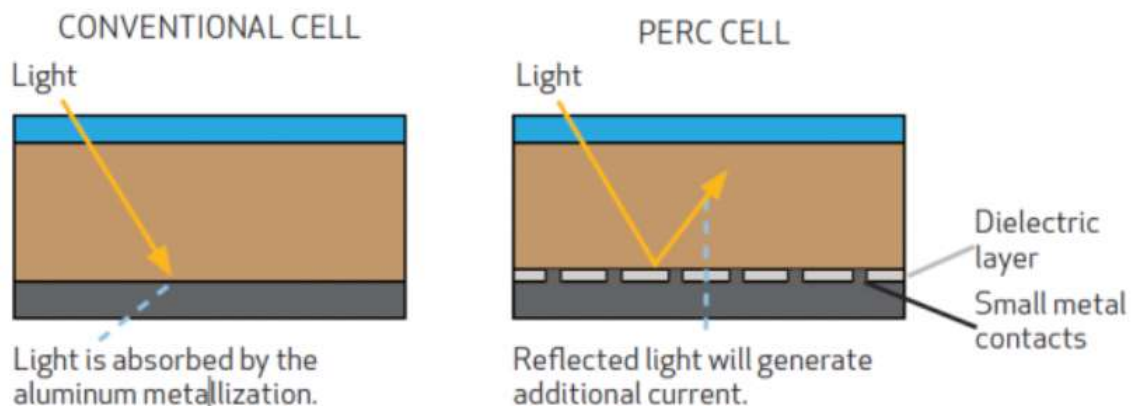
Aalto-yliopistossa on tutkittu nanorakenteen ja atomikerroskasvatuksen yhdistämistä mustien aurinkopaneelien valmistuksessa. Tulokset ovat olleet laboratoriossa erittäin hyvät, ja valmistusta on kokeiltu myös oikeilla tuotantolinjoilla. Parhailla kennoilla on päästy yli 20 %:n hyötysuhteeseen. Mustat aurinkokennot sievät myös epäpuhtauksia raaka-aineissa sinisiä standardikennoja paremmin. Mustien kennojen valmistus on perinteisiä kennoja kalliimpaa, mutta hyvä hyötysuhde ja paneelien parempi teho kompensoi hintaeroa. Kuvassa 5 on musta aurinkopaneeli. (STTInfo/Aalto-yliopisto 2018.)



Kuva 5. Musta aurinkopaneeli (STTInfo/Aalto-yliopisto 2018).

Pienellä säteily määrällä suurempaan tuottoon pystyvät PERC-paneelit (Passivated Emitter and Rear Contact) ovat alkaneet yleistymään. PERC-solurakenteen suurin etu on se, että hyötysuhdetta saadaan paremmaksi kuin tavanomaisilla aurinkokennoilla. Lisäksi kennojen tuotto ei ole niin lämpötilariippuvainen kuin perinteinen tekniikka. (Lämpökuvauspalvelu.fi 2019.)

Kuvassa 6 on verrattu perinteistä ja PERC-tekniikkaan perustuvaa aurinkokennoa. Perinteisessä kennoissa valo absorboituu enemmän kennoon kuin PERC-tekniikassa, jossa osa valosta heijastuu ja tuottaa lisävirtaa. (Aurinkosähkö.net 2019.)



Kuva 6. Perinteisen ja PERC-kennon vertailu (Aurinkosähkö.net 2019).

2.4 Invertteri

Invertteri on yleisnimitys, jolla yleensä tarkoitetaan laitetta, joka muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi. Hyvin usein invertteristä käytetään nimitystä vaihtosuuntaaja. Aurinkosähköjärjestelmissä invertteri on sähkötekniikan peruskomponentti, jolla aurinkopaneelien tuottama tasavirta muutetaan sähköverkkoon sopivaksi vaihtosähköksi. (ST 40 2017.) Sähkönjakeluverkkoon kytketty järjestelmä vaatii lisätoimenpiteitä, jos järjestelmän halutaan toimivan myös sähkökatkojen aikana. (Tahkokorpi 2016, 144.)

Aurinkosähköjärjestelmät voidaan kytkeä sähköverkkoon yksi- tai kolmevaiheisina. Yksivaiheisia inverttereitä käytetään yleensä pienissä, alle 3 kWp:n järjestelmissä. Yksivaiheisena järjestelmänä pystytään käyttämään vain yhdessä vaiheessa tuotettua sähköä. Jos aurinkosähkön tuottajan sähkömittari ei ole niin kutsuttu vaihenetottava mittari, tämä voi johtaa tilanteeseen, että samaan aikaan

aurinkosähköjärjestelmän haltija toimii sekä sähkön myyjänä että ostajana. Yhteen vaiheeseen tuotetaan enemmän sähköä kuin kulutetaan ja toimitaan sähkön myyjänä, ja kahdella muulla vaiheella järjestelmän haltija toimii sähkön ostajana. Jos sähkömittari kuitenkin on vaihenetettava, lasketaan sähkön tuotanto ja kulutus yhteen ja vain erotus huomioidaan sähkölaskussa. (Tahkokorpi 2016, 144–145.)

Suurin hyöty aurinkosähköjärjestelmästä saadaan kolmivaiheisella invertterillä, joka syöttää sähköä kaikkiin kolmeen vaiheeseen. Sähkölaitteiden ryhmittelyllä eri vaiheisiin on kuitenkin merkitystä parhaan hyödyn saamiseen kuten myös sillä, millaisia laitteita kulutuskohteessa on. Suurimpia sähköä kuluttavia laitteita ovat esimerkiksi liesi ja lämminvesivaraaja, jotka on usein kytketty kaikkiin kolmeen eri vaiheeseen. Näiden käyttö silloin kun aurinkosähköä on saatavilla antaa yleensä aurinkosähkön oman käytön kannalta hyvän taloudellisen lopputuloksen. (Tahkokorpi 2016, 145–146.)

Omakotitalojen kokoluokassa on useimmiten yksi invertteri, joka kytkee aurinkosähköjärjestelmän sähköverkkoon. On myös olemassa paneelikohtaisesti asennettavia mikroinverttejä. Useilla mikroinverttereillä saadaan hyötynä se, että järjestelmä tuottaa tehokkaammin sähköä tilanteissa, joissa osa aurinkopaneeleista jää varjoon. Vastaavasti yhden invertterin tehokkuus kärsii, jos osa paneeleista on varjossa ja kokonaistehokkuus laskee. Haittana mikroinverttereillä on usein kalliimmat investointikustannukset. Myös huollon kannalta huollettavia kohteita on enemmän. (Motiva 2019e.)

2.5 Kaapelointi

Normaaleihin sisällä olevin sähköasennuksiin verrattuna aurinkopaneelien kaapelointi on ulkona, yleensä katolla, paljon kovemmissa olosuhteissa. Tämä pitää ottaa huomioon kaapelien valinnassa. Kaapelit pitää suojata mekaanisilta rasituksilta. Katolla pitää huomioida niin katon kuin aurinkosähköjärjestelmän huolto-työt. Toinen merkittävä asia on lumen huomioiminen kaapeliasennuksissa. Kaapelien pitää olla myös lämpöä ja UV-säteilyä kestäviä. Useissa paneeleissa ja inverttereissä on valmiina pikaliittimet kytkentää varten, mutta myös riviliittimet

ovat yleisiä. Yksi yleisin liitintyyppi on tällä hetkellä MC4 tyyppinen liitin. Kuvassa 7 on kuvattuna MC4-liitin. (ST 40 2017, 56-57.)



Kuva 7. MC4-liitinpari (Partco.fi 2019).

Suomessa myytävien MC4-liittimen ominaisuudet eroavat toisistaan. Tyypillisin liitin on nimellisjännitteeltään 1000 V DC ja sen nimellisvirta on 30 A ja se on suunnattu 2,5 mm², 4,00 mm² ja 6,00 mm² johtimille. Markkinoilta löytyy myös isommille johtimille tarkoitettuja liittimiä, jotka kestävät isompia nimellisvirtoja nimellisjännitteen kuitenkin pysyessä 1000 V DC. Liittimet ovat suojausluokaltaan joko IP65 tai IP67, joten ne sopivat hyvin Suomessa ulkona käytettäviksi.

Aurinkosähköjärjestelmän kaapelityyppien ja johtimien poikkipinta-alojen on oltava järjestelmän kokoluokkaan ja virtaan sopivia. Yksittäisissä rakennuksissa järjestelmät ovat usein pieniä ja johtimissa kulkevat virrat ovat pieniä, joten johtimien poikkipinnatkin ovat hyvin pieniä. (ST 55.33 2013.)

Aurinkopaneelit voidaan kaapeloida joko rinnan tai sarjaan. Sarjaan kytkettäessä jännitteiden summa on yksittäisten paneelien jännitteiden summa yhteenlasketuna. Kytkettäessä paneelit sarjaan pitää paneelien olla keskenään samanlaisia.

Paneelit pitää myös asentaa niin, että kaikki paneelit saavat saman määrän säteilyä. Tilanteessa, jossa paneelien virrat poikkeavat toisistaan, määrää sen paneelin virta koko ketjun virran, jossa on pienin virta. (Perälä 2017, 52.)

Rinnan kytkettäessä paneelien jännitteiden pitää olla sama, eli yksittäisten paneelien kennojen määrän on oltava sama. Rinnan kytkettäessä virran määrä on yksittäisten paneelien virtojen summa. (Perälä 2017, 52.)

2.6 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa voidaan käyttää useita kriteereitä. Usein lähtökohta on taloudellisen hyödyn maksimointi, mutta kriteeri voi olla myös esimerkiksi ekologisuus.

