

Miika Sorjonen

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Miika Sorjonen
Työn nimi	Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu
Toimeksiantaja	Sähkösuunnittelu 3S Oy
Vuosi	2021
Sivut	26 sivua, liitteitä 5 sivua
Työn ohjaaja(t)	Risto Asp, Timo Sallinen

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin aurinkosähköjärjestelmään sekä aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun ja suunniteltiin aurinkosähköjärjestelmä Espoon asunnot Oy:n uudisrakennukseen. Tavoitteena oli luoda osaamista toimeksiantajalle mahdollisia tulevia vastaavia projekteja varten. Työssä pyrittiin myös antamaan lukijalle kattava kuvaus aurinkosähköjärjestelmästä.

Varsinaisen työn kohteena oli kerrostalokiinteistö Espoon alueella. Lähtökoh-
tana työlle oli uudisrakennuksen sähkösuunnittelu, johon sisältyi aurinkosäh-
köjärjestelmän suunnittelu kiinteistön katolle. Järjestelmä pyrittiin suunnittele-
maan ja mitoittamaan mahdollisimman kannattavaksi. Mitoituksessa käytettiin
apuna toimeksiantajan optimoimaa Excel-laskentatyökalua. Itse suunnittelu-
työssä käytettiin Cadmatic-ohjelmistoa. Kohteen suunnittelussa ei määritetty
mitään tiettyjä aurinkosähköjärjestelmän komponentteja, vaan järjestelmälle
annettiin vain vaaditut arvot, jolloin varsinaisen asennustyön tekevä urakoitsija
voi valita itsensä tuntemat komponentit.

Suunnittelutyön tarkoituksena oli luoda pohja mahdollisimman kannattavalle
aurinkosähköjärjestelmälle, jolla minimoidaan kiinteistön kulutuslaitteiden ku-
luttama ostosähkö.

Itse suunnittelutyössä päästiin tavoitteeseen ja onnistuttiin suunnittelemaan
aurinkosähköjärjestelmä, jonka ansiosta kiinteistön kuluttamaa ostosähköä
pystytään vähentämään.

Asiasanat: Aurinkosähkö, On-grid, sähkösuunnittelu



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Miika Sorjonen
Thesis title	Designing a photovoltaic system
Commissioned by	Sähkösuunnittelu 3S Oy.
Time	October 2021
Pages	26 pages, 5 pages of appendices
Supervisor	Risto Asp, Timo Sallinen

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to get familiar with a photovoltaic system and to design such a system for the roof of an apartment building located in Espoo. The aim of this thesis was to provide the commissioner with knowledge for possible future projects. This thesis also aimed to give the reader a comprehensive description of the photovoltaic system.

The target of the actual designing project was an apartment building property located in the Espoo area. The starting point for the project was the electrical design of the new building, which included the design of a photovoltaic system for the roof of the building. The aim was to design the system as cost-efficiently as possible. No specific components of the photovoltaic system were specified in the design of the project. Only the required values for the system were given, allowing the contractor doing the actual installation work to select components familiar to them.

The purpose of the design was to create a basis for the most profitable photovoltaic system possible, which minimizes the purchase of electricity consumed by the property's consumption equipment.

Keywords: photovoltaic system, on-grid, electrical design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	AURINKOSÄHKÖ	8
2.1	Yleisesti.....	8
2.2	Aurinkoenergia Suomessa	9
3	ENERGIA-AVUSTUS.....	10
4	TUNTI- JA VAIHENETOTUS	11
5	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	12
5.1	Aurinkopaneelit.....	14
5.1.1	Valosähköinen ilmiö	14
5.1.2	Puolijohdemateriaali ja P-N-liitos.....	15
5.1.3	Aurinkopaneeliteknologia	16
5.1.4	Paneelityypit.....	16
5.2	Invertteri	19
5.2.1	MPPT (Maximum Power Point Tracker)	19
5.3	Akusto	20
5.3.1	Virtuaaliakut.....	20
5.4	Mittarointi.....	21
5.5	Johtojärjestelmät ja kaapelointi	21
5.6	Maadoittaminen ja suojajohtimet.....	22
5.7	Toiminta häiriötilanteessa ja suojalaitteet.....	23
5.8	Verkkoon liittäminen	25
6	SUUNNITTELU	26
6.1	Mitoitus.....	26
6.2	Paneelien sijoitus ja suuntaus	28
6.3	Paneelien suuntaus ja kiinnitys	29
7	JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS	30

8	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	34

LIITTEET

Liite 1. Ralos PVT- hybrid aurinkopaneelin datalehti

Liite 2. Amerisolar AS-6M120-HC BLACK 360W, datalehti

Liite 3 PV INVERTTERI SOLIS 3P20K-4G 20KW datalehti

LYHENTEET

kW	Kilowatti
kWp	Kilowattipiikki
kWh	Kilowattitunti
DC	Tasavirta
AC	Vaihtovirtaa
CdTe	<i>Cadmium Telluride</i> . Kadmiumtellsuuri.
CIGS	<i>Copper Indium Gallium Selenide</i> . Kuparin, indiumin, galliumin ja seleenin yhdiste.
DSC	<i>Dye-sensitised solar cell</i> . Väriaine herkistetty aurinkokenno.
MPPT	Maximum Power Point Tracker- säädin.
kVA	Kilovolttiamppeeri

1 JOHDANTO

Auringosta vapautuu suuri määrä energiaa, ja sitä saapuu maapallolle moninkertaisesti enemmän kuin mitä siitä nykyään hyödynnetään. Auringonsäteilystä saatava energia on uusiutuvaa ja ekologista, ja sen merkitys kasvaa tulevaisuudessa paljon. Kasvihuonepäästöjen hillitsemiseksi fossiilisia polttoaineita on välttämätöntä korvata uusiutuville energialähteillä. Aurinkosähkö pienentää ostoenergian tarvetta ja siten vähentää huomattavasti kasvihuonepäästöjä. Päästöjä ja jätettä aurinkoenergian tuotannossa syntyy vain laitteiden valmistuksessa ja kierrätyksessä.

Aurinkoenergiaa saadaan hyödynnettyä yleensä aurinkokennojen tai aurinkokeräimien avulla. Aurinkokeräin on laite, joka muuttaa säteilyä teknisesti käytökelpoiseksi lämmöksi. Aurinkokeräimien lämmittämää vettä voidaan hyödyntää kotitalouksien käyttövetenä, rakennuksien lämmittämisessä tai teollisuuden prosesseissa. Aurinkopaneelit muuntavat auringon säteilyn sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla, jota käsitellään tässä työssä.

Aurinkosähköjärjestelmien kysyntä on kasvamassa jatkuvasti, kun yhä useampaa kuluttajaa alkaa kiinnostamaan ympäristöystävällisten energiatuotannon mahdollisuudet ja taloudelliset hyödyt. Valtioneuvoston hyväksymän asetuspaketin ansiosta aurinkosähköstä tulee edelleen kannattavampaa tuntinottoisuuden ja hyvityslaskennan ansiosta.

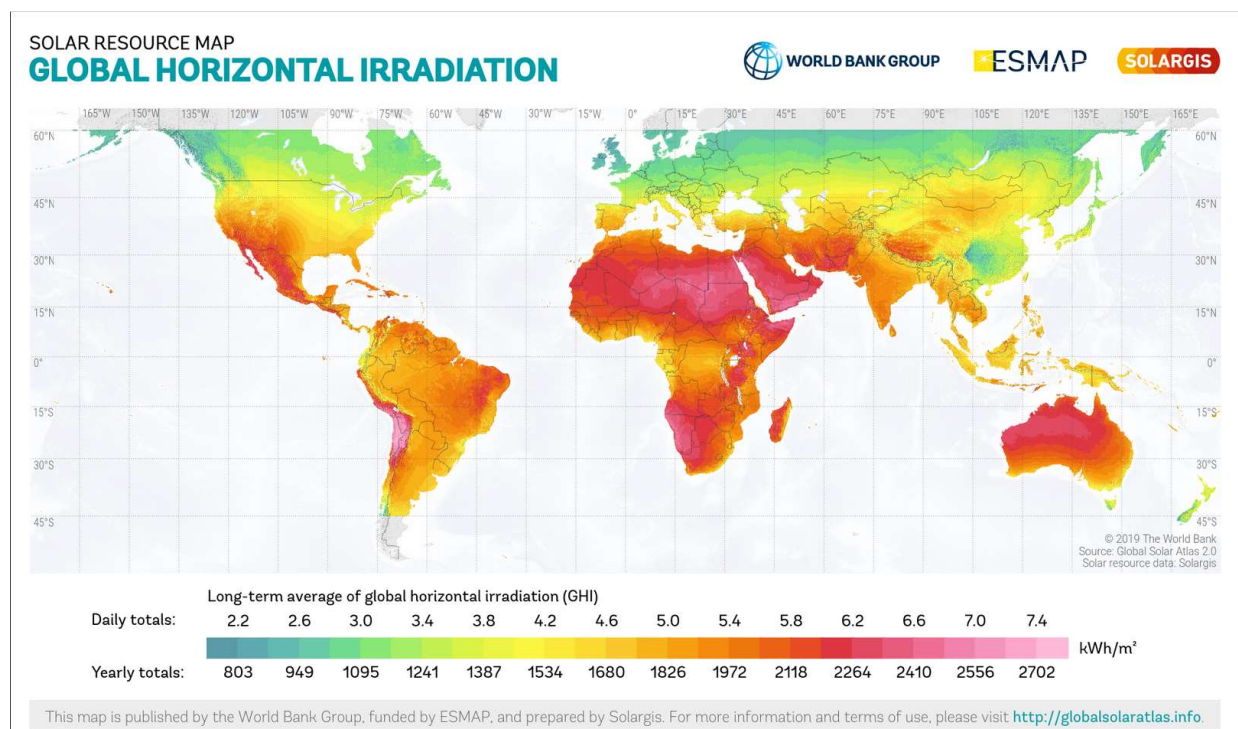
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä aurinkosähköön ja aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun on-grid- uudisrakennuskohteessa. Mallikohteena käytetään Espoossa sijaitsevaa kerrostalokohdetta. Mallikohteeseen suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmä muun suunnittelutyön ohella.

2 AURINKOSÄHKÖ

2.1 Yleisesti

Auringossa tapahtuvan fuusioreaktion seurauksena vapautuu suuri määrä energiaa. Lämpöydinreaktion eli fuusion aiheuttamassa massamuutoksessa vapautuva energia antaa auringon kokonaistehoksi $3,8 \times 10^{23}$ kW. Tästä määrästä maapallolle tulee n $1,7 \times 10^{14}$ kW, joka on noin 20.000 kertaa teollisuuteen ja lämmitykseen käytetty teho. [1.]

