



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# AURINKOSÄHKÖJÄRJES- TELMIEN TOTEUTTAMINEN

TEKIJÄ/T:

Tatu Turunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Tatu Turunen	
Työn nimi Aurinkosähköjärjestelmien toteuttaminen	
Päiväys 21.12.2021	Sivumäärä/Liitteet 24/26
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sähköasennus Sähkömestarit Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä käsitellään aurinkosähköjärjestelmien toiminta periaatetta sekä niiden asennuksissa ja suunnitellussa huomioon otettavia menetelmiä ja tapoja, joilla saadaan rakennettua toimivia ja kestäviä järjestelmiä. Työ toteutettiin Sähköasennus Sähkömestarit Oy:n kanssa. Tavoitteena oli saada kattava kuvaus, kuinka aurinkosähköjärjestelmät asennetaan standardien mukaan, jotta opinnäytetyön tilaaja voi asentaa niitä asiakkailleen. Työ on tutkimustyötä, jossa käydään läpi järjestelmää koskevia standardeja ja muita ohjeita sekä aineistoa mitä aurinkosähköjärjestelmistä on tehty.</p> <p>Työssä kerättiin aineistoa aurinkosähköjärjestelmää koskevista asennus ohjeista, standardeista ja komponenttien valmistajilta. Kerätyn aineiston avulla koottiin tietopaketti järjestelmän asennukseen koskevista säädöksistä ja menetelmistä, joitten avulla järjestelmiä voidaan asentaa turvallisesti ja oikein. Opinnäytetyöhön kirjattuja ohjeita voi soveltaa pieniin asuinrakennuksiin asennettaviin järjestelmiin sekä suuriin järjestelmä kokonaisuuksiin.</p> <p>Työssä käytyt asiat hyödyttävät työn tilaajaa sillä työ antaa lukijalle kattavan kuvauksen järjestelmän toiminnasta ja asentamiseen koskevista asioista, joitten avulla uudet asentajat saavat tarvittavan perehdytyksen asennuksen toteutukselle.</p>	
Avainsanat Aurinkosähköjärjestelmät, Standardi	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Tatu Turunen	
Title of Thesis Implementation of Photovoltaic Systems	
Date 21 December 2021	Pages/Appendices 24/26
Client Organisation /Partners Sähköasennus Sähkömestarit Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>This thesis addresses the principles of the operation of photovoltaic systems and the methods which have to be considered in their installation and design, and which can be used to construct functional and sustainable systems. This was commissioned by Sähköasennus Sähkömestarit Oy. The aim was to get a comprehensive description of photovoltaic systems and how they are installed according to the standards. This way the commissioner of the thesis can install them for their customers. The thesis is a research work that reviews system standards and other instructions, as well as other literature about photovoltaic systems.</p> <p>Material for the thesis was collected from installation instructions, standards, and component manufacturers. The collected material was used to compile an information package on the regulations and methods for installing the system, which will enable the systems to be installed safely and correctly. The instructions collected in the thesis can be applied to systems installed in small residential buildings as well as to large system entities.</p> <p>The result of this thesis will benefit the commissioner, as the work gives the reader a comprehensive description of the functionality of the system and the issues related to its installation. This will help new installers get the necessary introduction with the implementation of the installation.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>Photovoltaic Systems, Standard</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT .....	7
2.1	Aurinkopaneeli .....	7
2.2	Diodit .....	9
2.2.1	Ohitusdiodit .....	9
2.2.2	Estodiodit .....	10
2.3	Tehonmuunnin .....	11
2.4	Akut .....	12
2.5	Sähköverkkoon kytketty järjestelmä .....	12
2.5.1	Verkkoon liittäminen .....	13
2.6	Sähköverkosta irti oleva järjestelmä .....	13
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN TOTEUTUS STADARTIEN MUKAAN .....	15
3.1.1	Paneeleitten ylivirta suojaus .....	15
3.1.2	Paneelikaapeleiden asennus ja mitoitus .....	17
3.2	Ylijännite suojaus .....	18
3.3	Katkaisijat .....	20
3.4	Maadoitus .....	20
3.4.1	Suojamaadoitus .....	21
3.4.2	Potentiaalintasaus .....	21
3.4.3	Toiminnallinen maadoitus .....	21
3.5	Mittaukset .....	21
3.6	Huolto .....	22
4	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT .....	23
	LÄHTEET .....	24
	LIITE 1: MIKROTUOTANTOLAITOKSEN YLEISTIETOLOMAKE .....	25