Rakennustietosäätiön ohjeen RT 1030076 mukaan järjestelmän mitoitukseen vaikuttavat seuraavat tekijät, kun tavoitellaan parasta taloudellista hyötyä:

- kiinteistön sähkönkulutusprofiili, myös kesäisin ja viikonloppuisin
- päiväkäytön aikaisen pohjakuorman käyttämistä mitoituksen perustana, jos halutaan mahdollisimman iso osa sähköntuotannosta omaan käyttöön
- aurinkopaneelien käyttöön soveltuva pinta-ala ja mahdolliset varjostukset
- sähköverkosta ostettavan sähkön hinta
- mahdollisesti sähköverkkoon myytävän sähkön hinta
- järjestelmän yksikköhinta
- tavoiteltava sähkön omavaraisuusaste
- tavoiteltava E-luku.
- kiinteistön sijainti maantieteellisesti. (Rakennustietosäätiö RTS 2019).

Aurinkosähkön mahdollisimman suuri oma käyttö antaa taloudellisesti parhaan tuoton investoinnille ja takaisinmaksuaika on silloin lyhin. Yli oman kulutuksen tuotetusta aurinkosähköstä maksetaan yleensä pohjoismaisen sähköpörssin hintaan sidottu korvaus. Usein korvaus on kuitenkin alle puolet ostosähkön hinnasta

varsinkin silloin, kun aurinkosähkön tuotanto on suurimmillaan. Pienten aurinkosähköjärjestelmien yksikköhinta on korkeampi kuin isoissa järjestelmissä. Jokaisella kohteella on oma optimipisteensä oman sähkönkäytön ja laitteiston koon välillä. (Rakennustietosäätiö RTS 2019.)

Aurinkosähkön huipputuotto kesällä on tärkein mitoituseruste. Maaliskuun ja syyskuun välillä aurinkosähköjärjestelmä tuottaa suurimman osan sähköstä ja paras tuotto on huhtikuusta elokuuhun ulottuvalla jaksolla. Kohteen tarkka mitoitus tehdään sähkönkulutuksen tuntipohjaisesta analyysistä, jolloin saadaan optimaalinen järjestelmäkoko ja kannattavuus investoinnille selvitettyä. (Rakennustietosäätiö RTS 2019.)

Kun mitoituksessa käytetään pohjakulutusta, paneelien yhteenlasketun tehon pitäisi olla yhtä suuri pohjakulutuksen kanssa. Usein omakotitaloissa pohjakulutus on kuitenkin niin pientä, että se ei mahdollistaisi kolmivaiheista aurinkosähköjärjestelmää vaan järjestelmä jäisi yksivaiheiseksi. Hyvin tyypillinen omakotitalon pohjakulutus on 100 – 500 wattia tunnissa. Omakotitaloissa pohjakulutuksen perustuvalla mitoituksella pystytään kattamaan vain hyvin pieni osa vuotuisesta sähkönkulutuksesta, kun taas toimistoissa, joissa kulutus keskittyy päiväsaikaan, voidaan vuotuisesta kulutuksesta kattaa merkittäviäkin osuuksia. (Motiva 2019b.)

Aurinkosähkön käyttöä pystytään optimoimaan omaan käyttöön. Aurinkosähköjärjestelmän tuotantohuippuina aurinkoisina kesäpäivinä voidaan tuotettua sähköä ohjata esimerkiksi kiinteistön jäähdytykseen aurinkosähkön saatavuuden mukaan. Toinen kulutuskohde on lämminvesivaraajien lämmittäminen silloin, kun aurinkosähköä on eniten tarjolla. Invertterivalmistajilla on valmiita laiteratkaisuja tähän tarkoitukseen. Isommissa kiinteistöissä jäähdytyksen ja lämmityksen ohjaus voidaan toteuttaa myös kiinteistöautomaatiojärjestelmän avulla. (Rakennustietosäätiö RTS 2019.)

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen lähtökohta voi olla myös energiaomavaraisuuden lisääminen. Silloin maksimaalisen tuoton sijaan pyritään korvaamaan mahdollisimman suuri osa ostosähköstä omalla tuotannolla. Tällöin omaan käyttöön tuotetun sähkön osuus kokonaistuotannosta laskee ja sähköverkkoon myytävän sähkön osuus nousee. (Rakennustietosäätiö RTS 2019.)

Invertterin mitoitus pitää tehdä niin, että aurinkopaneelien tuottama teho ei missään tilanteessa ylitä invertterin MPPT:n (Maximum Power Point Tracking, maksimitehopisteen seuraaja) toiminta-alueita. Paneelien maksimituotto saadaan laskemalla yhteen kaikkien paneelien maksimijännite -10 Celsiusasteen lämpötilassa 1000 W/m^2 säteilyteholla. MPPT:n toiminta-alueen alarajan mitoitus tulee tehdä laskemalla maksimijännite 30 asteen lämpötilassa 100 W/m^2 säteilyteholla ja vertaamalla sitä laitetoimittajan ilmoittamaan tehoalueeseen. (Rakennustietosäätiö RTS 2019.)

2.7 Saarekejärjestelmät

Sähköverkkoon kytkemättömiä aurinkosähköjärjestelmiä voidaan kutsua saarekejärjestelmiksi tai mökkisähköjärjestelmiksi. Saarekejärjestelmien mitoitus eroaa perinteisestä sähköverkkoon kytketystä järjestelmästä. Saarekejärjestelmän hetkellinen huipputeho on tärkeä mitoitusta tehtäessä. Saarekejärjestelmä kannattaa mitoittaa enintään huhti-elokuun aikana tuottamaan tarvittava määrä sähköä. Jos sähkönkulutus on tarpeellista tämän ajan ulkopuolella ja saarekejärjestelmä ei pysty tuottamaan riittävästi sähköä, kannattaa harkita esimerkiksi aggregaattia, joka on usein kustannustehokkaampi tapa tuottaa sähköä kuin yli-imittaa aurinkosähköjärjestelmä. (Sähköala.fi 2017.)

Mitoitusta tehtäessä on ensin laskettava kaikkien laitteiden kulutus yhteensä. Jokaisen laitteen kohdalla on erikseen arvioitava, kuinka paljon laitetta käytetään vuorokauden aikana ja selvitettävä laitteen teho. Näin saadaan koko vuorokauden energian tarve selvitettyä. Koska laitteistossa tapahtuu energiahäviöitä, kannattaa saatua laskennallista tulosta korottaa ainakin 20 %. (Perälä 2017, 84-85.)

Saarekejärjestelmissä energia, jota ei käytetä samaan aikaan kuin sitä tuotetaan, varastoidaan akkuihin ja siksi on tärkeää kiinnittää huomiota myös energian varastointiin. Tärkeää on miettiä, onko käyttö jatkuvaa tai esimerkiksi viikonloppuihin painottuvaa. Varastoitaessa energiaa viikonlopulle riittää akuston mitoittaminen kahden päivän tarpeeseen, kun yleensä jatkuvampaa käyttöä ajatellen akusto mitoitetetaan neljän päivän kulutuksen mukaan. (Sähköala.fi 2017.)

Akkuja mitoitettaessa on huomioitava, että akkuja ei kannata purkaa täysin tyhjäksi. Akkujen varausta ei kannata käyttää alle puoleen, mutta mieluummin akkujen varaus tulisi pitää 70 prosentissa. Tämä yleensä tarkoittaa vähintään akkukapasiteetin tuplaamista akun nimelliskapasiteettiin verrattuna. (Perälä 2017, 85.)

Saarekejärjestelmissä paneelien ja akkujen väliin asennetaan lataussäädin. Uusimmat lataussäätimet ovat MPPT-säätimiä, jotka muuttavat aurinkopaneeleilta tulevan tehon parhaalla mahdollisella hyötysuhteella akkujen lataamiseen sopivaksi. MPPT-säätimen teho perustuu siihen, että se etsii aina maksimitehopisteen aurinkopaneeleilta tulevasta tehosta ja optimoi akun latausta. (Motiva 2019d.)

Toinen tyypillinen lataussäädin on PWM-säädin (Pulse Width Modulation, pulsinleveysmodulointi). Toisin kuin MPPT-säädin, PWM-säädin säätää vain akun latausjännitteen akulle sopivaksi. Tästä syystä PWM-säätimen hyötysuhde jää alhaisemmaksi, kun koko tehoa ei pystytä hyödyntämään akkujen lataamisessa. (Solarsynergia 2019.)

Sähköverkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä käytetään usein 12 voltin jännitettä. Toinen yleinen jännite on 24 voltia, mutta jännite voi olla isompikin. Jännitteen kasvaessa virta pienenee ja se sallii johdotuksessa pienempien kaapeleiden poikkipinta-alojen käytön ja häviöt jäävät pienemmiksi. (Perälä 2017, 90.)

3 LUVAT JA LAINSÄÄDÄNTÖ

3.1 Rakennuslupa

Uudisrakennuskohteissa Oulun kaupungissa vaaditaan aurinkopaneeleille lupa, joka haetaan rakennusluvan yhteydessä. Vanhoihin rakennuksiin Oulun kaupungin alueella vaaditaan aurinkopaneelien asentamiseen toimenpidelupa. (Oulun kaupunki 2019b.) Alle 10 m²:n aurinkopaneelijärjestelmät ovat vapautettuja toimenpideluvista, jos aurinkopaneelit sijoitetaan vesikatolle, mutta näissäkin tapauksissa on noudatettava muita rakennusmääräyksiä. Rakennuksen ollessa kulttuurihistoriallisesti arvokas vaaditaan julkisivumuutokseen museoviranomaisen lausunto. (Oulun kaupunki 2019a.)

Lupahakemukseen on liitettävä mm. laskelma järjestelmän sähköntuottokyvystä ja arvio siitä, mikä osa sähköstä pystytään käyttämään rakennuskohteessa. Tätä laskelmaa voidaan käyttää myös asunnon mahdollisessa myynti- tai vuokraustilanteessa sekä mahdollisissa korjaus- ja muutostöissä. (Oulun kaupunki 2019b.)