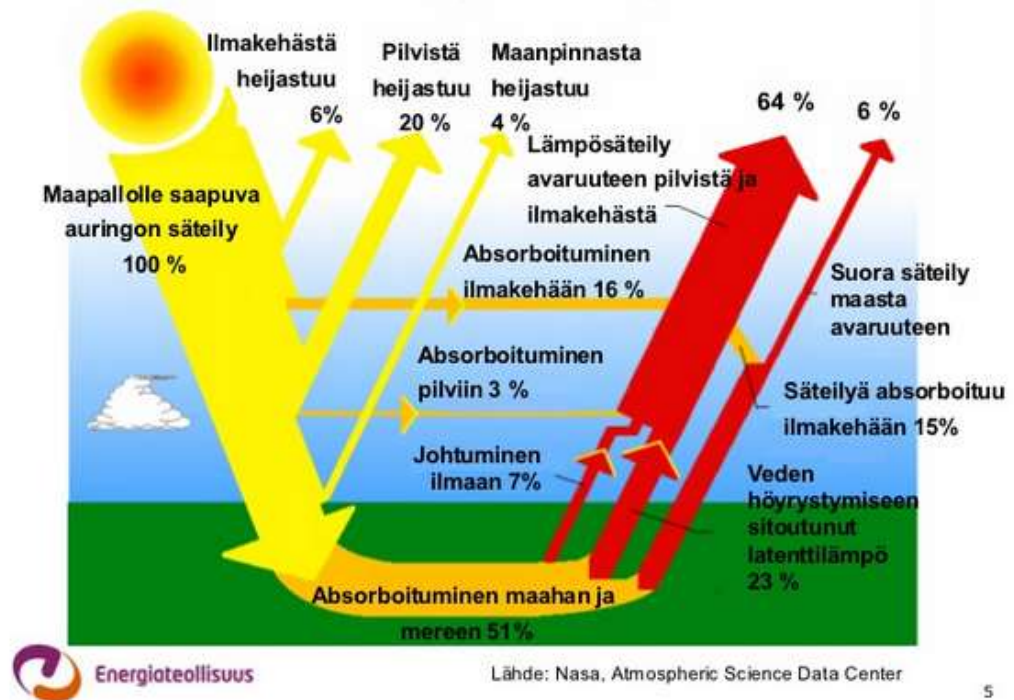
Maapallolle saapuva auringonsäteily jakautuu kuvassa 1 osoitetulla tavalla.



Kuva 1. Maapallolle tuleva horisontaalinen säteily [5]

Aurinkoenergian avulla tuotetussa sähkön tuotannossa hyödynnetään auringon säteilyä, puolijohdemateriaalien ominaisuuksia sekä valosähköistä ilmiötä. Auringon kokonaissäteily koostuu auringosta suoraan tulevasta säteilystä, joka on suoraan ilmakehästä läpitullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily on ilmakehän ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastuvaa hajasäteilyä (kuva 2). [2.]

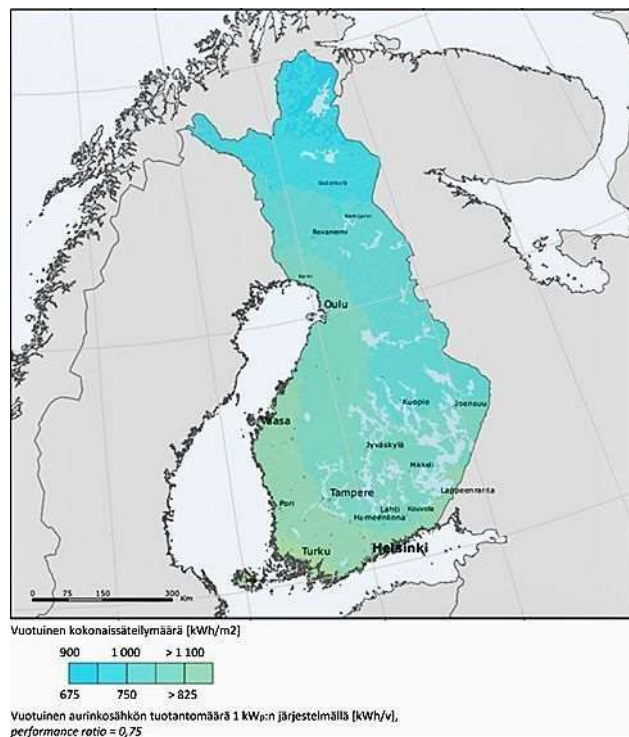
Maapallon energiatasapaino



Kuva 2. Auringon säteilyn jakautuminen ilmakehässä [3]

2.2 Aurinkoenergia Suomessa

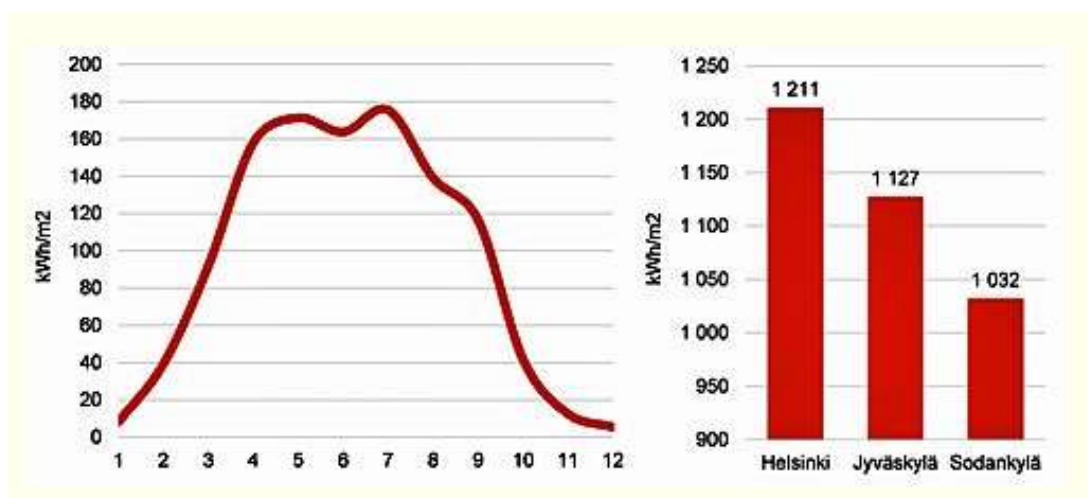
Suomessa hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on suuri, Etelä-Suomessa osuus on noin puolet kokonaissäteilystä (kuva 3).



Kuva 3. Vuotuinen auringon säteily määrä optimaalisesti suunnatuille ja kallistetuille pinnoille Suomessa [4]

Hajasäteilyn suuri osuus kokonaissäteilystä Suomessa aiheuttaa sen, että keskittävät aurinkosähköjärjestelmät sekä aurinkoa seuraavat (tracking) järjestelmät eivät ole yleisen käsityksen mukaan taloudellisesti järkeviä, sillä ne perustuvat lähinnä suoran säteilyn tehokkaaseen hyödyntämiseen. Etelä-Suomen vuotuinen kokonaissäteilyn määrä on lähes samaa suuruusluokkaa Pohjois-Saksan kanssa. Suomessa säteily keskittyy kuitenkin Etelä-Eurooppaa enemmän kesäkuukausille, joten tuotannon vaihtelu vuodenaikojen mukaan on Suomessa suurempaa. [2.]

Etelään suunnatun optimaaliseen kaltevuuskulmaan asennetun ja varjostuksista vapaa 1kWp aurinkovoimala Suomessa voi tuottaa vuodessa noin 850–950 kWh sähköenergiaa. Etelä-Suomessa vuotuinen säteily määrä vaakasuuralle pinnalle on Ilmatieteen laitoksen testivuoden mukaan noin 980 kWh/m^2 , Keski-Suomessa määrä on noin 890 kWh/m^2 ja Pohjois-Suomessa noin 790 kWh/m^2 (kuva 4) [2].



Kuva 4. Auringon kokonaissäteilyenergian summa 45 asteen kulmassa etelään pain suunnatulle pinnalle Suomessa sekä erot vuotuisissa säteilymäärissä eri kaupungeissa [2]

3 ENERGIA-AVUSTUS

Energia-avustusta voidaan myöntää sellaisten saneerauskohteiden korjaustöiden kustannuksiin, joiden avulla asuinrakennuksen energiatehokkuutta parannetaan rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta muutos- ja korjaustöissä esitetyn ympäristöministeriön asetuksen (4/13) 7§:ssä asetettua vähimmäistasoa parempaan tasoon verrattuna kohteen rakentamisajankohdan tai jos kohteen käyttötarkoitusta on muutettu käyttötarkoituksen

muutoksen mukaiseen tasoon. Avustuksen myöntämisen edellytyksenä on, että energiatehokkuutta parannetaan:

- pien- ja ketjotalossa vähintään 30 %
- asuinkerros- ja rivitalossa vähintään 20 %
- asuinkerros- ja rivitalossa sekä pien ja ketjotalossa vähintään uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen (1010/2017) uudisrakennuksille asettamien vaatimusten mukaiselle lähes nollaenergiatasolle.

Avustuksen edellytyksenä on lisäksi, että:

- avustushakemuksen yhteydessä toimitetaan selvityksen laatijan allekirjoittama selvitys toimenpiteistä, joilla päästään 3 §:ssä säädetylle avustuksen edellytyksenä olevalle tasolle, sekä arvioiduista kokonaiskustannuksista.
- avustettavat toimenpiteet ovat tarkoituksenmukaisia rakennuksen tai asunnon odotettavissa oleva asuinkäyttöaika ja asuinkäyttötarve huomioon ottaen, eikä avustettavasta toimenpiteestä aiheudu vaaraa tai haittaa.
- avustuksen saajalle ei ole myönnetty samaan tarkoitukseen muuta julkista avustusta tai tämän asetuksen mukaista avustusta aiemmin
- korjaustoimenpiteitä ei ole aloitettu, ennen kuin hakemus liiteasiakirjoi-
neen on toimitettu Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskukselle. [14.]

4 TUNTI- JA VAIHENETOTUS

Valtioneuvosto hyväksyi loppuvuonna 2020 asetuspaketin, jolla aurinkosähköstä tehdään Suomessa entistä kannattavampaa. Asetuspaketissa yhtenä muutoksena tulee tuntinetotus. Aiemmin samalle tunnille saattoi tulla sekä sähkön ostoa että myyntiä, koska käytetyn aurinkosähkön arvo on lähes kolmikertainen verrattuna sähköverkkoon myytävään ylijäämäsihköön. Jatkossa kaikki tunnin aikana tuotettu sähkö lasketaan kiinteistön omaan käyttöön. [16.]

Toinen ongelma aurinkosähköjärjestelmissä on ollut vaihenetotuksen puute, jolloin jokaista kolmea vaihetta tarkastellaan erikseen. Tällöin sähkön ostoa ja myyntiä voi tulla jopa samalle hetkelle. Näin tapahtuu, jos paneelien tuotto ja laitteiden kulutus eivät kulje käsi kädessä kaikissa vaiheissa. [16.]

Muutoksena tulee myös hyvityslaskenta. Taloyhtiöihin muutos vaikuttaa siten, että jatkossa asukkaat pääsevät myös helposti hyödyntämään aurinkosähköä. Aiemmin tuotettu sähkö pystyttiin hyödyntämään ainoastaan kiinteistön laitteiden kulutukseen, kuten ilmanvaihtokoneisiin ja valaistukseen. Tällä vähennetään verkosta ostettavan sähkön määrää, ja se pienentää asukkaiden sähkölaskuja. Taloyhtiöt saavat itse päättää, missä suhteessa aurinkosähköä jaetaan, ja siihen osallistuminen on tietenkin asukkaille vapaaehtoista. Muutoksen jälkeen aurinkosähköjärjestelmistä voidaan tehdä suurempia ja kannattavampia. [16.]

Suomen ympäristökeskuksen tekemän tutkimuksen mukaan muutoksen jälkeen esimerkiksi tyypillisessä helsinkiläisessä kerrostalossa aurinkosähköjärjestelmän kokoa pystytään jopa kolminkertaistamaan ja takaisinmaksuaika puoltaa usealla vuodella [16].