## KUVALUETTELO

KUVA 1. Aurinkokennon toiminta. (Suntekno, 2010) .....	7
KUVA 2. Paneeliston rakenne .....	8
KUVA 3. Asennetut paneelit pienen rivitalon katolla. (Niemeläinen, 2020) .....	9
KUVA 4. Ohitusdiodien sijoitus paneelissa. (Lehto, ym., 2017, s. 57) .....	10
KUVA 5. Ylijännitesuojien sijoitus kohdat. (Sesko ry, 2019, s. 154) .....	19
KUVA 6. Maadoituksen tarpeen selvitys .....	20

## 1 JOHDANTO

Aurinkopaneeleihin perustuvat aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet asuin- ja vapaaajanasunnoissa huomattavasti 2010-luvulla, ja niiden määrän kasvu on lisääntymässä entisestään. Aurinkosähköjärjestelmien lisääntyminen avaa monelle sähköalan yritykselle toiminnan laajentamisen niiden suunnittelun ja niiden asentamisen muodossa. Koska aurinkosähköjärjestelmät ovat olleet ennen harvinaisia, monella asentajalle tai suunnittelijalle ei ole annettu koulutusta järjestelmien asentamisesta tai suunnittelusta. Tämän takia tässä opinnäytetyössä selitetään ja avataan järjestelmiä koskevia standardeja ja käsitteitä, joiden perusteella alan yritykset saavat ymmärryksen aurinkosähköjärjestelmistä. Opinnäytetyö tehdään Sähköasennus Sähkömestarit Oy:lle, joka on aloittanut kyseisten järjestelmien asentamisen ja haluaa saada kootut ohjeet järjestelmät toteutukseen.

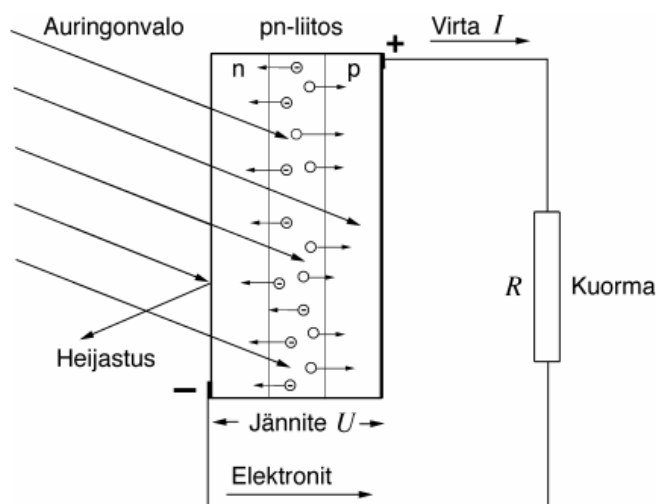
Työn tarkoituksena on käydä läpi asioita, joita tulee ottaa huomioon, kun aurinkosähköjärjestelmiä asennetaan, jotta asennukset täyttävät tämänhetkiset standardit. Tämän lisäksi työssä esitetään mallit, joiden avulla asennukseen vaadittujen komponenttien mitoitus voidaan tehdä. Lisäksi työssä on selitetty eri komponenttien toimintaperiaatteet ja kuinka niistä saadaan muodostettua toimiva järjestelmä.