Rakennettaessa aurinkosähköjärjestelmää on oltava hankkeella pääsuunnittelija, vastaava työnjohtaja sekä rakennesuunnittelija. Pääsuunnittelija vastaa, että kohteeseen suunnitellaan kattoturvatuotteet käyttöturvallisuuden huomioiduksi. Huollon mahdollistaminen ja esimerkiksi mahdollinen lumen putoaminen pitää huomioida käyttöturvallisuutta määriteltäessä. Vastaavan työnjohtajan vastaa siitä, että tarvittavat suunnitelmat ovat olemassa ja työnjohtajan tehtävä on valvoa työn tekemistä suunnitelmien ja lupien mukaisesti. Vastaava työnjohtaja vastaa myös viranomaisten suuntaan tehtävistä ilmoituksista ja katselmuksen tilaamisesta. Rakennesuunnittelija antaa lausunnon, jossa on selvitetty rakenteiden kestävä aurinkosähköjärjestelmän rakennukselle aiheuttavat kuormat. Näitä ovat esimerkiksi tuulen ja lumen aiheuttamat kuormitukset. Lausunnossa pitää myös selvittää, että aurinkosähköjärjestelmän asennus ei heikennä katteen tai verhouksen kosteudenkestävyyttä. (Oulun kaupunki 2019b.)

3.2 Sähköverkkoon liittyminen

Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen sähkön jakeluverkkoon vaatii aina sopimuksen sähkönjakeluverkon haltijan kanssa. Oulussa sopimukset tehdään Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n kanssa. Oman aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluvaiheessa on tärkeää selvittää ja varmistaa oman laitteiston yhteensopivuus sähkön jakeluverkkoon kytkemistä varten, jos on tarkoitus myydä mahdollinen omasta tuotannosta ylijäänyt tuotanto sähköverkkoon. (Oulun Energia 2019b.)

Sähköverkkoa ei tarvitse vahvistaa tai rakentaa, jos sähköntuotanto liitetään vanhan kulutuspaikan yhteydessä sähköverkkoon ja tuotannon teho ei ylitä kulutuspaikan aikaisempaa tehoa. Vain tilanteissa, joissa tuotannon teho on enemmän kuin aikaisempi käytetty teho, voidaan sähköverkkoa joutua vahvistamaan. Nämä mahdolliset verkonvahvistustilanteet pitää ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. (Oulun Energia 2019b.)

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy vaatii tuotantolaitteiston ja asennusten täyttävän seuraavat vaatimukset laitteiston liittämiseksi sähköverkkoon:

- Tuotantolaitteiston tulee täyttää Energiateollisuuden suositukset, Saksan normin VDE-AR-N 4105:2011 tai mikrotuotantostandardin EN50438 vaatimukset.
- Oulun Energia Siirto ja Jakelulla Oy:llä on vapaa pääsy lukittavalle erilliselle turvakytkimelle, jolla tuotanto on erotettavissa jakeluverkosta.
- Liittymän pääkeskuksella ja tuotantolaitteistolla on oltava varoituskyltti takasyöttövaarasta ja tuotannon irtikytkemiseksi pitää olla opastus.
- Ammattitaitoinen urakoitsija tekee asennukset.
- Sähkömittarin pitää olla kaksisuuntainen. (Oulun Energia 2019b.)

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n sähköverkon alueella pitää tehdä mikrotuotannon sähköverkkosopimus verkonhaltijan kanssa sen jälkeen, kun on päättänyt hankkia jakeluverkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän. Sähköverkkosopimuksen lisäksi on tehtävä sopimus ylijäämäsähkön myynnistä. (Oulun Energia

2019b.) Usein sähkönmyyntisopimus tehdään jakeluverkon haltijan kanssa, mutta sopimuksen voi myös tehdä eri sähköyhtiön kanssa.

Sähköurakoitsija kytkee rakentamansa tuotantolaitteiston sähköverkkoon. Kytkeä kuitenkin vaatii aina luvan verkkoyhtiöltä ja urakoitsijan tulee ilmoittaa yleistietolomakkeella kytkennästä verkkoyhtiölle. Urakoitsija samalla vakuuttaa, että asennukset täyttävät laitteistolle asetetut tekniset vaatimukset sekä sähköturvalisuumääräykset. Kun verkkoyhtiö on hyväksynyt yleistietolomakkeen, niin laitteiston voi ottaa käyttöön. (Oulun Energia 2019b.)

Sähköverkkoon kytkennän jälkeen laitteiston kunnosta on huolehdittava. Sähkölaitteiden ja -asennusten on oltava määräysten ja säännösten vaatimassa kunnossa eikä laitteisto saa aiheuttaa häiriötä muille sähköverkon käyttäjille. Tietyin rajoituksin sopijapuolet ovat korvausvelvollisia määräysten, säännösten ja ohjeiden vastaisten asennusten, viallisten laitteiden ja niiden käytön aiheuttamista vahingoista. (Oulun Energia 2019b.)

3.3 Tuet

Kotitalouksien kotona tai vapaa-ajan asunnolla teettämästä kotitaloustyöstä voi saada kotitalousvähennystä. Siivous, asunnon remontointi, tietotekniikkalaitteiden asennus ja lastenhoito ovat esimerkkejä kotitaloustyöstä. (Verohallinto 2019a.) Kaikesta remonttityöstä ei voi saada kotitalousvähennystä. Esimerkiksi uudisrakentaminen ja siihen verrattavissa oleva lisä- ja täydennysrakentaminen ei kuulu kotitalousvähennyksen piiriin. Myöskään sijoitusasuntoon tehtävät remontit eivät kuulu kotitalousvähennyksen piiriin. Kotitalousvähennyksen piiriin kuuluvat esimerkiksi omakotitalon sähkö-, putki- ja kaapelityöt. Näin ollen aurinkosähköjärjestelmän asennus käytössä olevaan omakotitaloon tai vapaa-ajan rakennukseen kuuluu kotitalousvähennyksen piiriin. (Verohallinto 2019b.)

Edellytyksenä kotitalousvähennykseen saantiin on se, että työ ostetaan ennakoperintärekisteriin kuulavalta yhtiöltä. Kotitalousvähennystä voi saada 50 % arvonlisäverollisesta työn osuudesta. Kotitalousvähennystä ei voi saada laitteista ja tarvikkeista. Kotitalousvähennyksessä on 100 euron omavastuu ja maksimi kotitalouden saama kotitalousvähennys voi olla omavastuun jälkeen 2400 euroa

henkilöä kohden. Samassa taloudessa asuvat puoliset voivat kumpikin saada kotitalousvähennyksen, joten puolisoiden yhteenlaskettu kotitalousvähennys voi olla 4800 euroa vuodessa. Kotitalousvähennyksen saantiin asunnon omistaminen ei ole välttämätöntä, vaan asuminen tai oma käyttö riittää. Kotitalousvähennyksen voi saada myös vanhempien tai isovanhempien kodissa teetetystä kotitalousvähennykseen oikeuttavasta työstä. Yritykseltä saatavassa laskussa on kotitalousvähennykseen oikeutettu työn osuus oltava eroteltuna muista kuluista. (Verohallinto 2019a.)

Suomen hallitus on esittänyt vuodelle 2020 kotitalousvähennyksen laskemista 50 prosentista 40 prosenttiin ja maksimimäärän laskemista 2400 eurosta 2250 euroon. Eduskunta tekee päätöksen asiasta vuoden 2019 loppuun mennessä. (Valtioneuvosto 2019.)

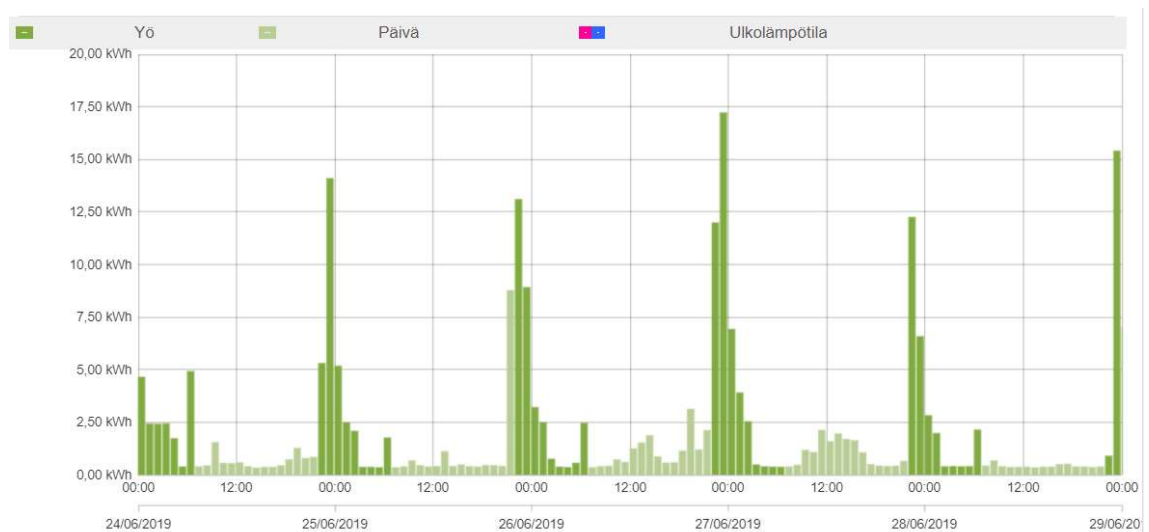
4 ESIMERKKIKOHTTEEN SUUNNITTELU

4.1 Lähtötiedot

Työn tarkoitus on mitoittaa 3 kWp:n aurinkovoimala kotitalouskäyttöön ja valita siihen soveltuvat kustannustehokkaimmat paneelit. Valittu kohde on vuonna 2005 rakennettu omakotitalo, joka sijaitsee Oulun kaupungin alueella. Talon katon voidaan asentaa aurinkopaneelit niin, että niiden suunta on etelään. Katon toisella reunalla on varjostusta kesällä aamuisin noin klo 9:ään asti, mutta siitä iltaan asti varjostus ei ole enää ongelma. Varjostus ja talon katon rakenne asettavat kohteen käytettävissä olevalle kattopinta-alalle tiettyjä rajoituksia.