5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Aurinkokennot muuntavat säteilyn energian valosähköisessä ilmiössä sähköenergiaksi. Aurinkopaneelit koostuvat useista sarjaan kytketyistä ja joissain tapauksissa rinnan kytketyistä aurinkokennoista. [6.]

Sähköverkon rinnalle kytkettävät (On-grid) aurinkosähköjärjestelmät liitetään kohteen 230/400V sähköverkkoon. Tällaisessa järjestelmässä invertteri muuntaa tuotetun tasasähkön vaihtosähköksi, jonka jälkeen aurinkosähköjärjestelmä voidaan kytkeä kiinteistön omaan sähköverkkoon ja siitä edelleen jakeluverkkoon. [7.]

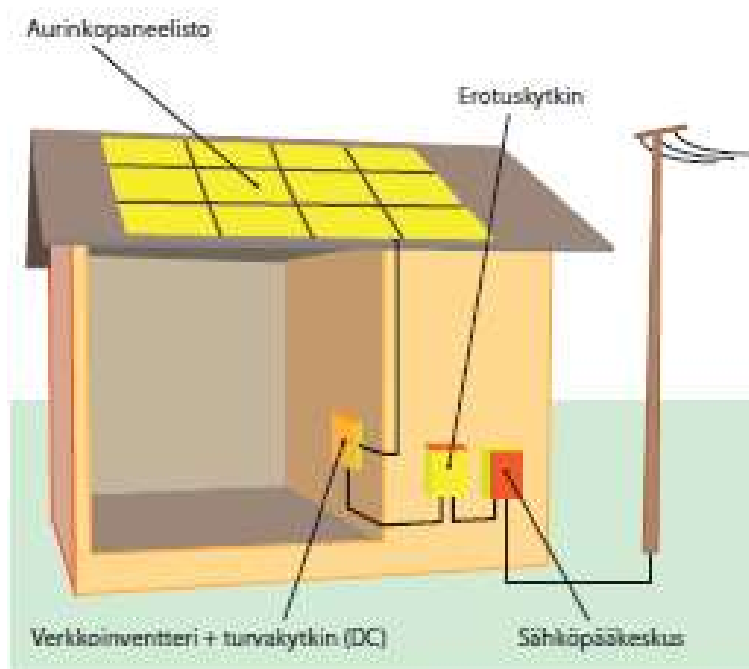
Omana verkkonaan toimivan off-grid-järjestelmän (josta voidaan käyttää myös nimityksiä saareke- ja mökkijärjestelmä), energiavarastona toimii akusto (joissain erikoistapauksissa voidaan käyttää esimerkiksi massiivista vauhtipyörää). Off-grid-järjestelmässä huomioitavaa on suurten tehojen saamisen vaikeus. [7.]

Aurinkovoimalan hinta vaihtelee aina kyseessä olevan kohteen ja paneelien määrän mukaan. Taloyhtiöiden voimaloiden hinnat liikkuvat normaalisti noin

20 000 eurosta noin 40 000 euroon. Tyypillisesti aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika on 10–15 vuotta ja elinkaari noin 25–30 vuotta riippuen käytetyistä komponenteista. [7.]

Aurinkosähköjärjestelmän hyötyjä toisiin uusiutuviin energiamuotoihin verrattuna ovat investoinnin hankintahinta ja vähäiset huoltokustannukset. Järjestelmän vähäiset äänivaikutukset mahdollistavat myös järjestelmän sijoittamisen lähelle kuluttajaa, näin ehkäistään pitkistä siirtomatkoista aiheutuvia kustannuksia.

Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit (kuva 5): aurinkopaneelit (paneelisto) sisältäen kiinnitysjärjestelmän, verkkoinverterti, akusto (lähinnä off-grid-järjestelmissä), erotuskytkin.



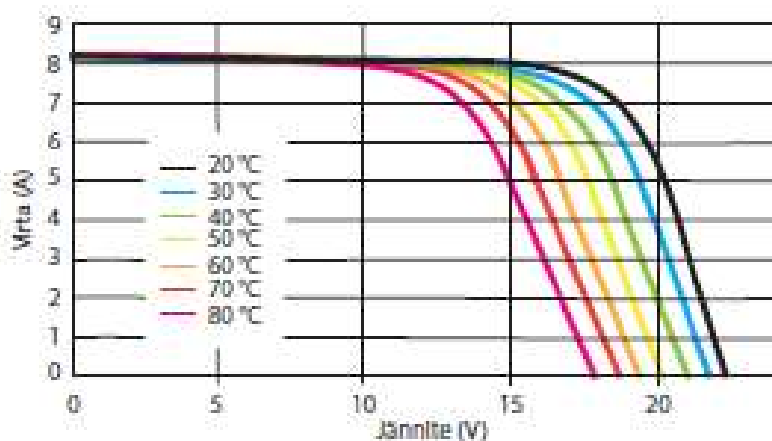
Kuva 5. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän rakenne [11, s.4]

Aurinkosähköjärjestelmästä saadaan suurin hyöty, kun se mitoitetaan niin, että mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä kulutetaan omassa kiinteistössä. Energian myynti verkkoyhtiöille ei ole yhtä kannattavaa kuin energian käyttö omaan tarkoitukseensa, sillä sähkönsiirtohinna ei saada säästöä. Näin ollen sähkön myyntihinnaksi tulee pörssisähkön myyntihinta, joka on vain muutamia senttejä kilowattitunnilta.

5.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeli on aurinkosähköjärjestelmän näkyvin ja tunnetuin osa. Kiinteistöikäytön aurinkopaneelit tuottavat yleensä noin 30–40 VDC [11, s.4]. Tämän takia paneelit koostuvat useista sarjaan ja/tai rinnan kytketyistä aurinkokennoista, jolloin saadaan muodostettua haluttu ja vaihtosuuntauksen kannalta edullisempi jännite ja virta.

Tuuletustilan järjestäminen paneelin taakse voi olla tuotannon kannalta kannattavaa, koska lämpötila vaikuttaa aurinkopaneelien sähköntuotantoon (kuva 6). Säteilytehon ollessa huipussaan paneelien lämpötila voi nousta jopa 20–30 astetta ympäristön lämpötilaan korkeammalle.



Kuva 6. Esimerkki paneelin ominaiskäyrästä eri lämpötiloissa [11, s.6]

Aurinkopaneeleissa voidaan käyttää ohitusdiodeja, jonka avulla varjossa olevat kennorivit voidaan ohittaa. Näin pystytään minimoimaan varjostusten aiheuttama tehohävikki.

5.1.1 Valosähköinen ilmiö

Valosähköisessä ilmiössä auringon säteily irrottaa alkuaineen pinnalta, aurinkosähkössä useimmiten piin, pinnalta elektronin. Auringosta saapuva fotoni luovuttaa energiansa elektronille, jotta elektroni voi irrottautua. Tämän ilmiö mahdollistaa sähkövirran tuottamisen aurinkopaneelissa. [13, s.10.]

5.1.2 Puolijohdemateriaali ja P-N-liitos

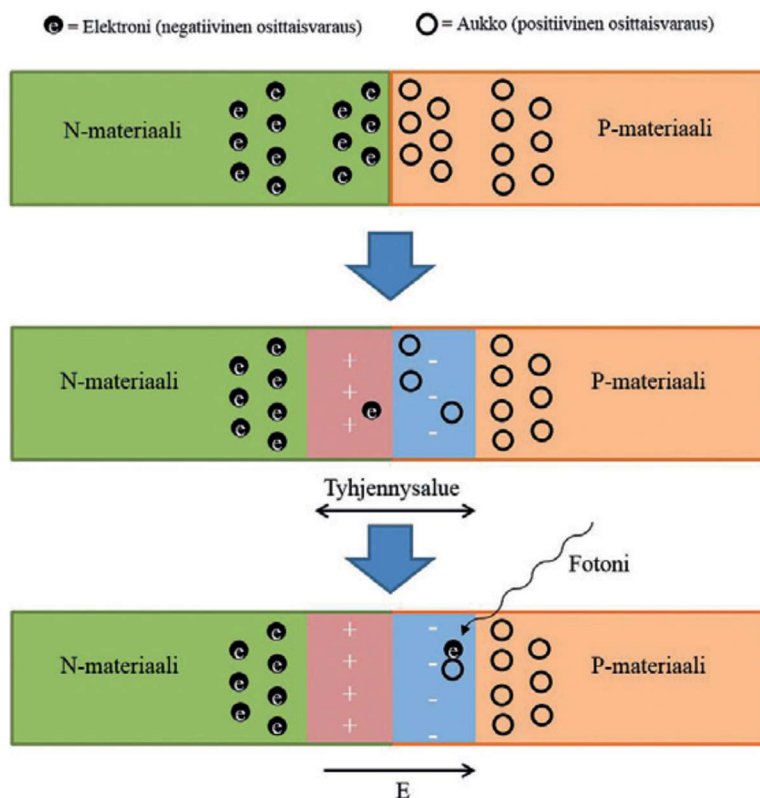
Aurinkopaneeleissa usein käytetty pii on puolijohdemateriaali. Puolijohdeet ovat sellaisia alkuaineita ja yhdisteitä, jotka johtavat johteita huonommin, mutta eristeitä paremmin. Puolijohdeiden johtavuus on riippuvainen esimerkiksi lämpötilasta.

Puolijohdeita on mahdollista seostaa esimerkiksi fosforilla, tällä tavalla materiaaliin muodostetaan ylimääräisiä varauksenkuljettajia ja saadaan parempi johtavuus verrattuna pelkkään puolijohdeeseen. Tällaista negatiiviseksi varautunutta materiaalia kutsutaan N-aineeksi.

Jos seostamiseen käytetään esimerkiksi alumiinia, tällä tavalla aineeseen muodostuu aukko. Aukkoa voidaan käsitellä ylimääräisenä positiivisena varauksena. Tällaista positiiviseksi varautunutta materiaalia kutsutaan P-aineeksi.

P-N-liitos saadaan aikaan, kun P-aine ja N-aine asetetaan vierekkäin. Tässä liitoksessa elektronit pääsevät liikkumaan vapaasti materiaalista toiseen, ja aukon kohdatessaan ne voivat yhdistyä. Aukotkin voivat myös liikkua vapaasti materiaalista toiseen, ja elektronin kohdatessaan ne voivat yhdistyä. P-N-liitosta lähellä on niin kutsuttu tyhjennysalue, jossa ei ole varauksenkantajia johtuen niiden yhdistymisestä lähellä liitospintaa. Positiivinen varaus syntyy liitospintaan N-aineen puolelle ja negatiivinen varaus P-aineen puolelle. Näin materiaalin sisäinen sähkökenttä muodostuu tyhjennysalueelle (kuva 7). [13, s.10–11.]

Auringon säteilyn mukana saapuva fotoni luovuttaa energiansa elektronille ja saa sen liikkeelle, tällöin muodostuu uusi elektroni-aukopari. Elektroni alkaa liikkumaan sisäisen sähkökentän vaikutuksesta kohti N-ainetta ja aukon P-ainetta. Fotonin virittämän elektronin erotessa aukosta ei sisäisen sähkökentän johdosta tapahdu yhdistymistä, vaan syntyy sähkövirta. Jos virittyminen tapahtuu kuitenkin kaukana tyhjennysalueesta, silloin elektroni ja aukko yhdistyvät. Tämän takia suunnittelussa pyritään saamaan suurin osa säteilystä tyhjennysalueelle. [13, s.11.]