## 2 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmillä tarkoitetaan järjestelmiä, joilla pystytään muuttamaan maahan kohdistuva auringonsäteily sähköenergiaksi. Kyseisen järjestelmän voi asentaa kiinteistöön, jolloin järjestelmällä pyritään tuottamaan kiinteistön tarvitsemaa sähköenergiaa paikallisesti ja päästöttömästi. Näitä järjestelmiä voidaan käyttää sähköverkosta irrallaan eli saarekekäytössä (off-grid) tai verkon rinnalla (on-grid). Saarekekäytössä järjestelmä tuottaa sähköä kiinteistöön, jota ei ole yhdistetty sähköverkkoon. Tällä tavalla voidaan toteuttaa kiinteistön sähköistys ilman kallista sähköliittymää. Verkon rinnalla toimivalla järjestelmällä on tarkoitus pienentää kiinteistön ostosähkön osuutta, jolla saavutetaan taloudellista hyötyä sähkön oston vähentämisen muodossa. Järjestelmien keskeiset komponentit ovat aurinkopaneelit, tehonmuunnin eli inverteri sekä akusto. (Lehto, ym., 2017, s. 43)

### 2.1 Aurinkopaneeli

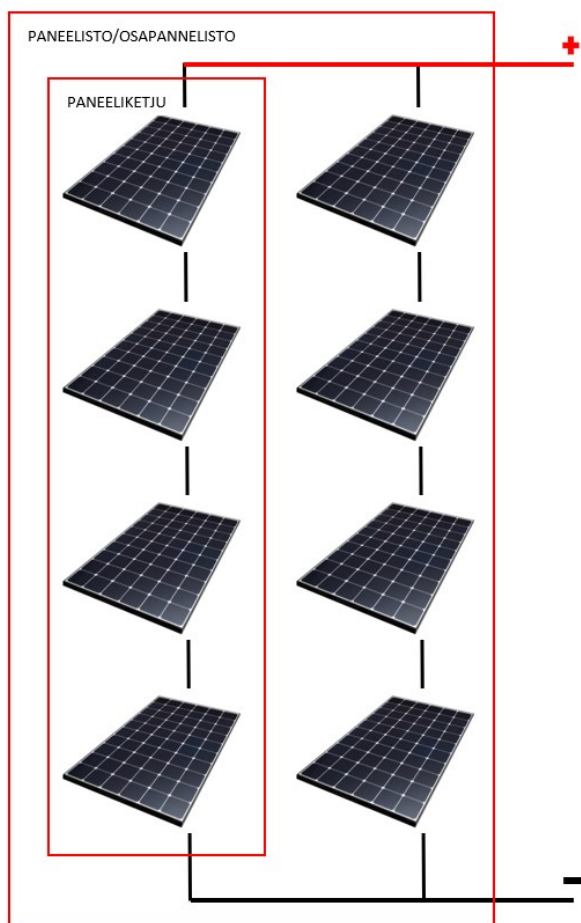
Aurinkopaneelit ovat tärkein osa aurinkosähköjärjestelmää, sillä ne muuttavat auringonsäteilyn sähkövirraksi. Aurinkosähköpaneelit koostuvat useasta kennosta, joita on kytketty paneelin sisällä sarjaan ja rinnan toisiinsa. Yksittäinen kenno rakentuu kahdesta puolijohdetyypistä (p ja n), kennon rakenne ja toiminta periaate näkyy kuvassa 1. Kennot tuottavat sähköenergiaa auringosta lähtevien fotonien eli valohiukkasten avulla. Nämä valohiukkaset kuljettavat auringosta lähtevää energiaa ja osuessaan kennoon, energia saa aikaan reaktion kennon puolijohdeaineissa, jossa syntyy elektroniukkopareja lähelle kahden puolijohdeaineen rajapintaa. Tässä reaktiossa n-aineen puolelle siirtyy elektronit ja aukot siirtyvät p-puolelle. Tämä eriytyminen saa aikaan lähelle rajapintaa sähkökentän, mikä estää elektroneita kulkeutumasta takaisin aukkopariin kennon sisällä. Yhdistämällä puolet ulkoisella johtimella saadaan aikaan reitti mitä kautta elektronit voivat kulkeutua p-puolelle synnyttäen sähkövirran johtimeen. Tämä sähkövirta voidaan kuljettaa halutun kuorman läpi, jonka ansiosta saadaan tehtyä haluttua työtä. Paneelit tuottavat tasasähköä (DC). (Suntekno, 2010)