4.2 Mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän paras taloudellinen hyöty sijoitukselle saadaan, kun suurin osa aurinkosähköstä pystytään käyttämään itse. Esimerkkikohteen mitoitus pohjakulutuksen mukaan on hankalaa. Kohteessa on vesikiertoinen lattialämmitys. Aikaisemmin lämmitys on tapahtunut yösähköllä, jolla on lämmitetty 1800 litran lämminvesivaraaja. Varaajasta on saatu sekä lämmin käyttövesi että lattian putkistoissa kiertävä lämmitysvesi. Noin puolitoista kuukautta sitten talon lämmitysjärjestelmäksi on muutettu maalämpö. Kuviossa 3 on esimerkkikiinteistön tunnikohtainen sähkönkulutus 24.6.2019 – 28.6.2019.



Kuvio 3. Esimerkkikohteen sähkönkulutus 24.6.2019 – 28.6.2019.

Tarkastelujaksoksi on valittu kuvaan hyvin lyhyt jakso, mutta pitempi tarkastelujakso ei oleellisesti poikkea esitetystä jaksosta. Päiväaikainen pohjakulutus on useana päivänä jäänyt parhaan auringonpaisteen aikaan keskipäivän molemmin puolin noin 330 wattiin tunnissa. Neljän vuorokauden tarkastelujaksolta löytyy vain yksi tunti, jolloin sähkönkulutus parhaan aurinkosähkön tuotannon aikana on ylittänyt 2000 wattia.

Esimerkkikohteen vanhan lämmitysmuodon pohjakulutukseen perustuvassa mitoituksessa saataisiin hyvin pieni aurinkosähköjärjestelmä, kuten teoriatiedonkin valossa saataisiin. Käytännössä näin pieni järjestelmä olisi yksivaiheinen. Uusi tilanne, jossa taloon on asennettu maalämpö, ei oleellisesti muuta pohjakulutukseen perustuvaa mitoitusta. Kesällä lämmityksen tarve on hyvin vähäinen ja se ei lisää kiinteistön pohjakulutusta kuin hetkittäin. Lämpimän veden tarve on kesälläkin olemassa. Lämpimän veden tarve kuitenkin on suurin aamuisin ja iltaisin, joten keskipäivän aurinkosähköä siinä ei pystytä hyödyntämään, koska esimerkkikohteessa ei ole erillistä lämminvesivaraaja eikä puskurisäiliötä lämpimälle vedelle, vaan maalämpöpumpun sisältämä 180 litran lämminvesivaraaja on ainut paikka lämpimälle vedelle. Esimerkkikohteessa pystyisi hyödyntämään lisäinvestoinneilla päivällä tuotettavaa aurinkosähköä esimerkiksi esilämmittämällä maalämpöpumpulle syötettävää käyttövedettä, mutta sen tarkastelu rajataan tämän työn ulkopuolelle.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa voidaan pyrkiä myös nettonollakulutukseen, jolloin kiinteistö tuottaa yhtä paljon sähköä kuin se kuluttaa. Esimerkkikohteen uusi sähkön vuosikulutusarvio maalämpöinvestoinnin jälkeen on 14 000 kWh/vuosi. Tämä tarkoittaisi silloin vähintään 15 kWp:n tehoista aurinkosähköjärjestelmää. 15 kWp:n aurinkosähköjärjestelmään tulisi 300 watin tehoisia aurinkopaneeleita 50 kappaletta. Jo pelkkä niiden vaatima tila on esimerkkikohteen liian suuri osittaisen katon varjostuksen vuoksi, joten nollaenergiamitoituksen käyttö ei tule kyseeseen. Lisäksi laitteiston investointikustannukset olisivat erittäin suuret.

Järjestelmän mitoitusta voidaan lähteä tarkastelemaan myös maksimaalisen sähköntuotannon kautta ottaen huomioon reunaehdot, kuten paneeleille käytössä oleva tila, investointikustannusten pysyminen järkevällä tasolla ja investoinnille

saatava järkevä taloudellinen takaisinmaksuaika. Tällä menetelmällä iso osa tuotetusta sähköstä joudutaan myymään sähköverkkoon parhaan tuoton aikana ja ostamaan takaisin silloin kun aurinkosähkön tuotanto on pientä tai sitä ei ole lainkaan, ja sähkön kulutus on suurta. Näin on esimerkiksi talvikuukausina. Maksimaalisella sähköntuotannon tavoittelulla ei saada parasta mahdollista takaisinmaksuaikaa investoinnille.

Kesäkuun alusta heinäkuun loppuun ulottuvalla jaksolla löytyy vain yksittäisiä tunteja, jolloin esimerkkikohteen sähkönkulutus on ylittänyt 3000 wattia aamupäivän ja illan välisenä aikana. Jo tehtävänannossa annettu 3 kWp:n mitoitus tuntuu järkevältä esimerkkikohteeseen. Järjestelmästä saadaan kolmivaiheinen ja siten kaikki isoimmat sähkönkulutuslaitteet kuten liesi ja maalämpöpumppu voivat käyttää järjestelmän tuottamaa sähköä tehokkaasti hyödykseen.

Tällä hetkellä omakotitaloihin tarkoitettujen aurinkopaneelien tehot ovat hyvin usein 250 – 320 wattia/paneeli. 3 kW:n laitteisto vaatii valittavista paneeleista riippuen 10 – 12 aurinkopaneelia. Hyvin tyypillinen yhden paneelin koko on noin 1 x 1,7 metriä. Paneelien vaatima pinta-ala olisi näin ollen 17 – 20 neliometriä. Esimerkkikohteesta löytyy vaadittava tila aurinkopaneeleille niin, että varjostus ei aiheuta tehohäviöitä.

3 kWp:n aurinkosähköjärjestelmään kannattaa esimerkkikohteessa valita 3-vaiheinen invertteri. Näin kesällä parhaan tuoton aikaan saadaan pienen pohjakulutuksen vuoksi kaikki vaiheet hyödyntämään omaa sähköntuotantoa ja se johtaa taloudellisesti parempaan lopputulokseen, koska ostettavan sähkön määrä pienenee.

4.3 Järjestelmän valinta

Aurinkosähköjärjestelmän ostoa voidaan tehdä usealla tavalla. Hyvin tyypillinen tapa on ostaa niin sanottu avaimet käteen-paketti, jossa ostajan työksi jää lähinnä eri toimittajien kilpailutus ja loppulaskun maksaminen. Aurinkosähköjärjestelmien toimittajat hoitavat tarvittaessa myös lupa-asiat asiakkaan puolesta lisämaksusta.

Toinen tapa hankkia aurinkosähköjärjestelmä on itse mitoittaa järjestelmä, hakea vaadittavat luvat sekä ostaa itse kaikki vaadittavat komponentit. Kun tämä on

tehty, ostetaan järjestelmän asennus ja kytkentätyöt ulkopuoliselta urakoitsijalta. Hankkimalla paneelit ja muut komponentit itse, pystyy vaikuttamaan niiden valintaan, kun valmiiden avaimet käteen-toimitusten kautta on yleensä saatavana vain rajallinen määrä vaihtoehtoja komponenttien suhteen. Usein yksi toimittaja pyrkii käyttämään samanlaisia komponentteja mahdollisimman monelle asiakkaalle.

Kolmas tapa hankkia aurinkosähköjärjestelmä on tehdä kaikki itse. Tässä on kuitenkin olemassa rajoituksia, sillä henkilöllä pitää olla yli 50 voltin vaihtosähkötöiden ja yli 120 voltin tasasähkötöiden tekemiseen riittävä koulutus, osaaminen ja kokemus. Tämä vaihtoehto soveltuu vain sähköalan ammattilaisille.

Kaikilla edellä mainituilla hankintatavoilla tai niiden yhdistelmillä on omat etunsa ja haittansa. Avaimet käteen-hankinnassa on etuna helppous, eikä siinä tarvitse kilpailuttamisen lisäksi tehdä juuri muuta. Haasteena on löytää omaan tarpeeseen parhaiten soveltuja toimittaja. Hankkimalla ja mitoittamalla kaikki itse on jo selvästi enemmän aikaa vievä vaihtoehto, mutta tässä vaihtoehdossa pystyy valitsemaan itse kaikki komponentit, joka antaa enemmän vaihtoehtoja järjestelmän kokoonpanolle kuin avaimet käteen-toimitus.

Monilla aurinkosähköjärjestelmien avaimet käteen-toimittajilla on internetsivuiltaan esimerkkihintoja. Jokainen ratkaisu räätälöidään kohteen mukaan, mutta esimerkkilaskelmien avulla saadaan hyvä kuva järjestelmien hinnoista. Kuvassa 8 on Oulun Energia Oy:n internetsivuilta otettu esimerkki, jossa on esimerkkihinnat 1,7 kWp:n, 2,8 kWp:n ja 5,0 kWp:n järjestelmästä avaimet käteen-toimituksista. Monesta muusta esimerkkilaskelmasta poiketen Oulun Energian ratkaisussa voi valita Eurooppalaiset tai Suomalaiset aurinkopaneelit. Oulun Energian esimerkkilaskelmista ei sen sijaan löydy tarkkoja tietoja esimerkiksi vaihtoehtoisten aurinkopaneelien tyypeistä. Invertterinä on SMA:n valmistama 3-vaiheinen invertteri.