Kuva 7. P-N-liitos vaiheittain [13, s.11]

5.1.3 Aurinkopaneeliteknologia

Aurinkopaneeliteknologiat voidaan jakaa kolmeen sukupolveen. Yksi- ja monikiteiset piikennot ovat ensimmäisen sukupolven aurinkokennoja, ja ne ovat laajalti kaupallisessa käytössä. Ohutkalvokennot ovat toisen sukupolven aurinkokennoja. Ensimmäisen ja toisen sukupolven aurinkokennojen teknologia perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohdeiden pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään. Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat vielä tutkimusasteella. Yhtenä esimerkkinä voidaan käyttää nanokidekennoja (joita kutsutaan myös väriaineherkistetyiksi aurinkokennoiksi tai Grätzel-kennoiksi). [8.]

5.1.4 Paneelityypit

Paneelien yleisin valmistusmateriaali on yksi- tai monikiteinen pii. Tämä teknologia on jo vakiintunutta, ja arviolta noin 90 % nykyään tarjolla olevista aurinkopaneeleista on piikidepaneeleita. Näin valmistettujen paneelien hyötysuhde kaupallisissa sovelluksissa on tavallisesti noin 15–17%. [8]. Monikiteistä piitä voidaan valmistaa yksikiteisen piin leikkaus- ja hiontajätettä keräämällä, jonka jälkeen kerätty jäte voidaan sulattaa ja kiteyttää tarvittavaan muotoon. Tämä prosessi aiheuttaa kuitenkin kidevirheitä piin kiderakenteeseen ja

nämä virheet pienentävät minikidekennojen hyötysuhdetta, kuten taulukosta 1 nähdään. [13, s.13.]

Taulukko 1. Yleisimpien kennotyyppien ominaisuudet [13, s.12]

Ominaisuudet	Kiteinen pii		Ohutkalvo			Orgaaninen
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Hyötysuhde (%)	13–16 %	15–20 %	5–10 %	7–16 %	7–16 %	3–5 %
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (% / +1 °C)	-0,42	-0,40	-0,1...-0,3	-0,35...-0,40	-0,25...-0,36	...
Mekaaninen kestävyys	hauras	hauras	joustava	joustava	joustava	joustava
Varjostus	herkkä	herkkä	sietää	sietää	sietää	sietää
Käyttöikä (vuotta)	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	0,5–3

Ohutkalvoteknologialla valmistetuille paneeleille yhteistä on se, että niistä voidaan lasipaneelien lisäksi valmistaa myös joustavia paneelirakenteita. Ohutkalvopaneeleissa käytetään materiaalina CIGS-yhdisteitä (Copper-Indium-Gallium-Selenide), CdTe-yhdisteitä sekä amorfista tai mikrokiteistä piitä, jossa piitä käytetään merkittävästi vähemmän kuin kiteisten piipaneelien valmistuksessa. CdTe-kennoja käytetään lähinnä aurinkoenergi-sovelluksissa, ne ovat perinteisempiä piikennoja halvempia, mutta näiden kennojen sisältämä kadmium (Cd) on myrkyllistä ja näin valmistettujen kennojen kierrättäminen voi olla haastavaa. Ohutkalvotekniikoissa muodostetaan kerroksia eri materiaaleista, jotka tuottavat sähkövirtaa auringon säteilyn eri aallonpituuksista. [13, s.13.]

Ohutkalvokennot valmistetaan lisäämällä hyvin ohuita kerroksia valolle herkälle aineelle jollekin edulliselle pohjamateriaalille, kuten lasille, ruostumattomalle teräkselle tai muoville. Näin valmistettujen aurinkopaneelien hyötysuhde on tavallisesti noin 9–11 %. Ohutkalvopaneeleilla pystytään keräämään hajasäteilyä hieman kiteisen piin paneelia paremmin, vaikutus vuositasolla on kuitenkin vähäinen. Ohutkalvopaneelit päästävät valoa enemmän lävitseen, jolloin auringonsäteilyä ei pystytä hyödyntämään sähköntuotantoon yhtä hyvin kuin kiteiseen pihin perustuvissa paneeleissa. [8.]

Uusimpia valmistusmuotoja on hybridiaurinkopaneeli (kuva 8), joka tuottaa samanaikaisesti aurinkolämpöä ja -sähköä. Aurinkokennojen takana kiertävä neste parantaa kennojen sähköntuotantoa viilentämällä paneelia, tämä voi

nostaa paneelien tehoa parhaimmillaan jopa 30 %. Myös käyttöikä paranee viilennyksen avulla. Näin valmistettujen paneelien hyötysuhde on noin 18 %. [9.]



Kuva 8. Ralos PVT hybrid -aurinkopaneeli (Liite 1) [9]

Nanokidekennot, joita kutsutaan myös väriaineherkistettyiksi aurinkokennoiksi (Dye-sensitised solar cell, DSC), on kolmannen sukupolven aurinkokennoteknologialla. Kennoissa elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin eikä siinä ole P-N-liitoksen luomaa sähkökenttää. Keinotekoisiksi fotosynteesiksi kuvailtu teknologia on lupaava vaihtoehto tällä hetkellä alaa hallitsevalle pii-pohjaiselle aurinkokennoteknologialle. DSC-kennot voidaan valmistaa edullisista materiaaleista, eikä tuotantoon tarvita monimutkaisia laitteita. Vaikka DSC-kennot ovat vielä suhteellisen varhaisessa kehitysvaiheessa, ne näyttävät erittäin lupaavalta ja edulliselta vaihtoehdolta kalliille pii aurinkokennoille. DSC-kennoteknologia on vahva ehdokas uudeksi uusiutuvan energian tuotantomuodoksi. DSC-kennot voivat olla erivärisiä, -muotoisia tai värittömiä. Valmistus on piipohjaisia kennoja halvempaa, eivätkä ne sisällä myrkyllisiä aineita. Tällä tavalla valmistettujen kennojen paras saavutettu hyötysuhde on noin 12 %. [12, s.2.]

5.2 Invertteri

Invertteri eli vaihtomuuntaja muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön sähköverkossa hyödynnettäväksi vaihtosähköksi. Valtakunnalliseen sähköverkkoon liitettävään aurinkosähköjärjestelmään on aina hankittava osaksi invertteri. Verkkoinvertteri kytkee ja aurinkopaneelit suoraan kiinteistön sähköverkkoon ilman akkuja, tämä mahdollistaa aurinkosähkön käytön ensin itse ja ylijäävän aurinkosähkön automaattisen myynnin sähköverkkoon. Suomessa invertteri kytketään sähköverkkoon jakeluverkkoyhtiön mittarin jälkeen kiinteistön kulutuslaitteiden rinnalle. Tällaisella kytkennällä järjestelmästä tulee yksinkertainen ja edullinen. Hyvän invertterin hyötysuhde on noin 96–98 %. [10.]

Pienikiinteistöjen verkkoinvertterit voidaan jakaa liitettävyyden, sijoituspaikan ja hallittavuuden mukaan:

- 3-vaiheisiin inverttereihin, joilla pystytään jakamaan aurinkosähkö tasaisesti eri kulutuslaitteille ilman rakennuksen olemassa olevien sähkökytkentöjen muutoksia
- 1-vaiheisiin inverttereihin, joilla tuotto pystytään ottamaan pienen kulutuksen kiinteistössä kuormanohjausautomaatiikan avulla tehokkaammin omaan käyttöön, tällöin tärkeimmät 1-vaihekuormat ovat verkkoinvertterin kanssa samassa vaiheessa. [11, s.4.]

Invertterien erilaisia ominaisuuksia kokoonpanon mukaan ovat esimerkiksi:

- Erilaiset säätimet, kuten akuston ja paneelipiirien latauksen säätimet
- 230 VAC- vaihtosuuntaaja, sähkönjakelun lähdöt ja niiden suojaukset
- piirien erotus- ja kytkinlaitteet
- henkilösuojauksen ja sähkönlaadun kannalta tarvittavat erilaiset suojalaitteet. [13, s.57.]

5.2.1 MPPT (Maximum Power Point Tracker)

Inverttereissä voi olla yksi tai useampi MPPT-sisääntulo, MPPT säätää verkkoon syötettävän tehoa arvoa muuttuvan DC-arvon mukaan. MPPT siis pystyy kuormittamaan aurinkopaneeleita siten, että vaihtelevista olosuhteista riippumatta niiden tehontuotto pysyy optimiarvossa. Jos invertteri on varustettu kah-

della MPPT:llä, voidaan niiden avulla hyödyntää esimerkiksi pohjois- eteläsuuntaisen harjakaton itä- ja länsilappeella sijaitsevilta paneeleilta saatava tuotto päivän eri aikoihin. [15, s.11.]

5.3 Akusto

Aurinkosähkövoimalaan voidaan tarvittaessa kytkeä akut, joita voidaan käyttää lyhytaikaisena varastona tuotetulle aurinkosähkölle. Pitkäaikainen varastointi ei ole vielä tänä päivänä taloudellisesti kannattavaa. Tarvittava akkukapasiteetti määritellään aina kohdekiinteistön kulutusprofiiliin perustuen. Akustot sijoitellaan palo-osastoituun tekniseen tilaan, jossa on asianmukainen ilmanvaihto. Akkuteknologia ja -markkinat kuitenkin kehittyvät nopeasti, joten hintojen laskiessa ja teknologian parantuessa kannattavuus paranee. [11, s.5.]

Akustot ovat lähinnä off-grid-järjestelmien osa, mutta niitä voidaan tarvittaessa hyödyntää myös on-grid järjestelmissä. On-grid-järjestelmissä akustot ovat harvinaisia, sillä akustolla ei nykyteknologialla saavuteta merkittävää lisähyötyä. Jos akustoa käytetään, on siinä yleisimmin käytetty suljettuja lyijyakkuja niiden halvan hinnan ja niiden ylläpidon on helppouden takia. Avoimia akkuja käytetään usein vasta suuremmissa järjestelmissä. Tämä johtuu siitä, että niiden huoltovälit ovat suhteellisen lyhyitä ja niiden vesitystä on tarkkailtava suhteellisen usein. Tämän työn esimerkkikohteessa ei akustoa suunniteltu. [11, s.5.]

5.3.1 Virtuaaliakut

Virtuaaliakkupalveluilla pyritään tarjoamaan ratkaisuja aurinkosähköjärjestelmien sähkötuotannon epäsäännöllisyyteen ja varastointiin liittyviin ongelmiin. Yleisesti yksityiskäytössä olevien aurinkosähköjärjestelmien omakäyttöaste on noin 50–70 %. Loppuosa tuotetusta sähköstä joudutaan myymään ylijäämänä sähköverkkoon. Virtuaaliakut tarjoavat mahdollisuuden varastoida ylijäämätuotantoa myöhempää käyttöä varten, ilman fyysistä akustojärjestelmää. Kun virtuaaliakkupalvelu ostetaan tuottajalle luodaan tili, jolla seurataan sähkön tuotantoa ja kulutusta. Kun aurinkosähköjärjestelmä tuottaa ylimääräistä sähköä, kyseinen määrä kirjataan tilille, ja kun omatuotanto ei ole riittävää ja tarvitaan ostosähköä, silloin käytetään ensisijaisesti tilille tallentuneita energiavaroja. Virtuaaliakkupalvelun etuna on se, että sähköstä, joka talletetaan tilille,

saadaan korvaus joka, vastaa sähkön kokonaishintaa, jolloin voidaan olettaa, että ylijäämästä hyöttyy enemmän. [18.]