KUVA 1. Aurinkokennon toiminta. (Suntekno, 2010)

Kennojen teoreettinen hyötysuhde on 31 %, kun kennot ovat kasattu paneeleiksi. Niiden hyötysuhde laskee kootuissa paneeleissa kennojen pinnalla olevien johdinmateriaalien ja lasin heijastuksien takia noin 18 %:iin. Paneelit tuottavat parhaiten sähköä, kun siihen kohdistuva auringonvalo osuu niihin kohtisuoraan. Lisäksi Lämpötilan vaikutus on merkittävä kennojen aineiden ominaisuuksien takia, sillä paneelien hyötysuhde pienenee, kun lämpötila kasvaa, eli paneelit toimivat parhaiten matalissa lämpötiloissa. (Suntekno, 2010)

Aurinkosähköjärjestelmän paneelisto koostuu sarjaan- ja rinnan kytketyistä paneeleista. Lähtökohtaisesti paneeleita kytketään sarjaan, koska sillä saadaan kasvatettua paneeliston tuottamaa kokonaisjännitettä, mikä auttaa vähentämään siirtohäviöitä. Sarjaan kytkettyjä paneeleita kutsutaan paneeliketjuiksi. Varjoja ja muita esteitä voidaan väistää asentamalla sarjaan kytkettyjä paneeleita rinnan toisiinsa. Tällöin rinnan kytkettyjä paneeliketjuja voidaan asentaa eri kulmiin ja kohtiin. Rinnankytkeminen saa aikaan paneeliston kokonaisvirran kasvamisen. Paneelien määrä riippuu järjestelmän koon mukaan, eli paneelisto voi olla yhden paneelin kokoinen tai koostua useasta rinnan kytketystä paneeliketjusta. Kanssa järjestelmässä voi olla useampi paneelisto, jotka on voitua sijoittaa eri kohtiin kiinteistöä. Tällaisissa tapauksessa eri puolille sijoitettuja paneelistoja kutsutaan osapaneelistoiksi, ja paneelistolla tarkoitetaan kaikkia järjestelmän paneeleita. (electroTori, 2021)



KUVA 2. Paneeliston rakenne



Aurinkosähköpaneelit asennetaan yleensä niille valmistetuille telineille. Nämä telineet ovat tehdasvalmisteisia yleensä eloksoidusta/anodisoidusta alumiinista valmistettuja rakenteita. Jokaiselle katto-tyypille tai seinä- ja maa-asennuksiin on omat teline järjestelmät. Telineiden asentamisessa tulee noudattaa telinevalmistajan ohjeita. Paneelitelineitä valittaessa on syytä ottaa huomioon, että ne kestävät Suomen olosuhteita. (Lehto, ym., 2017, s. 108)

Aurinkopaneelit sijoitetaan kohtaan, missä ne saadaan kohdistettua kohtisuoraan aurinkoa päin. Näin niihin kohdistuva auringonsäteily on mahdollisimman suurta ja tasaista. Paneelien sijoittamisessa on otettava huomioon mahdolliset lähistöllä olevat puut ja rakenteet, mitkä voivat aiheuttaa varjostumia paneeleitten pinnalle. Kanssa on huomioitava muut ympäristöstä tulevat haittatekijät, mitkä vaikuttavat paneelien auringonvalon saantiin kuten pöly, lintujen jätökset tai teollisuus saasteet. Kaikki edeltä mainitut asiat heikentävät paneeliston sähkön tuottavuutta ja näin olen kannattavuutta. Pienenkin varjon vaikutus voi olla suuri, sillä sarjaan kytkettyjen paneelien virran tuotanto määräytyy heikoimman paneelin mukaan. (Sesko ry, 2019, ss. 30-31)