Aurinkopaneelien lukumäärä	6	10	18
Aurinkopaneelien teho	1,7 kWp	2,8 kWp	5,0 kWp
Aurinkosähkön vuosituottoarvio* (suuntaus etelään)	1300 - 1400 kWh	2200 - 2500 kWh	4000 - 4500 kWh
Aurinkopaneelien pinta-ala	alle 10 m ²	noin 17 m ²	noin 30 m ²
Invertteri	SMA 1- vaiheinen	SMA 3- vaiheinen	SMA 3-vaiheinen
Järjestelmän asennus alk.	1 650 €	2 300 €	3 200 €
 Eurooppalaiset aurinkopaneelit alk.	1 850 €	3 020 €	4 710 €
Yhteensä alk.	3 500 €	5 320 €	7 910 €
 Suomalaiset aurinkopaneelit alk.	2 140 €	3 500 €	5 340 €
Yhteensä alk.	3 790 €	5 800 €	8 540 €
Kotitalousvähennys asennuksesta**	-725 €	-1 050 €	-1 500 €

Kuva 8. Esimerkkihintoja Oulun Energian aurinkosähkölaitteistamista. (Oulun Energia 2019a.)

Vattenfall tarjoaa internetsivuillaan 3 kWp:n aurinkosähkölaitteistusta avaimet käteen-periaatteella. Toimitus sisältää 10 kappaletta 300 Wp:n yksikiteisiä PERC-aurinkopaneeleita, kolmivaiheisen 3 kW:n SMA Tripower-invertterin, kattoasennustelineet kiinnikkein, verkkoonliittymisilmoituksen, kaapelivedot, sähkötyöt ja turvakytimen. Vattenfallin esimerkkilaitteistuksen hinnat alkavat 6990 eurosta. (Vattenfall.fi 2019)

Haluttaessa ostaa itse komponentit, voi paneelit ja invertterin ostaa yhdessä tai erikseen. Tarjontaa ja vaihtoehtoja on runsaasti Suomessakin, mutta jos ulkomailta ostaminen on mahdollista, vaihtoehtojen määrä moninkertaistuu. Ulkomailta komponentteja tilattaessa kannattaa kuitenkin muistaa huomioida, että hankintamaasta riippuen hankintahintaan voi tulla lisäksi arvonlisävero tai tullimaksuja, joita tavaroita tilattaessa esimerkiksi verkkokaupoissa ei ole mukana hinnoissa. Pääsääntöisesti EU alueelta tilatuista tuotteista ei tarvitse maksaa tullimaksuja eikä arvonlisäveroa Suomeen.

Aurinkopaneelikauppa.fi myy 3 kW:n aurinkovoimalaa hintaan 2990 euroa. Toimitus sisältää 3 kW:n Fronius-invertterin, 8 kappaletta Amerisolarin 285 W monikiteisiä aurinkopaneeleita, 30 metriä aurinkopaneelikaapelia, liittimet, turvakytimen, opastekyltin sekä pelti-, huopa- tai tiilikatolle soveltuvat asennustelineet paneeleille. (Aurinkopaneelikauppa.fi 2019.) Vaikka järjestelmää mainostetaan 3 kW:n tehoiseksi, kahdeksalla paneelilla huipputeho jää kuitenkin 2,28 kWp:n suuriseksi. Tämä perustoimitus sisältää kaikkein tärkeimmät osat. Aurinkopaneelit.fi sivuilla on lisäksi hinta-arvio asennustöille, joka on noin tuhat euroa.

Koottaessa koko järjestelmä itse valituista komponenteista tarjoaa se mahdollisuuden lähes rajattomaan määrään erilaisia variaatioita järjestelmän toteutukseen. Rajattaessa käytettävät komponentit yleisesti Suomessa tunnettuihin ja käytettyihin merkkeihin saadaan yleensä luotua järjestelmä, joka toimii Suomen olosuhteissa.

Paneeleiden valinnassa valitaan kustannustehokkaat paneelit. Yksi yleisesti käytetty paneeli on Amerisolarin 285 W monikidepaneeli, joka on toteutettu PERC-tekniikalla. Halvimmillaan yhden paneelin saa Suomesta ostettua 109 eurolla (Electrotori.net 2019.). Kun rakennetaan kymmenen paneelin järjestelmä, sen kokonaistehoksi tulee 2,85 kWp ja paneelien hinnaksi 1090 euroa.

Aurinkopaneelien lisäksi on hankittava aurinkopaneeleille asennustelineet. Esimerkkikohteeseen on tiilikatto, joten paneelien telineiden pitää soveltua tiilikatolle. Aurinkopaneelien asennus esimerkkikohteessa voidaan tehdä kahteen riviin, joista molempiin tulee viisi paneelia. Hinta-arviota tehdessä voidaan käyttää MATIC-kiinnikkeitä, joiden tuote ja hintatiedot saadaan Arctic Electric Vehicles Oy:n verkkokaupasta (Arctic Electric Vehicle 2019). Tarvittavat osat on esitetty taulukossa 2. Tarvikkeet kymmenen aurinkopaneelin kiinnittämiseen tiilikattoon maksavat noin 400 euroa.

Taulukko 2. Aurinkopaneelien kiinnikkeet.

Tuote	Määrä(kpl)	Hinta/kpl (€)	Hinta yhteensä (€)
Tiilikattokiinnike	10	11,35	113,50
Pääty-kiinnike	8	2,90	23,20
Keski-kiinnike	16	2,75	44,00
Alumiinikisko	8	24,50	196,00
Jatkokappale	4	4,50	18,00
			394,70

Suomessa myytävissä aurinkopaneeliratkaisuissa invertterinä on usein Fronius- tai SMA-invertteri. Fronius Symo 3 kW:n 3-vaiheisen invertterin saa ostettua Suomeen toimitettuna noin 1050 eurolla (24solar.fi 2019). SMA:n 3-vaiheinen 3 kW:n invertterin hinta Suomeen toimitettuna on noin 1100 euroa (mg-solar-shop.com 2019). Molempien laitteiden hinta Suomesta ostettuna on noin 300 euroa korkeampi.

Muut tarvittavat tarvikkeet koostuvat turvakytkimestä, AC- ja DC-kaapeleista, maadoituskaapelista, liittimistä, kaapeleiden kiinnikkeistä, johdonsuojakatkaisijoista sähkökeskukseen sekä keskukseen tulevasta varoituskyltistä ja kaapelien merkkauvälineistä. Näiden tuotteiden hankintakustannukset ovat noin 200 euron olettaen, että sähkökeskukseen ei tarvitse tehdä muita muutoksia kuin lisätä johdonsuojakatkaisijat.

Hankkimalla paneelit, paneelien asennustelineet, invertterin ja muut edellä mainitut asennustarvikkeet, saadaan näiden yhteishinnaksi noin 2740–2790 euroa. Hinta on siis 250 euroa vähemmän kuin samanlaisilla paneeleilla ja invertterillä myytävä aurinkopaneelikaupan järjestelmä, mutta koska paneeleita on kaksi enemmän, aurinkopaneelikauppa.fi:n järjestelmän teho on 20% pienempi.

Aurinkopaneeleista puhuttaessa kuulee usein puhuttavan mustista paneeleista. Hyvin usein kyse on yksikidepaneeleista, jotka ovat perinteisten monikidepaneelien siniseen väriin verrattuna ulkonäöltään mustia. Nämä paneelit ovat yleisesti hyötysuhteeltaan parempia ja perinteisiin paneeleihin verrattuna kalliimpia. PERC-tekniikalla toimivat mustat yksikidepaneelit tuottavat paremmin virtaa hämärämmissä olosuhteissa. Nämä paneelit ovat kuitenkin hinnaltaan vielä sen

verran kalliimpia, että etsittäessä kustannustehokkainta vaihtoehtoa jäävät nämä paneelit usein valintakriteerien ulkopuolella ja valinta kohdistuu monikidepaneeleihin.

Edellä mainituista vaihtoehdoista valittaessa järjestelmää on Vattenfallin esimerkkihinta kaikkein kallein. Yksi hintaa nostava tekijä on yksikidepaneelit, jotka ovat monikidepaneeleita kalliimpia. Oulun Energian esimerkkilaskelmassa on käytetty monikidepaneeleita, mutta heidän kauttaan saa myös yksikidepaneeleita. Oulun Energian esimerkkitarjouksessa on myös selvästi esitetty, mikä on kotitalousvähennyksen osuus.

Aurinkopaneelikaupan tuhannen euron hinta-arvio järjestelmän asennuksesta on hyvin realistinen. Järjestelmän asentaminen onnistuu kahdelta henkilöltä yhdessä työpäivässä. Oulun seudulla sähköasennusyriyten veloitus on noin 60 €/h, joten kahden henkilön veloitus on yhteensä noin tuhat euroa päivässä. Tähän suhteutettuna Oulun Energian 2300 euron veloitus asennuksesta tuntuu varsin kovalta. Aurinkopaneelikaupan järjestelmän ja asennustyön kokonaishinnaksi saadaan noin 4000 euroa. Itse hankittujen komponenttien avulla järjestelmän hinnaksi asennettuna ulkopuolista urakoitsijaa käyttäen tulee noin 3750 euroa. Vertailtaessa eri tarjouksia on syytä muistaa, että itse hankittujen komponenttien tapauksessa järjestelmän huipputeho on kuitenkin kahden paneelin eli 570 wattia korkeampi kuin aurinkosähkökaupan järjestelmän huipputeho.

Lopulliseen järjestelmän valintaan vaikuttaa se, kuinka paljon on itse valmis tekemään työtä hankinnan ja asennuksen eteen. Taloudelliseen tarkasteluun pitää myös miettiä, minkä arvon laskee omalle työlle vai jättääkö sen laskematta. Jos haluaa päästä helpolla, kannatta valita avaimet käteen-toimitus. Siinä oman työn osuudeksi jää lähinnä järjestelmien kilpailuttaminen ja se on hyvin vaivaton tapa hankkia aurinkosähköjärjestelmä. Tässä työssä on esitetty kahden eri avaimet käteen-toimituksen aurinkosähköjärjestelmät, mutta todellisuudessa tarjouksia kannattaa pyytää vähintään kolmelta eri toimijalta.