5.4 Mittarointi

Sähkömarkkinoiden toiminta perustuu kaiken sähköverkossa kulkevan sähkön mittaamiseen ja tase selvitetään laissa asetettujen periaatteiden mukaan. Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon mittaus riippuu järjestelmän koosta. Tehorajaksi on määritetty lainsäädännössä 100 kVA. Tästä poikkeuksena on kuitenkin pientuotantojen, kuten kotitalouksien verotuksen ohjeessa tehorajaksi määritetty 50 kVA. [13, s.33.]

Enintään 100 kVA aurinkosähköjärjestelmään ei vaadita omaa mittalaitetta, vaan sähköverkkoyhtiön toimittama etäluettava sähkömittari riittää mittaamaan erikseen verkosta otetun ja siihen syötetyn energian. Nimellisteholtaan yli 100 kVA aurinkosähkölaitos tulee varustaa erillisellä mittauksella. Valtioneuvoston asetuksen (66/2009) muutosten (22.12.2020/1133) mukaisesti tiedot netotetaan tasejakson sisällä, tasejakso on tällä hetkellä yksi tunti. Netotus tehdään tietojärjestelmässä mittaustietoja käsiteltäessä ei mittalaitteella. [13, s. 34.]

5.5 Johtojärjestelmät ja kaapelointi

Paneelien kaapeloinnit tehdään yleensä huomattavasti vaikeammassa olosuhteissa kuin tavalliset sähköasennukset. Tästä johtuen paneelistojen kaapelointiin käytetään kestävämpiä kaapeleita tai erityisiä paneelistokaapeleita.

Tasasähköosan kaapelit valitaan ja asennetaan siten, että oikosulkujen ja maasulkujen riskit ovat mahdollisimman pieniä. Tämä pystytään toteuttamaan käyttämällä yksijohtimisia metallivaipattomia kaapeleita tai eristeaineisiin asennusputkiin tai johtokanaviin asennettuja eristettyjä johtimia. Kaapeleita ei saa asentaa suoraan katon pintaan. [17, s.144.]

Salamoiden indusoimien jännitteiden pienentämiseksi on johdinsilmukat ja erityisesti paneeliketjujen silmukoinnit pidettävä mahdollisimman pieninä. Aurinkopaneelien alapuolella olevia kaapeleita mitoittaessa pitää ottaa huomioon vähintään 70°C ympäristön lämpötila, sillä nämä kaapelit altistuvat suoraan kuumuudelle. [17, s.145.]

Paneeleissa on yleensä pikaliittimet, joilla ne liitetään toisiinsa. Yleisimmin käytetty liitintyyppi on tällä hetkellä MC4 (kuva 9), mutta muitakin samankaltaisia liittimiä on markkinoilla ja liitintyyppi voi vaihdella valmistajan mukaan. Kaikkien käytettyjen kaapelien liittimet tulee olla varmistettu olevan DC- käyttöön hyväksytyjä sekä paneelien kanssa yhteensopiviksi. [13, s.65.]



Kuva 9. PV-kaapeli ja MC4-liittimet [13, s.64]

5.6 Maadoittaminen ja suojajohtimet

Jos kohteessa vaaditaan potentiaalitasauksia, on aurinkosähköpaneelien metalliset tukirakenteet ja metalliset tukirakenteet liitettävä potentiaalitasaukseen. Potentiaalitasausjohdin on kytkettävä sille soveltuvaan maadoituskiskoon tai liittimeen. Runkorakenteet on maadoitettava samaan potentiaaliin. Esimerkki-kohteessa aurinkopaneelien maadoitus kytketään yhden IV-konehuoneen potentiaalitasauskiskoon.

Jos rakenteet ovat alumiinia, on metalliosien liitokset tehtävä asianmukaisia kytkentätarvikkeita käyttäen. Joissain aurinkosähköpaneelitekniikoissa vaaditaan jännitteisten osien liittämistä toiminnallisella potentiaalitasauksella maahan. Tämä on sallittua tehoyksikön tasasähköpuolella, jos vaihtosähkö- ja tasasähköpuolen välille on vähintään yksinkertainen erotus muuntajaa käyttäen, jossa on sähköisesti erilliset ensiö- ja toisiokäämit. Toiminnallisen potentiaalitasaus johtimien minimipoikkipinta-ala on 4 mm^2 [17, s.149–150.]

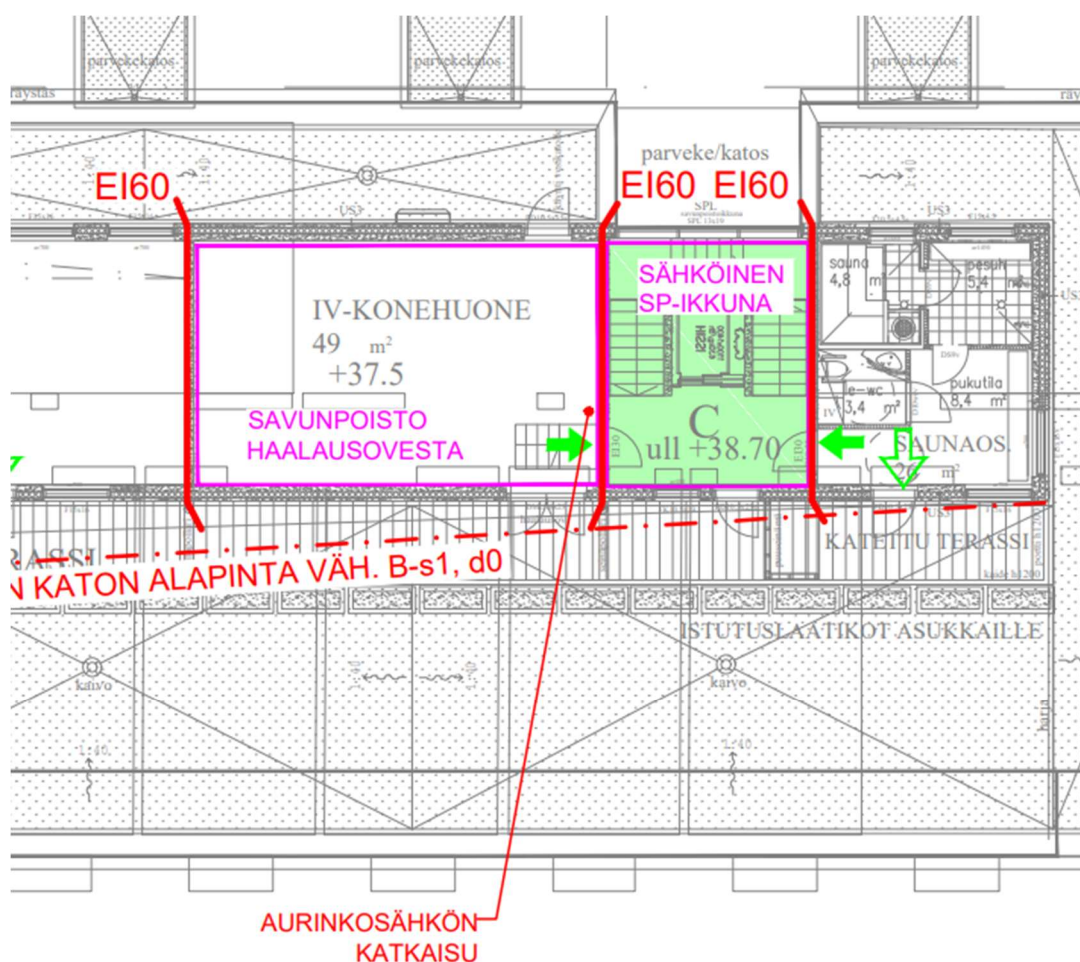
Aurinkosähköjärjestelmä ei normaalissa tilanteessa lisää kohteen riskiä joutua salamaniskun kohteeksi, tämän takia ei edellytetä rakennuksen salamasuojausta. Jos kohteessa on olemassa oleva salamasuojaus, voidaan aurinkosähköjärjestelmä kytkeä siihen siinä tapauksessa, jos muilla keinoin ei saada riittävää suojaetäisyyttä järjestelmän ja salamasuojausjärjestelmän välille. [11, s. 12.]

5.7 Toiminta häiriötilanteessa ja suojalaitteet

Aurinkosähköjärjestelmää, joka on kytketty verkkoon käsitellään samalla tavoin kuin muitakin pientuotantolaitoksia, ja tämän takia sille on asetettu erilaisia vaatimuksia ja säädöksiä, jotka ovat asetettu häiriötilanteiden ja pelastustoiminnan kannalta. Näillä vaatimuksilla pyritään turvaamaan sähköverkon eri osissa toimivien henkilöiden turvallisuus ja myös yleisesti koko yleisen verkon toimintavarmuus. Tuotantolaitosta liitettäessä yleiseen verkkoon ja kun sitä käytetään yleisen verkon kanssa rinnan, täytyy aina pystyä varmistamaan se, että koko laitos on turvallinen eikä siitä aiheudu häiriötä eikä se riko esimerkiksi muiden verkon käyttäjien sähkölaitteita. [13, s.38–39.]

Verkkoon liitettyjen järjestelmien suunnittelussa on varmistuttava, että järjestelmän invertterin pystyy erottamaan DC- ja AC-puolelta. Tämä toteutuu esimerkiksi niin, että vaihtosuuntaajassa on DC- puolella paneelistojen erotuskytkin ja AC-puolella järjestelmän erottamiseksi suojaavat ylivirtasuojat sekä koko aurinkosähköjärjestelmän pysäytyskytkin. [13, s. 132.]

Invertterissä on turvallisuussyistä oltava automatiikka, jolla estää aurinkosähköjärjestelmää syöttämästä sähkökatkon aikana sähköä verkkoon päin, esimerkiksi sähköverkon vikatilanteessa. Aurinkosähköjärjestelmään, joka liitetään jakeluverkkoon luvan liittämiseksi myöntää paikallinen sähköverkkoyhtiö. Verkkoyhtiöt vaativat yleensä myös pääsyn aurinkosähköjärjestelmän erotuskohtaan, kuten pää- tai pysäytyskytkimelle [6]. Useat verkkoyhtiöt ja/tai pelastuslaitokset määrittävät kytkimien paikat, kuten esimerkkikohteessa pysäytyskytkimen paikka oli määritetty paloturvallisuussuunnitelmassa IV-konehuoneeseen (kuva 10). Kytkin katkaisee ohjausjännitteen aurinkosähköinvertteriltä kontaktorin avulla.