KUVA 3. Asennetut paneelit pienen rivitalon katolla. (Niemeläinen, 2020)

## 2.2 Diodit

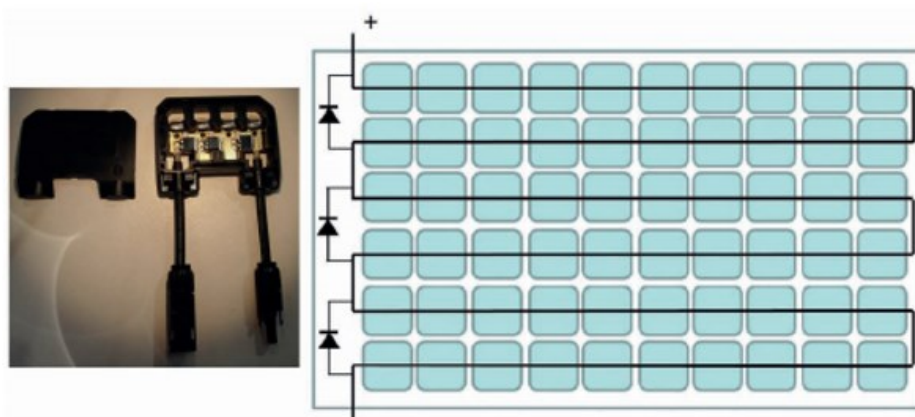
Aurinkosähköjärjestelmissä voidaan käyttää diodeja varjojen aiheuttamien haittojen pienentämiseen ja vikatilanteissa ilmenevin vastakkais- suuntaisten virtojen estämiseksi.

### 2.2.1 Ohitusdiodit

Aurinkopaneeleissa käytetään ohitusdiodeja, joilla voidaan vähentää varjoista aiheutuvaa haittaa. Nämä ohitusdiodit voivat olla jo paneelissa itsessään tai ne voidaan asentaa ulkoisesti. Sisäisillä diodeilla kennot voidaan jakaa osiin, tyypillisesti kolmeen kuvan 2 tapaan. Vaihtoehtoisesti ulkoisella diodilla voidaan ohittaa koko paneeli. Diodit kytketään rinnan aurinkokennojen kanssa estosuuntaan katsottuna virran kulkusuunnan mukaan, kun aurinkokenno toimii normaalisti. Kennon ollessa var-

jossa, sen polariteetti muuttuu, mikä saa aikaan ohitusdiodin muuttumaan päästösuuntaiseksi. Diodin ollessa johtavassa tilassa, se luo virralle reitin, minkä kautta varjon peitossa oleva osa ohitetaan, jolloin muu paneeli pystyy tuottamaan sähköä. Näin saadaan parannettua paneeliston tuottavuutta, sillä hetkelliset pienet varjot eivät tee koko paneeliketjua tai paneelistosta hyödyttämäksi. (Sesko ry, 2019, ss. 51-52)

Käytettäessä ulkoisia ohitusdiodeja niiden mitoituksessa on oltava huolellinen, sillä väärin mitoitettu diodi on paloturvallisuusriski. Ulkoisten ohitusdiodien mitoitukseen pätee seuraavat säännöt: esto-suunnan jännite on oltava kaksi kertaa suurempi kuin paneelin avoimenpiirin jännite ( $U_{OC\ MOD}$ ) ja virran kestävyys 1,4 kertaa paneelin oikosulkuvirta ( $I_{SC\ MOD}$ ). Tämän lisäksi diodit on asennettava siten, ettei paljaita jännitteellisiä osia jää näkyviin ja ohitusdiodit on suojattava ympäristöltä. Diodeja asentaessa on kanssa huomioitava paneelivalmistajan ohjeet. Jos diodeja ei ole paneelissa eikä ulkoisia diodeja asenneta, täytyy paneeliston tehdä toiminnallinen maadoitus, jonka toteuttaminen selitetään maadoitus kohdassa. (Sesko ry, 2019, ss. 51-52)