Oman työpanoksen käytöllä voi säästää asennuskuluissa. Aurinkopaneelien mekaaninen asennus katolle onnistuu monilta tee se itse-henkisiltä ihmisiltä helposti. Koko järjestelmän asentamiseen itse pitää kuitenkin olla sähköalan ammattilainen. Sen vuoksi moni pystyy tekemään itse paneelien asennuksen katolla,

vetämään kaapelit ja asentamaan invertterin mekaanisesti paikalleen. Sähkötyöt kannattaa teettää sähköurakoitsijalla, joka tekee tarvittavat kytkennät, käyttöönottomittaukset ja ilmoituksen sähköverkkoyhtiölle järjestelmän asennuksesta ja käyttöönotosta.

Esimerkkikohteessa järjestelmän mahdollinen hankinta tehtäisiin viimeisen vaihtoehdon mukaan. Hankitaan paneelit, invertteri ja muut tarvikkeet itse, asennetaan tarvikkeet muuten itse, mutta sähköasennusten kytkentätyöt ja käyttöönottomittaukset ostettaisiin sähköurakoitsijalta. Sähkökytkentöjen tekoon ja käyttöönottoon menee 4-6 tuntia. Laskemalla hinta 6 tunnin ja 60 €/h mukaan saadaan asennukselle hintaa 360 euroa. Realistinen arvio omalle ajankäytölle asennustöihin on kaksi päivää, eli 16 tuntia. Laskemalla oman asennustyön arvoksi 20 euroa/tunti, saadaan koko järjestelmän hinnaksi 3420 euroa.

4.4 Takaisinmaksuaika

Esimerkkikohteen tiedoilla luotu kuva 1 kertoo, että esimerkkikohteessa 1 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä pystyy tuottamaan keskimäärin 829 kWh sähköä vuodessa. Ottamalla laskuihin mukaan paneelien tehon pienenemisen vuosien saatossa, käytetään laskuissa 750 kWh:n vuosituottoa asennettua yhtä kWh:a kohden. Näin esimerkkikohteen keskimääräinen sähköntuotanto olisi 2137 kWh/vuosi.

Takaisinmaksuaikaa laskettaessa on tehtävä arvio siitä, kuinka paljon tuotetusta sähköstä pystytään käyttämään itse ja paljonko tuotetusta sähköstä myydään. Järjestelmän takaisinmaksuaika on sitä lyhyempi, mitä enemmän sähköä pystytään käyttämään itse. Lasketaan takaisinmaksuaika kolmella eri vaihtoehdolla, joissa oman sähkön kulutus on 50 %, 60 % ja 70 % kokonaistuotannosta.

Sähkön ja sähkönsiirron hintaa on vaikea ennustaa, mutta yleinen käsitys on, että sähkön kokonaishinta siirtoineen ja veroineen ei tule ainakaan laskemaan kuluttajalle. Esimerkkikohteen sähkölaskusta laskettuna nykyinen sähkön kokonaishinta on 0,13 €/kWh. Sähkön myynnistä saadaan yleensä sama hinta kuin mikä sähkön hinta on pohjoismaisessa sähköpörssissä. Vuoden 2018 sähkön keskimääräinen hinta sähköpörssissä on ollut 0,058 €/kWh (Energiakauppa.fi 2019). Käyttämällä ihan suoraan näitä lukuja takaisinmaksuajan laskemiseen saadaan

taulukon 3 mukainen takaisinmaksuaika. Laskennassa ei ole huomioitu sisäistä korkokantaa, vaan se on korvattu oletettavalla sähkön hinnannousulla. Myöskään sähkön myynnistä aiheutuvaa siirtohintaa ei ole huomioitu, koska sen vaikutus on alle 0,001 €/kWh.

Taulukko 3. Takaisinmaksuaika

Tuotanto	2137	2137	2137
Oma käyttö (%)	50	60	70
Oma käyttö (kWh)	1069	1282	1496
Myynti (kWh)	1069	855	641
Säästö oma käyttö (€)	139	167	194
Myyntitulot (€)	62	50	37
Säästö vuodessa (€)	201	216	232
Järjestelmän hinta (€)	3420	3420	3420
Takaisinmaksuaika (vuotta)	17,0	15,8	14,8

Laskemalla vastaavat luvut Vattenfallin esimerkkilaskelman pohjalta saadaan takaisinmaksuajoiksi 50 % omalla käytöllä 33 vuotta, 60 %:lla 31 vuotta ja 70 % omalla käytöllä 29 vuotta. Vattenfallin esimerkkilaskelmassa ei ole eritelty työn osuutta, mutta arvioimalla työn osuus sunnilleen samaksi Oulun Energian esimerkkilaskeman kanssa, saadaan kotitalousvähennyksen määräksi hieman yli tuhat euroa. Kotitalousvähennys huomioiden kaikki edellä mainitut Vattenfallin takaisinmaksuajat ovat noin viisi vuotta vähemmän.

Esimerkkikohteessa on mahdollista saada kotitalousvähennystä ulkopuolisen sähköurakoitsijan palveluista. 360 euron summasta saa puolet kotitalousvähennystä, eli 180 euroa. Kotitalousvähennyksessä on kuitenkin 100 euron omavastuu, joten kotitalousvähennykseksi jää 80 euroa. Ottamalla huomioon kotitalousvähennys ja jättämällä pois oman työn hinta, saadaan järjestelmän hinnaksi 3020 euroa. Kun tuotannosta saadaan omaan käyttöön 50 % on takaisinmaksuaika 15 vuotta, 60 % omalla käytöllä 14 vuotta ja 70 % omalla käytöllä takaisinmaksuaika olisi 13 vuotta. Jos koko tuotettu sähkö pystyttäisiin käyttämään itse, jäisi takaisinmaksuaika 11 vuoteen kotitalousvähennyksen ja ilman omalle työpanokselle laskettavaa korvausta.

4.5 Tuottotakuu

Aurinkopaneelien valmistajat antavat paneeleilleen lähes poikkeuksetta samanlaisen tuottotakuun. Valmistajat lupaavat, että aurinkopaneelit tuottavat 25 vuoden kuluttua käyttöönotosta vielä 80 % nimellishuipputehostaan. Kalleimmille paneeleille voidaan luvata jopa yli 85 % tuottotakuu 25 vuoden kuluttua. Paneeleille annetaan yleensä myös tuotetakuu. Se on yleisesti 10 vuotta, mutta kalliimmissa paneeleissa 15 vuotta on tyypillinen tuotetakuun kesto.

Invertterien yleinen kesto on 10-15 vuotta, jonka jälkeen invertteri joudutaan vaihtamaan. Invertterien valmistajat antavat inverttereille yleisesti 5 vuoden takuun, mutta usein asiakas pystyy jatkamaan tätä pienellä lisämaksulla 7 vuoteen.

Asennuskiskojen ja asennustelineiden takuu vaihtelee aurinkojärjestelmien komponenteista eniten. Lyhimmillään se on viisi vuotta ja parhaimmillaan jopa 30 vuotta. Tyypillinen takuu-aika on kymmenen vuotta.

Avaimet käteen toimituksissa urakoitsija antaa työlleen kahden vuoden takuun. Tämä takuu kattaa lähinnä asennusvirheet.

4.6 Sähkön varastointi

Saarekejärjestelmissä sähkön varastointi akkuihin on ollut käytössä jo pitkään. Markkinoille on viime aikoina tullut myös järjestelmiä, joilla pystyy varastoimaan esimerkiksi aurinkosähköllä tuotettua sähköä ja hyödyntämään sitä 3-vaiheisena vaihtosähköinä.

Useinkaan aurinkosähkön kulutus ja käyttö eivät kohta. Kun aurinko paistaa ja saadaan runsaasti sähköä, se joudutaan myymään sähköverkkoon alhaisella hinnalla. Sähköyhtiöistä esimerkiksi Helen tarjoaa asiakkailleen laitteita, joilla pystyy varastoimaan osan tuottamastaan sähköstä ja sähkön pystyy hyödyntämään silloin kun oma tuotanto on pienempää kuin kulutus. Näin oman tuotannon käyttöä pystytään lisäämään merkittävästi. Tämän lisäksi Helen tarjoaa niille asiakkaille, joilla on sähkövarasto käytössä, myös virtuaaliakkua. Se on nimensä mukaisesti sähköverkossa oleva virtuaaliakku, jonne asiakas voi tallentaa itselleen sähköä, jota asiakas ei pysty käyttämään sen tuottohetkellä ja joka ei mahdu asiakkaan

omaan sähkövarastoon. Asiakas saa tämän sähkön käyttöön myöhemmin ja näin asiakas saa tuottamastaan aurinkosähköstä hyödynnettyä 100 %. (Helen 2019.)

Varastoitaessa suuria määriä sähköä muodostuu varastoinnin hinta erittäin korkeaksi. Helen jopa myöntää, että varastointiin myytävät järjestelmät ovat enemmän tekniikasta kiinnostuneiden ja niiden ihmisten hankkimia, jotka haluavat edistää omalta osaltaan ympäristöystävällistä energiantuotantoa. Nykyisillä sähkön hinnoilla järjestelmien takaisinmaksuaika on erittäin pitkä. Helenin myymän sähkövaraston perusyksikön hinta on 8000 euroa. (Helsingin Insinöörit ry 2019.)