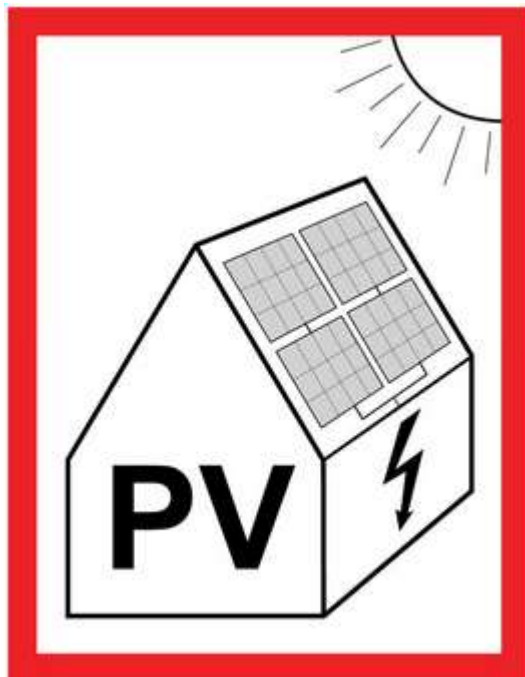


Kuva 10. Paloturvallisuussuunnitelmassa osoitettu pysäytyskytkimen paikka

Tuotantolaitos ei saa kytkeytyä yleiseen sähköverkkoon, ellei sähköverkon taajuus ja jännite ole määriteltyjen asetteluarvojen rajoissa. Jos sähköverkkoa ei syötetä muualta, tuotantolaitoskaan ei saa jatkaa verkon syöttämistä. Kun verkkojännite palautuu, laitos saa kytkeytyä verkkoon automaattisesti, tai sen voi kytkeä käsin takaisin verkkoon, mikäli sähköverkkoyhtiö on näin ohjeistanut tai asiasta on erikseen sovittu. [13, s.39.]

Jos verkon kanssa rinnan käyvää tuotantolaitosta halutaan käyttää mahdollisesti myös varavoimana sähkökatkoissa, järjestelmään täytyy asentaa kaksoiskytkentämahdollisuus, jolloin toisella kytkennällä tuotantolaitos toimii täysin verkosta erotetussa saarekkeessa ja toisella kytkennällä verkon kanssa rinnan. Tämä vaatii erillisen lisälaitteiston ja kytkimen. Sähköverkon ollessa jännitteetön ei saa saarekekäytössä oleva laitos olla yhteydessä sähköverkkoon. Tämä on ehdottoman välttämätöntä verkon viankorjaus- ja asennustöiden turvallisuuden takia. [13, s.39.]

Huolto- ja pelastushenkilöstön turvallisuuden takaamiseksi kohteet, joihin on rakennettu aurinkosähköjärjestelmä, täytyy varustaa oheisella merkillä (kuva 11). Merkki täytyy asentaa sähköasennuksen liittymiskohtaan, energian mitauskohtaan ja sähkökeskukseen, jossa aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa hyödynnetään. [6.]



Kuva 11. Merkki, joka ilmoittaa rakennuksessa sijaitsevasta aurinkosähköjärjestelmästä [6]

5.8 Verkkoon liittäminen

Aurinkosähköjärjestelmä on yksi hajautetun energiatuotannon elementeistä ja luonteeltaan se eroaa käytännössä lähes kaikista muista sähköverkkoon liitettävistä kokonaisuuksista. Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa on otettava selvää, minkä sähköverkkoyhtiön verkon alueella järjestelmä sijaitsee, sekä heti suunnittelun alkuvaiheessa on syytä tutustua kyseisen verkkoyhtiön suunnitteluohjeisiin. Ennen kuin järjestelmä liitetään verkkoon, on siitä aina tehtävä kirjallinen ilmoitus alueella toimivalle verkkoyhtiölle, ja sen saa kytkeä verkkoon vasta hyväksytyt päätöksen jälkeen. Järjestelmän kulutuspisteen liittäminen keskukseen on lähtökohtaisesti luvanvaraista, ja liittämisen saa tehdä vain S1- tai S2-pätevyuden omaava sähköalan ammattilainen. [15, s.3.]

6 SUUNNITTELU

Jokaisessa aurinkosähköjärjestelmässä on omat erityispiirteensä, tästä johtuen suunnittelun alkuvaiheessa tulee kiinnittää huomio niihin mahdollisuuksiin ja rajoituksiin, joita kyseisessä kohteessa on.

Esimerkkikohteena tässä työssä on käytetty Espoon asunnot Oy Huvilinnantie asuinkerrostaloa. Kyseessä on uudisrakennus, joten suunnitelman mitoitus perustui arvioituun sähkön tarpeeseen. Aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähkö suunniteltiin täydentämään kiinteistön ilmanvaihtoon käytettävää sähköä. Järjestelmän invertteri sijoitettiin IV-konehuoneeseen ja sitä kautta koko järjestelmä liitettiin IV-konehuoneen kiinteistökeskukseen, jolloin järjestelmän kaapelointi pystyttiin pitämään mahdollisimman lyhyenä.

6.1 Mitoitus

Varsinaisen toteutuksen suunnittelun aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen on ensimmäinen ja yksi tärkeimpiä vaiheita. Mitoitukseen vaikuttavat erilaiset tekijät, kuten asennuspaikat, käyttäjän tarpeet ja käyttötottumukset, ympäristöolosuhteet ja taloudelliset tekijät. [13, s.85.]

Suomessa aurinkosähköjärjestelmän mitoitus perustuu tyypillisesti kyseessä olevan kohteen pohjakuorman kompensointiin, projektille varattuun kustannusarvioon, paneeleille soveltuvaan tilaan tai näiden yhdistelmiin. Suunnittelussa voidaan käyttää lissensiperusteisia mitoitus- ja suunnitteluohjelmistoja, mutta mitoitukseen on myös olemassa selainpohjaisia ohjelmistoja ja erilaisia perinteisempiä taulukkolaskentaohjelmistoja. [15, s.6–7.]

Yksi keskeisimpiä tekijöitä mitoituksen suhteen on oikosulkuvirta. Erityisesti pienten aurinkosähköjärjestelmien osalta tulee huomioida, että esimerkiksi 3x25 A liittymän oikosulkuvirta on pääsääntöisesti vähintään 250 A, joten järjestelmän turvallinen maksimiteho on käytännössä 6,9 kW AC-tehoa. Kohteen tehorajan osalta keskeisiä tekijöitä on liittymän syöttökaapelin poikkipinta-ala ja lähimmän jakelumuuntajan etäisyys ja teho. Verkkoyhtiöt suosittelevat yhteydenottoa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa suunnittelua, jolloin järjestelmän tekninen soveltuvuus voidaan varmistaa. Taulukossa 2 nähdään

aurinkosähköjärjestelmien tehoja, jotka ovat tyypillisesti liitettävissä ilman verkon vahvistusta. [15, s.3]

Taulukko 2. Aurinkosähköjärjestelmän maksimitehon (AC) suositusarvot liittymän päävarokkeisiin suhteutettuna [15, s.3]

Liittymän päävaroke	PV-järjestelmän maksimiteho (AC)
3 x 25 A	6.9 kW
3 x 35 A	8.6 kW
3 x 50 A	8.6 kW
3 x 63 A	8.6 kW
3 x 80 A	12.4kW
3 x 100 A	15.5 kW
3 x 125 A	24.7 kW
3 x 160 A	32.8 kW
3 x 200 A	43.1 kW

Lähtötietojen saaminen vaihtelee kohteen mukaan. Saneerauskohteissa mitoitus kannattaa aloittaa käyttäjän tarpeen tai kohteen energiankulutustietojen selvittämällä. Uudisrakennuksessa, kuten tämän työn esimerkikohteessa, mitoitus tehdään arvioihin perustuen. Arviot tässä kohteessa perustuvat LVI-suunnitelman laitteisiin, joiden perusteella voidaan arvioida pohjakuorma, joka oli tässä kohteessa noin 9 kW.

Esimerkikohteen aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen käytettiin Excel-laskentatyökalua, joka on toimeksiantajan itse optimoima (ks. taulukko 3). Esimerkikohteessa järjestelmän nimellistehoksi vaadittiin vähintään 21,6 kWp, paneelin nimellistehoksi vähintään 360 Wp ja paneelin hyötysuhteeksi vähintään 19 %. Näillä tiedoilla voidaan valita sopiva paneelityyppi, kuten esimerkiksi Amerisolar AS-6M120-HC BLACK 360W, yksikidepaneeli (ks. liite 2).

Tällä paneelilla voidaan laskea paneeliston huipputeho P_{max} :

P_{max} : Paneelin maksimiteho* paneelien lukumäärä:

$$360W * 60kpl = 21\ 600W = 21,6kW \quad (1)$$

Paneeliketjuista tuleva jännite ei saa ylittää invertterin maksimijännitettä, eikä paneeliketjujen käyttöjännite saa ylittää invertterin MPPT-maksimijännitettä. Paneeliketjut on varustettava DC-katkaisijoilla, mikäli invertterissä ei itsessään ole SFS 6000-7-712:n mukaista sopivaa erotuslaitetta.

Kolmivaiheisen invertterin nimellistehoksi vaaditaan vähintään 20 kW, EU-hyötysuhde vähintään 96 % ja takuuksi vähintään 10 vuotta. Invertteri liitetään IV-konehuoneen kiinteistökeskukseen. Näillä tiedoilla voidaan valita invertteriksi esimerkiksi SOLIS 3P20K-4G 20KW (ks. liite 3).

Taulukko 3. Excel laskentatyökalu aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen

Paikka	
Pituuspiiri [°]	24
Leveyspiiri [°]	60
Invertterin tiedot	
Invertterin nimellisteho[kW]	20
Hinta [€]	1400
Paneelisto 1	
Paneelin leveys[mm]	1048
Paneelin korkeus[mm]	2132
Paneelin nimellisteho[W]	360
Paneelin hyötysuhde [%]	19
Paneelin slope [°]	60
paneelin azimut [°] - = itä	0
Paneelin hinta [€/kWp]	830
Maksimitehon jännite [V]	34,2
Avoimen piirin jännite [V]	41,2
Oikosulkuvirta [A]	11,16
Oikosulkuvirran muutos [%/aste]	0,05
Jännitteen muutos/lämpötila[%/aste]	-0,28
Tehon muutos / lämpötila [%/aste]	-0,36
KK 24/7teho (kW)	9

Tulokset

Säädettävät parametri	mppt jännite	u oc max	I dc max	I sc max	monta rinnan	monta sarjassa		
Paneeliston 1 teho [kW]	21,6	60 kpl	513	623,768	45,19	45,87	4	15

6.2 Paneelien sijoitus ja suuntaus

Kohteen sijainti vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun suuresti. Suomen globaali sijainti aiheuttaa sen, että aurinko paistaa pääosin etelästä,

ja se nousee idästä ja laskee länteen. Esimerkkikohteessa paneelien sijoituspaikaksi päädyttiin etelään päin olevan sivulle katolla sijaitsevan terassin päälle (kuva 12). Suunniteltuun sijoituspaikkaan mahtuu noin 60 paneelia. Laskentatyökalulla saadaan laskettua, kuinka paneelit kytketään paneeliseksi. Kuten taulukosta 3 nähdään, paneelit kytketään 15 paneelin sarjoihin 4 sarjaa rinnan.



Kuva 12. Esimerkkikohteen julkisivukuva etelään päin

6.3 Paneelien suuntaus ja kiinnitys

Etelä-Suomessa sijaitsevassa kohteessa suoraan etelään suunnatun paneelin optimikulma on 40° , jolloin vuositason saadaan paras energiantuotanto. Ilmansuunnilla kaakosta lounaaseen kaltevuuskulmilla 20° - 60° energiasta saadaan myös yli 90 % talteen [11, s.6]. Esimerkkikohteessa paneelit asennetaan noin 60° kulmaan (kuva 13) johtuen paneelien halutusta sijoituspaikasta.