5 POHDINTA

Aurinkosähkösuunnitelman laatiminen kotitalouksille ei sinänsä ole vaikeaa, mutta vaatii asiaan ja tekniikkaan perehtymistä. On hyvä ymmärtää, mitkä tekijät vaikuttavat sähkölaskun suuruuteen ja missä tilanteissa aurinkosähkön tuotannolla saa parhaan mahdollisen taloudellisen hyödyn aurinkosähköstä. Lupaprosessit ovat yksinkertaisia, toki niissä esiintyy kuntakohtaisia eroja. Uudisrakennuksessa lupa aurinkosähköjärjestelmälle haetaan yleensä rakennusluvan yhteydessä ja vanhoihin kiinteistöihin toimenpidelupa monissa kunnissa riittää. Sähköverkkoyhtiölle pitää tehdä ilmoitus aurinkosähköjärjestelmän liittamisestä sähköverkkoon, sekä tehdä sähkönmyyntisopimus mahdollisen ylijäämä­sähkön myymisestä sähköverkkoon. Sähköverkkoyhtiöillä on tietyt kriteerit, millaisia laitteita sähköverkkoon saa liittää. Ennen aurinkosähköjärjestelmän ostamista on hyvä selvittää, että suunniteltu laitteisto vastaa sähköverkkoyhtiön vaatimuksia.

Aurinkosähköjärjestelmien tärkein komponentti on aurinkopaneelit. Paneelien tekniikka kehittyä koko ajan ja paneelien hyötysuhteet paranevat. Käytännössä se tarkoittaa, että sama teho saadaan pienemmän pinta-alan vaativista paneeleista. Uuden tyyppiset paneelit ovat kuitenkin hinnaltaan perinteisiä paneeleita kalliimpia ja eivät usein pärjää pelkkää taloudellisuutta vertailtaessa. Aurinkosähköjärjestelmien yleistyminen on kuitenkin laskenut aurinkopaneelien hintaa viime vuosina.

Aurinkopaneelijärjestelmän hankkiminen omakotitaloon on ekologisesti perusteltua, mutta pelkällä taloudellisuudella sitä on vaikea perustella. Taloudellista järkevyyttä arvioitaessa joudutaan tekemään paljon oletuksia ja arvauksia, joihin vastaukset saadaan vasta 15-20 vuoden kuluttua. Kaksi keskeisintä asiaa on sähkön kokonaisostohinta kuluttajille, sekä ylijäämä­sähkön tuotannosta saatava korvaus.

Yleisen käsityksen mukaan sähkön hinta kuluttajille tulee nousemaan tulevaisuudessa. Sähkön hinta voidaan jakaa karkeasti kolmeen tekijään: sähköenergian hinta, sähkön siirtohintaa ja verot. Energian hinta on viime vuosina ollut paljon tasanempi kuin sähkön siirtohintaa. Siirtohintojen nousuun on vaikuttanut mm. siir-

toyhtiöiden rajut investoinnit sähköverkkoihin. Siirtoyhtiöt ovat investoineet maa-kaapelointiin suuria summia rahaa tehden siirtoverkoista vähemmän vika-alttiin erityisesti myrskyjen ja lumen aiheuttamille vahingoille. Myös sähköverojen ennakoidaan tulevaisuudessa nousevan.

Aurinkosähköjärjestelmien ylijäämä sähkö myydään usein pohjoismaisen sähköpörssin SPOT-hinnalla sähköyhtiöille. Useat yhtiöt ostavat sähkön samalla hinnalla aurinkosähköä tuottavilta kotitalouksilta kuin mikä on sähkön pörssihinta. Yleisesti sähkön hinta on kuitenkin aurinkosähköjärjestelmien parhaina myyntiaikoina kesällä alhaisempaa kuin mitä se on talvella, kun sähköä ei pystytä juurikaan aurinkosähköjärjestelmillä tuottamaan. Tästä syystä usein talvella ostettu sähköenergia on kesällä tuotettua sähköenergiaa kalliimpaa ja myyntihinta on aurinkosähköjärjestelmän omistajalle vähemmän tuottavaa.

Paras tuotto aurinkosähköjärjestelmillä saadaan, kun mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä pystytään käyttämään itse. Tämä voi vaatia kulutustottumusten muutosta, mutta aina sekään ei riitä. Yleisesti sähkölämmitteisissä taloissa on sähkölämmitys ja käyttövesi tehty yösähköllä sen halvempaan hintaan perustuen. Aurinkosähköä tuottavalla kiinteistöllä asia pitää kääntää pääläelleen. Kulutuksen pitää olla suurinta silloin kun sähköntuotanto on suurinta, eli päivällä. Tärkeintä olisi saada lämmin käyttövesi ja kesällä mahdollisesti käytettävä viiennys toimimaan niin, että omasta sähköntuotannosta saataisiin suuri osa käytettyä näihin suurimpiin kotitalouksien sähköä kuluttaviin laitteisiin.

Pienten kotitalous aurinkosähköjärjestelmien yksikköhinta on suurempi kuin isojen teollisuuskiinteistöjen järjestelmien yksikköhinnat. Lisäksi teollisuuskiinteistöjen sähkönkulutus tiedetään tai pystytään arvioimaan hyvin. Hankittaessa aurinkosähköjärjestelmää teollisuuskiinteistöön voidaan se mitoittaa optimaalisesti niin, että lähes kaikki tuotettu sähkö pystytään käyttämään itse ja näin korvaamaan kalliimpaa ostoenergiaa. Tällä tavalla teollisuuskiinteistöjen aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuaika saadaan lyhyemmäksi kuin pienten omakotitalojen järjestelmät ja takaisinmaksuaika saadaan lyhenemään jopa merkittävästi. Lisäksi yritykset saavan taloudellisen hyödyn lisäksi imagollista hyötyä käyttämällä itse tuotettua uusiutuvaa energiaa.

Pienille kotitalouksille suunnatuilla 3-5 kWp:n järjestelmien myyjien esitteissä ja myyntipuheissa usein mainostetaan järjestelmän takaisinmaksuajaksi 15-20 vuotta. Tähän voidaan päästä, kun käytännössä kaikki tuotettu sähkö pystytään käyttämään itse ja myytäväksi jäävää sähköä ei juuri jää. Tässä työssä arvioidun esimerkkikohteen takaisinmaksuajaksi saatiin suurella oman työn osuudella noin 15 vuotta olettamalla omaksi sähkönkäytöksi 70%. 100% omalla käytöllä takaisinmaksuajaksi saataisiin noin 12 vuotta. Invertterien normaali käyttöikä on noin 10-15 vuotta. Esimerkkikohteessa pitäisi varautua invertterin uusintaan suunnitteen samaan aikaan kuin investointi on maksanut itsensä takaisin. Invertterin uusinta kuitenkin vie takaisinmaksuaikaa noin 5 vuotta eteenpäin, jolloin järjestelmän ikä on noin 20 vuotta. Paneeleiden käyttöikä on usein yli 30 vuotta, joten laitteisto tuottaisi varsinaista taloudellista hyötyä elinkaarensa aikana reilut kymmenen vuotta. Valitsemalla avaimet käteen-toimitus, alkaa laitteisto tuottaa vielä myöhemmin kaikkien alkuoletusehtojen pysyessä muuttumattomina.

Tämän opinnäytetyön laskelmiin perustuen esimerkkikohteeseen ei ainakaan heti hankita aurinkosähköjärjestelmää. Jos sähkön kokonaishinta muuttuu oleellisesti, tekniikka kehittyy tai laitteistojen hinnat laskevat selvästi, niin aurinkosähköjärjestelmän asennusta tullaan pohtimaan uudestaan. Tämän työn innoittama esimerkkikohteessa on kuitenkin kiinnitetty huomiota energiatehokkuuteen esimerkiksi vaihtamalla valaistukseen energiatehokkaampia, yleensä led-tekniikkaan perustuvia lamppeja. Myös sähkön hinta on kilpailutettu ja saatu sähkön hinta laskemaan yli 0,01 euroa/kWh, joka esimerkkikohteen arvioidulla 14000 kWh:n sähkönkulutuksella tarkoittaa yli 140 euron vuosisäästöä seuraavien kahden vuoden aikana. Ilman alkuinvestointia se on kuitenkin yli 50% siitä, mitä aurinkosähköinvestoinnilla olisi laskelmien mukaan pystytty säästämään.

LÄHTEET

24solar.fi 2019. Fronius Symo 3 kW. Viitattu 19.11.2019 <https://24solar.fi/fi/solar/invertterit/fronius-symo-30-3-s-inverter-3-kw>

Ahoranta, J. 2016. Sähkötekniikka. 15. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro

Arctic Electric Vehicle 2019. MATIC-kiinnikkeet. Viitattu 19.11.2019 https://arctic-ev.omaverkkokauppa.fi/epages/arctic-ev.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2015010202/Categories/AURINKOSAHKOTUOTTEET/Aurinkopaneeli_kiinnikkeet/MATICKIINNIKKEET

Aurinkopaneelikauppa.fi 2019. Aurinkovoimala 3 kW. Viitattu 19.11.2019 https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/epages/aurinkopaneelikauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20120903-11092-142553-1/Products/16033

Aurinkosähkö.net 2019. 285W aurinkopaneeli monikide. Viitattu 12.11.2019 <https://www.aurinkosahko.net/product/190/285w-aurinkopaneeli-monikide>

Electrotori.net 2019. Aurinkopaneeli Amerisolar 285W. Viitattu 19.11.2019 <https://www.electrotori.net/product/100/aurinkopaneeli-amerisolar-285w>

Energiakauppa.fi 2019. TUNTI-sähkösopimus. Viitattu 20.11.2019 <https://energiakauppa.fi/tee-sahkosopimus/tunti-sahkosopimus/>

Energiateollisuus ry 2019. Aurinkovoima. Viitattu 2.11.2019 https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima

Euroopan komissio 2019. PVGIS Tools. Viitattu 7.11.2019 https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

Helen 2019. Älykäs sähkövarasto pientaloon. Viitattu 27.11.2019 <https://www.helen.fi/aurinko/kodit/sahkovarasto-pientaloon#yhteydenotto>

Helsingin Insinöörit ry 2019. Varastosta sähköä. Viitattu 27.11.2019 <https://www.helins.fi/artikkelit/varastosta-sahkoa/>

Ledwatcher.com 2019. Aurinkopaneelityypit. Viitattu 12.11.2019 <https://www.ledwatcher.com/solar-panel-basics-and-types-of-solar-panels-used-in-flood-lights/>

Lämpökuvauspalvelu.fi 2019. Aurinkosähkö. Viitattu 12.11.2019 https://www.lampokuvauspalvelu.fi/index.php?p=1_9_0_14_Aurinkopaneeli-300W-yksikide-PERC

Miettinen, P. 2019. Yksikidepaneeli vai monikidepaneeli. Viitattu 12.11.2019 <https://www.energiani.fi/tietopankki/yksikidepaneelit-ja-monikidepaneelit-kumpi-sopii-minun-tarkoitukseeni-paremmiin/>

Motiva 2019a. Aurinkosähköteknologiat. Viitattu 11.11.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva 2019b. Pohjakulutukseen perustuva mitoitus. Viitattu 14.11.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen_perustuva_mitoitus

Motiva 2019c. Uusiutuva energia. Viitattu 2.11.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Motiva 2019d. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. Viitattu 25.11.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma

Motiva 2019e. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Viitattu 6.11.2019 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Oulun Energia 2019a. Aurinkopaneelit kotiin. Viitattu 6.11.2019 <https://www.ouluenergia.fi/aurinko/aurinkopaneelit-kotiin>

Oulun Energia 2019b. Oman tuotannon liittäminen sähköverkkoon. Viitattu 2.11.2019 <https://www.ouluenergia.fi/sahko/sahkonsiirto/oman-tuotannon-liittaminen-sahkoverkkoon>

Oulun kaupunki 2019a. Rakennusjärjestys. Viitattu 2.11.2019 <https://www.ouka.fi/documents/486338/0/Rakennusjarjestys+1.9.2017.pdf/031a1d8e-2a24-42dd-bee3-e194d630559c>

Oulun kaupunki 2019b. Rakennusvalvonta. Viitattu 2.11.2019 <https://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/aurinkopaneelilupa>

Partco.fi 2019. MC4. Viitattu 13.11.2019 <https://www.partco.fi/fi/liittimet/virtaliittimet/akku-virtaliittimet/4360-mc4.html>

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Espoo: Alfamer/Karisto.

Pveducation.org 2019a. Auringon säteily. Viitattu 11.11.2019 <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-radiation-outside-the-earths-atmosphere>

Pveducation.org 2019b. Ilmakehän vaikutus. Viitattu 11.11.2019 <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/atmospheric-effects>

Rakennustietosäätiö RTS 2019. ST 55.32. RT 103076. Ohjekortti. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät.

Rexel Finland Oy 2019. Aurinkosähköjärjestelmät, 6. Viitattu 7.11.2019 <https://www.rexel.fi/globalassets/palvelut/rexel-aurinkoenergia-low.pdf>

Rintala, M. & Joutsenvaara, J. 2016. Arktisen aurinkosähkön hyödyntämisen opas. Rovaniemi: Lapin AMK.

Solarsynergia 2019. Millaisen laturin/säätimen valitsen. Viitattu 25.11.2019
<https://www.solarsynergia.com/single-post/2016/10/17/Millaisen-laturin-saati-men-valitsen>

STTInfo/Aalto-yliopisto. 2018. Mustat aurinkopaneelit. Viitattu 12.11.2019
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/maailman-ensimmaiset-pikimustat-aurinkopaneelit-selvisivat-tulikokeesta-matka-tutkimuksesta-teollisuuteen-sujui-vauhdilla?publisherId=37936456&releaseId=69713142>

Suntekno Oy 2010. Aurinkopaneelit. Viitattu 11.11.2019 <http://suntekno.bon-sait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Sähköala.fi 2017. Aurinkosähköjärjestelmä kannatta mitoittaa oikein. Viitattu 22.11.2019 http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/aurinkoenergia/fi_FI/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/

ST 55.33. 2013. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähköjärjestelmään. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 40. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus.

Valtioneuvosto 2019. Budjettiesitys tuo muutoksia tulo- ja valmisteverotukseen. Viitattu 4.11.2019 https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/budjettiesitys-tuo-muutoksia-tulo-ja-valmisteverotukseen?_101_IN-STANCE_YZfcyWxQB2Me_groupId=10623

Vattenfall.fi 2019. Aurinkopaneelit kotiin. Viitattu 19.11.2019 <https://www.vattenfall.fi/aurinkopaneeli/aurinkopaneelit-taloon/>

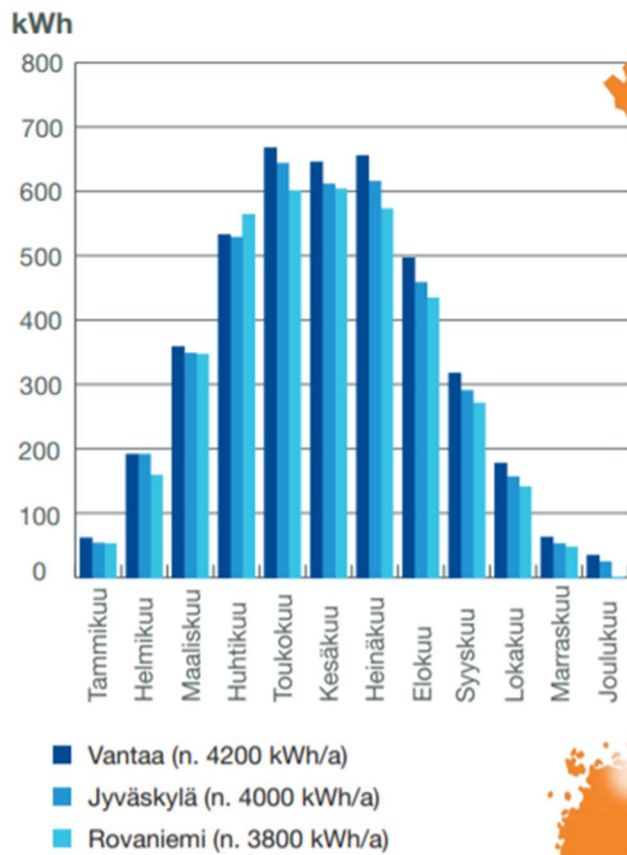
Verohallinto 2019a. Kotitalousvähennys. Viitattu 4.11.2019
<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>

Verohallinto 2019b. Kunnossapito ja perusparannustyöt. Viitattu 4.11.2019
<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/remontointi/>

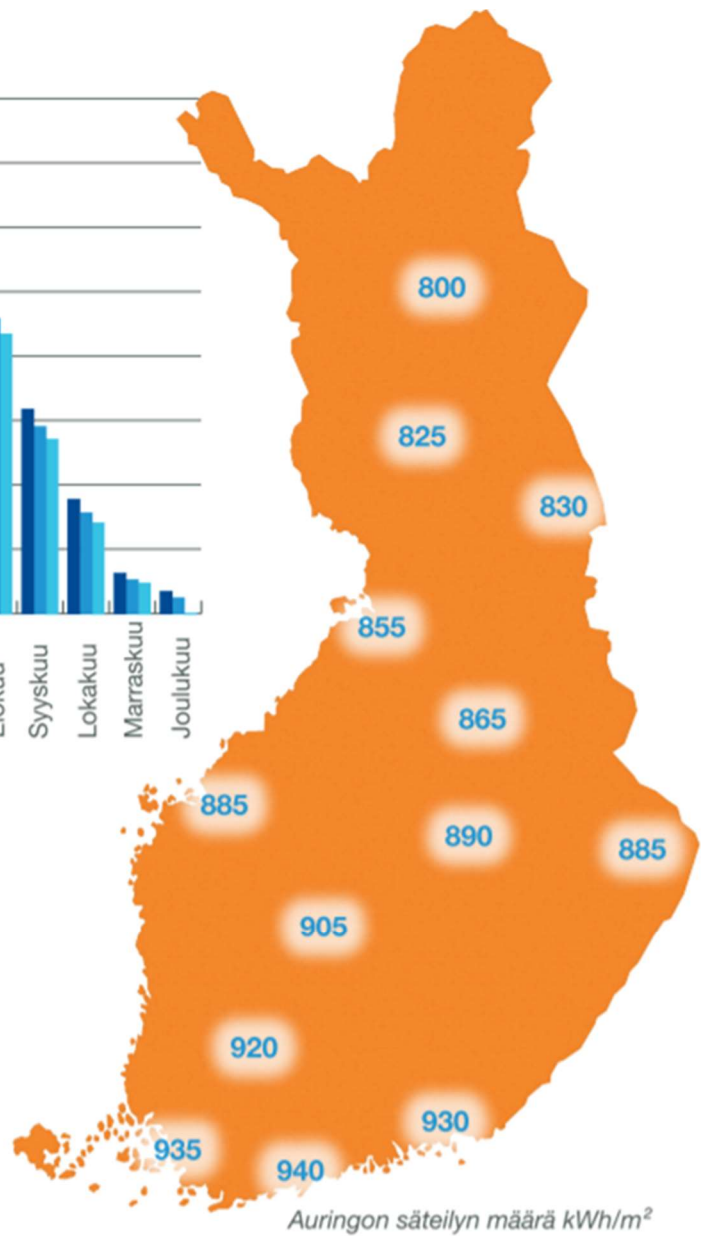
LIITTEET

- Liite 1. Rexel Finland Oy, Aurinkosähköjärjestelmät.
- Liite 2. Euroopan komissio. PVGIS Tools.

Liite 1.



Esimerkki 5 kWp:n järjestelmän sähköntuotosta.



Liite 2.