Paneelit asennetaan kiinnitysjärjestelmän päälle. Paneelit voidaan sijoittaa katolle tai kiinnittää rakennuksen seinään, kuten esimerkkikohteessa (kuva 13). Kiinnitysjärjestelmän on kestävä säärasitusta ja mekaanista kuormitusta. Kiinnitysjärjestelmän kautta myös kattoon kohdistuu lumi- ja tuulikuormaa, jotka pitää myös huomioida suunnittelussa. Esimerkkikohteessa etenkin tuulikuormat pitää huomioida, koska paneelien yläreuna nousee katon yläpuolelle halutun kiinnitystavan seurauksena. Lumikuorma ei ole kohteessa suuri ongelma johtuen paneelien kulmasta, tällöin voidaan myös laskea talvikuukaudet mukaan tuottaviin kuukausiin, sillä voidaan olettaa, ettei lumi peitä paneeleita.



Kuva 13. Esimerkkikohteen paneelien kiinnitys rakennuksen seinään terassin katon päälle

7 JÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS

Järjestelmän kannattavuuden tarkasteluun on monia erilaisia kannattavuuslaskureita, esimerkiksi Finsolarin Excel-pohjainen laskuri. Esimerkkikohteessa käytettiin toimeksiantajan omaa Excel-pohjaista laskentatyökalua (ks. taulukko 4).

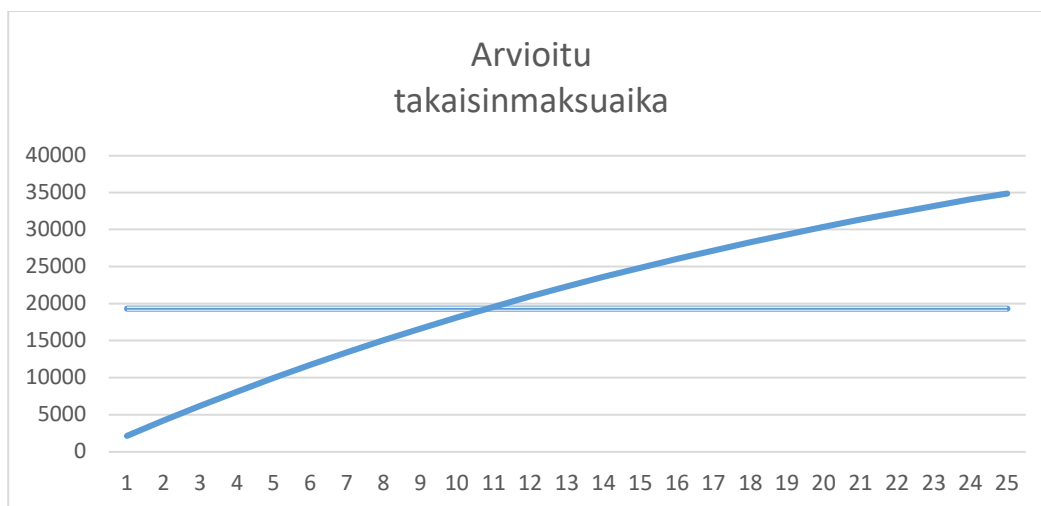
Taulukko 4. Arvioitu kuorma ja aurinkosähköjärjestelmän tuotto.

	Kokonais- kuorma	Ostettu sähkö	Tuotanto	Omaan käyttöön	Myyty
Tammikuu	6840	6602	238	238	0
Helmikuu	6171	5429	742	732	10
Maaliskuu	6830	4725	2105	1655	450
Huhtikuu	6611	3881	2730	2138	592
Toukokuu	6831	3977	2854	2160	694
Kesäkuu	6094	3365	2728	2251	477
Heinäkuu	6831	3809	3022	2296	726
Elokuu	6833	3181	3652	2537	1115
Syyskuu	6611	4091	2520	1928	591
Lokakuu	6611	4327	2284	1742	542
Marraskuu	6620	5812	807	719	89
Joulukuu	7026	6641	385	375	11
summa	79908	55840	24068	18771	5297

suhteessa	osto/ kuorma	tuotanto/kuorma	omakäyttö / tuotanto	myynti/ tuo- tanto
Tammikuu	96,52 %	3,48 %	100,00 %	0,00 %
Helmikuu	87,97 %	12,03 %	98,62 %	1,38 %
Maaliskuu	69,18 %	30,82 %	78,60 %	21,40 %
Huhtikuu	58,71 %	41,29 %	78,31 %	21,69 %
Toukokuu	58,22 %	41,78 %	75,68 %	24,32 %
Kesäkuu	55,22 %	44,78 %	82,52 %	17,48 %
Heinäkuu	55,76 %	44,24 %	75,99 %	24,01 %
Elokuu	46,55 %	53,45 %	69,47 %	30,53 %
Syyskuu	61,89 %	38,11 %	76,54 %	23,46 %
Lokakuu	65,46 %	34,54 %	76,28 %	23,72 %
Marraskuu	87,80 %	12,20 %	89,00 %	11,00 %
Joulukuu	94,52 %	5,48 %	97,20 %	2,80 %
summa	69,88 %	30,12 %	77,99 %	22,01 %

Saatu rahallinen hyöty			1991,55619	505,836197	
nyt maksetaan sähköstä	10,61	snt/kWh			
			Hyöty tot	2497,39239	€/vuodessa

Arvioidussa takaisinmaksuajan laskennassa järjestelmän hinnaksi on arvioitu 1000 €/ kWp. Ostosähkön hinnaksi on asetettu 10,61 snt/kWh. Paneeleina ja invertterinä on käytetty aiemmin tässä työssä esitetyt komponentit. Paneelien suunnaksi asetettiin etelä ja kulmaksi 60°. Takaisinmaksuajaksi tässä kohdessa arvioitiin noin 11 vuotta (kuva 14).



Kuva 14. Arvioitu takaisinmaksuaika esimerkkitilanteessa

8 YHTEENVETO

Uusiutuvan energian kannattavuus on ollut kasvussa ja samalla myös näiden järjestelmien kysyntä. Näin ollen myös aurinkosähköjärjestelmien kysyntä on kasvanut jatkuvasti, kun yhä useampi kuluttaja alkaa kiinnostumaan ympäristöystävällisten energiatuotannon mahdollisuudet ja niiden taloudellisista hyödyistä. Valtioneuvoston hyväksymän asetuspaketin ansiosta aurinkosähköstä tulee edelleen kannattavampaa tunti-netotuksen ja hyvityslaskennan ansiosta. Tämä uusi asetus on hieno askel kohti uusiutuvien energiamuotojen suurempaa kannattavuutta. Asetuksessa hyväksytty hyvityslaskenta mahdollistaa myös taloyhtiöiden aurinkosähköjärjestelmien tuottaman sähkön jakamisen asukkaiden käyttöön ilman siirtomaksuja ja veroja, jolloin pystytään kasvattamaan järjestelmien kokoja.

Suomessa sääolosuhteet ovat hyvinkin erilaiset kuin suuressa osassa maailmaa, tästä johtuen aivan kaikkia aurinkosähköjärjestelmien mainospuheita ei kannata ottaa todesta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö aurinkosähköjärjestelmän hankkiminen olisi kannattavaa niin lompakolle kuin ympäristöllekin.

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa on tärkeää järjestelmän järkevä mitoittaminen aina kyseessä olevan kohteen tarpeisiin nähden, nykyisin pieni ylimitoituskaan ei ole aina pahaksi.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen on monia hyviä mitoitustyökaluja ja suunnitteluohjelmistoja. Kun käytetään valmiita ja toimiviksi havaittuja ohjelmistoja, vältetään mahdollisilta inhimillisiltä virheiltä ja nopeutetaan mitoitusta, jolloin aikaa jää muuhun suunnittelutyöhön. Järjestelmän optimoinnin kannalta on oleellista, että käytetään mahdollisimman tarkkoja paikallisia arvoja.

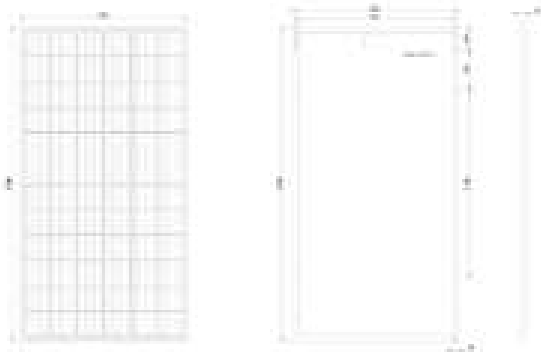
Opinnäytetyö onnistui hyvin huomioon ottaen sen, että tämä oli ensimmäinen aurinkosähköjärjestelmän sisältävä suunnitelma, jonka olen tehnyt. Työtä tehdessä opin paljon aurinkosähköstä ja sen tuottamiseen vaadittavista komponenteista. Uskon tästä työstä olevan paljon hyötyä tulevaisuudessa, kun aurinkosähköjärjestelmien suosio oletettavasti vain jatkaa kasvuaan. Tietysti myös uutta opittavaa tulee aina teknologioiden kehittyessä ja siinä samalla uusien vaatimuksien oppimista aurinkosähköjärjestelmien tullessa mahdollisuuksiksi erilaisiin kohteisiin.

LÄHTEET

1. Erat B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo K., Peltola S. & Suokivi H. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy. 2008.
2. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa [viitattu 08.07.2021].
3. Ilmaston muutos ja energia. Energiateollisuus. WWW-dokumentti. 2010. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/energiateollisuus/ilmastonmuutos-ja-energia> [viitattu 08.07.2021].
4. Photovoltaic geographical information system (PVGIS)- Joint Research Centre. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html [viitattu 08.07.2021].
5. Global Solar Atlas. Kuva. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://globalsolaratlas.info/download/world> [viitattu 08.07.2021].
6. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES), aurinkosähköjärjestelmät. Saatavissa: <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat> [viitattu 14.07.2021].
7. Puolakka, M. Taloyhtiön aurinkovoimala nyt entistä kannattavampi sijoitus – hyvityslaskentapalvelu alkaa pienentää myös asukkaiden omaa sähkölaskua. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.helen.fi/taloyhtiot/asiakaspalvelu-taloyhtiaille/ajankohtaisia-artikkeleita/aurinkos%C3%A4hk%C3%B6/taloyhti%C3%B6n-aurinkovoimala> [viitattu 08.07.2021].
8. Aurinkosähköteknologiat. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.05.2021 Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat [viitattu 08.07.2021].
9. Ralos hybridipaneeli PVT360. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://www.ralos.eco/ralos-hybridipaneeli-pvt360.html> [viitattu 08.07.2021].

10. Aurinkovirta-aurinkosähköä vuodesta 2013. WWW- dokumentti. Päivitetty 06.02.2021. Saatavissa: <https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/> [viitattu 09.07.2021].
11. Sähkötieto Ry. ST 55.32 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät. 2019.
12. Technology Academy Finland. Vuoden 2010 Millenium-palkintoehdokas WWW- dokumentti. Saatavissa: <http://web.archive.org/web/20110705101308/http://www.millenniumprize.fi/uploads/images/laureates2010/GratzelMichaeltaustamateriaali.pdf> [viitattu 09.07.2021].
13. Sähkötieto Ry. ST 40 Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2021.
14. Valtioneuvoston asetus asuinrakennusten energia-avustuksista vuosina 2020–2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20191341> [viitattu 13.07.2021]
15. Mäkinen, J. Aurinkosähkö osana energiamurrosta, PV-voimalan suunnittelijan opas, suunnittelu –toteutus –ylläpito. 3. Painos. 2019.
16. Juuti, P. Aurinkosähkön kannattavuus paranee omakotitaloissa ja taloyhtiöissä. 07.02.2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11767604> [viitattu 16.07.2021].
17. Pienjännitesähköasennukset osa 1–2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset. SFS 6000-7-712:2017, 1.
18. Virtuaaliakulla varastoit aurinkoa myös pilvisen päivän varalle. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku> [viitattu 19.9.2021].

PVT HYBRID 380 Wp / 790 W



Specifications

STC: irradiance 1000 W/m², AM 1.5, Cell temperature of 25°C	
Model Type	360W-360M
Peak Power(Pmax)	360.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	38.98
Maximum Power Current(Imp)	9.38
Open Circuit Voltage(Voc)	47.48
Short Circuit Current(Isc)	10.24
Cells Efficiency(%)	20.46
Module Efficiency(%)	18.95
1 NOCT: irradiance 800 W/m², AM 1.5G, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s	
Peak Power(Pmax)	267.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	35.89
Maximum Power Current(Imp)	7.44
Open Circuit Voltage(Voc)	43.97
Short Circuit Current(Isc)	8.15
Maximum System Voltage(V)	1000
Maximum Series Fuse Rating(A)	15
Power Tolerance	0 ~ +3%
Pmax Temperature Coefficients(W/°C)	-0.400%
Voc Temperature Coefficients(V/°C)	-0.290%
Isc Temperature Coefficients(A/°C)	+0.048%
NOCT Nominal Operating Cell Temperature(°C)	45±2
Operating and Storage Temperature(°C)	-40 ~ +85

Mechanical characteristics

Cell Type	156.75x156.75 Mono
No. of Cells	72 (6x12)
Dimensions	1956x992x40
Weight	20.5kg
Front Glass	3.2mm high transmission, low iron, tempered glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction box	IP65/IP67
Output cables	4mm ² cable 90cm+mc4
Max/Wind Load/Snow Load	2400Pa/5400Pa

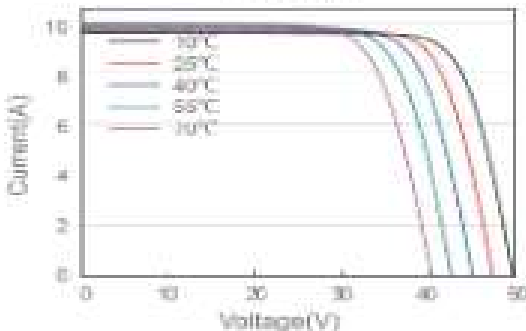
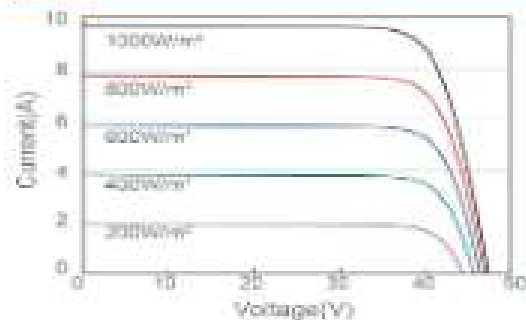
Packing list

20FT container	12 Packages / 300pcs
40HQ container	24 Packages / 720PCS

Product Standard

Product Performance	IEC61215
Product Safety	IEC61730

IV Curve



Warranty



12

Guarantee on product material and workmanship

30

Linear Power output warranty





AS-6M120-HC BLACK

360W~385W

MONOCRYSTALLINE MODULE

ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- High module conversion efficiency up to 21.10% by using innovative Half-cell design and Multi-busbar(MBB) cell technology.
- Low temperature coefficient and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- High reliability against extreme environmental conditions (passing salt mist, ammonia and hail tests).
- Potential induced degradation (PID) resistance.
- Aesthetically appealing design with black backsheet and frame.

CERTIFICATIONS

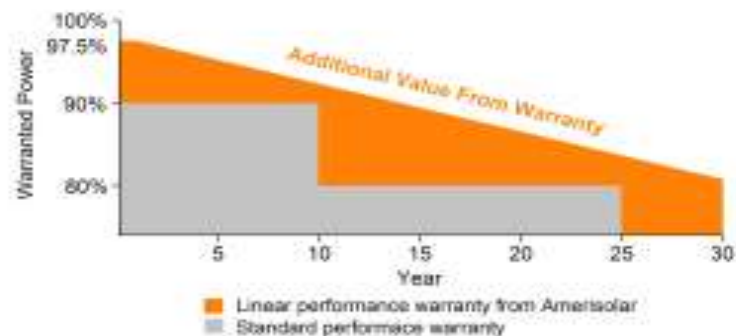
- IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, IEC 62716, IEC 61701, IEC TS 62804, CE, CQC
- ISO 9001:2015: Quality management system
- ISO 14001:2015: Environmental management system
- ISO 45001:2018: Occupational health and safety management system



SPECIAL WARRANTY

- 20 years product warranty
- 30 years linear power output warranty

Passionately
committed to
delivering innovative
energy solution



ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC

Maximum Power (P_{max})	360W	365W	370W	375W	380W	385W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	41.2V	41.4V	41.6V	41.8V	42.0V	42.2V
Short Circuit Current (I_{sc})	11.16A	11.23A	11.30A	11.37A	11.44A	11.51A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	34.2V	34.4V	34.6V	34.8V	35.0V	35.2V
Current at Maximum Power (I_{mp})	10.53A	10.62A	10.70A	10.78A	10.86A	10.94A
Module Efficiency (%)	19.73	20.01	20.28	20.55	20.83	21.10
Operating Temperature	-40°C to +85°C					
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC					
Fire Resistance Rating	Type 1 (in accordance with UL1703)/Class C (IEC61730)					
Maximum Series Fuse Rating	20A					

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5; Tolerance of P_{max}: 0-+3%; Measurement Tolerance: ±3%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT

Maximum Power (P_{max})	267W	271W	275W	279W	283W	287W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	37.8V	38.0V	38.2V	38.4V	38.6V	38.8V
Short Circuit Current (I_{sc})	9.03A	9.09A	9.15A	9.21A	9.27A	9.33A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	31.2V	31.4V	31.6V	31.8V	32.0V	32.2V
Current at Maximum Power (I_{mp})	8.56A	8.64A	8.71A	8.78A	8.85A	8.92A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

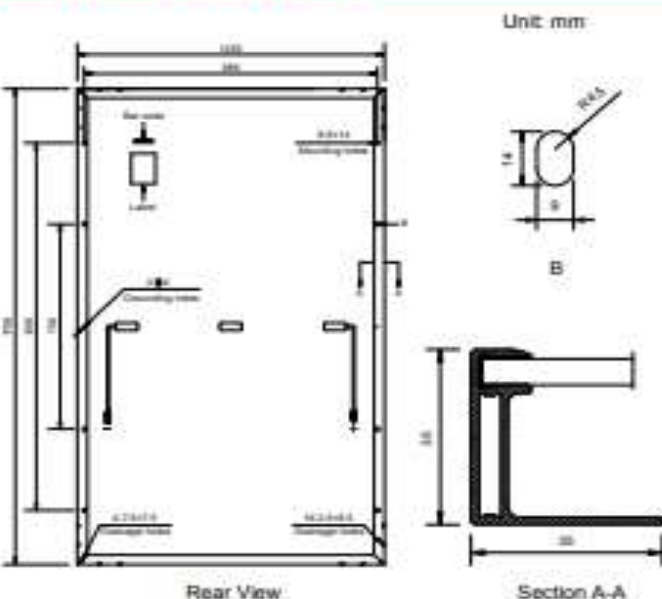
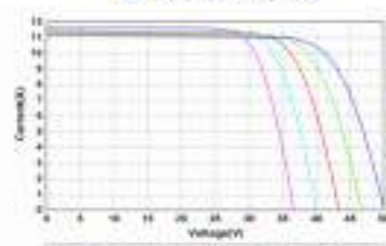
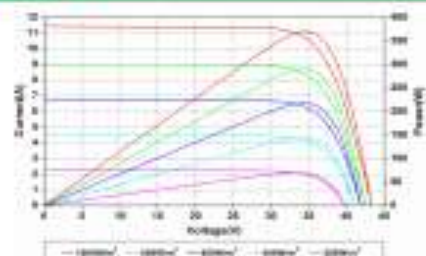
Cell type	Monocrystalline PERC 166*83mm
Number of cells	120 (6x20)
Module dimensions	1756x1039x35mm (69.13x40.91x1.38inches)
Weight	20kg (44.1lbs)
Front cover	3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP68, 3 diodes
Cable	4mm ² (0.006inches ²), Length: Portrait: 300mm (11.81inches); Landscape: 1200mm (47.24inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	43°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.38%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.05%/°C

PACKAGING

Standard packaging	31pcs/pallet
Module quantity per 20' container	186pcs
Module quantity per 40' container	806pcs

ENGINEERING DRAWINGS**IV CURVES**

Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

Liite 3

Malli	Solis-3P20K-4G
Maks. DC-tulojännite (volttia)	1 000
DC-nimellisjännite (volttia)	600
Käynnistysjännite (volttia)	180
MPPT-jännitealue (volttia)	160 -850
Maks. tulovirta (ampeeria)	24 +
Maks. oikosulun tulovirta (ampeeria)	34,3 + 34,3
MPPT-numero / Syöttöjonojen enimmäismäärä	2/4
Nimellislähtöteho (wattia)	20 000
Maks. lähtöteho (wattia)	22 000
Maks. näennäislähtöteho (VA)	22 000
Verkon nimellisjännite (volttia)	3/N/PE~220/380, 230/400
Nimellislähtövirta (ampeeria)	30,4/28,9
Maks. lähtövirta (ampeeria)	31,8
Tehokerroin (nimellislähtötehossa)	> 0,99 (0,8 johtava – 0,8 jäljessä)
THDi (nimellislähtötehossa)	<
Verkon nimellistaajuus (hertsiä)	50/60
Käytön taajuusalue (hertsiä)	45 -55 tai 55 -65
Maks. tehokkuus	98,7 %
EU-tehokkuus	98,1 %
Mitat	leveys 310 * korkeus 563 * syvyys 219
Paino	19,8 kg
Topologia	Muuntajaton
Oma kulutus (yö)	< 1 W (yö)
Ympäristön lämpötila-alue käytön aikana	-25 °C – +60 °C
Suhteellinen kosteus	0–100 %
IP-luokitus	IP65
Melupäästöt (tyypillinen)	< 60 dBA
Jäähdytysjärjestelmä	Älykäs tuuletinjäähdytyksen vähennys
Maks. käyttökorkeus	4 000
Verkkoliitännästandardit	VDE-AR-N 4105, VDE V 0124, VDE V 0126-1-1, UTE C15-712-1, NRS 097-1-2, G98, G99, EN 50549-1/-2, RD 1699, UNE 206006, UNE 206007-1, IEC 61727
Turvallisuus-/EMC-standardit	IEC 62109-1/-2, IEC 62116, EN 61000-6-1/-2/-3/-4
DC-liitäntä	MC4-liitin
AC-liitäntä	Pikaliitinpistoke
Näyttö	LCD, 2 x 20 Z
Tiedonsiirtoliitännät	RS485, valinnaiset: wifi, GPRS
Takuuehdot	5 vuotta (pidennä 20 vuoteen)