KUVA 4. Ohitusdiodien sijoitus paneelissa. (Lehto, ym., 2017, s. 57)

### 2.2.2 Estodiodit

Diodeja voidaan käyttää myös estodiodeina, jolloin ne suojaavat paneeleita vastakkais-suuntaisilta virroilta. Vastakkaisia virtoja voi ilmetä paneelistossa, jos paneeli vioittuminen aiheuttaa maasulun. Estodiodien avulla voidaan estää tai vähentää normaalisti toimivien paneelien tuottaman virran kulkeutumista vikakohtaan, mikä voi kuumentaa sitä. Estodiodeilla saadaan näin pienennettyä tulipalon vaaraa. Estodiodeja voidaan asentaa paneeliketjun, osapaneeliston tai paneeliston kanssa sarjaan myötä suuntaisesti, jolloin ne suojaavat kyseisen alueen sen ulkopuolelta tulevilta vastakkaisilta virroilta. Diodin mitoittamisessa ja asentamisessa käytetään samoja ohjeita kuin ulkoisen ohitusdiodin mitoittamiseen. Jos lumesta johtuvat heijastukset tai muut olosuhteet voivat aiheuttaa suuria oikosulkuvirtoja on virran kestävyuden kerrointa kasvatettava. (Sesko ry, 2019, s. 52 ja 65)

Käytettäessä estodiodeja on huomioitava diodin aiheuttamat tehonhäviöt. Tyypillisen estodiodin jännitehäviö on 1 V luokkaa normaalissa toiminnassa, joka aiheuttaa lämpöhäviötä diodissa. Diodin pitkäaikaiselle toiminnan takaamiseksi, pitää laskea tarvitaanko siihen lisätä jäähdytyslevy. Tämän jäähdytyksen tarpeen voi selvittää seuraavilla kaavoilla. Diodin lämpösuunnittelu aloitetaan laske- malla suurin virta ( $I_{MAX}$ ), mikä voi esiintyä paneeliketjussa kaavan 1 tapaan. Kaavassa käyttäen paneeli valmistaja antamaa oikosulkuvirtaa, joka kerrotaan varmuus kertoimella.

$$I_{MAX} = 1,4 \times I_{SC MOD} \quad (1)$$

Lasketun virran avulla valitaan sopiva diodi kohteeseen eli valitaan diodi mikä kestää lasketun maksimivirran arvon. Seuraavana lasketaan valitun diodin aiheuttamat tehohäviöt ( $P_{CAL}$ ) kertomalla suurin diodilla esiintyvä virta myötä suuntaisella jännitteenalenemalla ( $U_{D OP}$ ) kaava 2.

$$P_{CAL} = U_{D OP} \times I_{MAX} \quad (2)$$

Tämän jälkeen lasketaan diodin lämpöresistanssi  $R_{TH}$ , jossa diodin liitoslämpötilasta vähennetään ympäröivän ilman lämpötila ja se jaetaan diodin tehohäviöllä kaava 3.

$$R_{TH} = \frac{(T_j - T_{AMB})}{P_{CAL}} \quad (3)$$

Jos lämpöresistanssin arvo on pienempi kuin diodin liitoskotelon ja liitosilman lämpötilojen summa, tulee diodiin liittää jäähdytyslevy. (Sesko ry, 2019, s. 69)

### 2.3 Tehonmuunnin

Aurinkosähköjärjestelmiin mitkä halutaan kytkeä verkkoon tai tuottaa kiinteistöön tyypillistä 230 VAC vaihtojännitettä tarvitaan tehonmuunnin eli inverteri (PCE). Tehonmuuntimen pääsääntöinen tehtävä on muuntaa paneeleista tuleva tasajännite halutuksi vaihtojännitteeksi. Lisäksi tehonmuuntajan tehtävä on ohjata tuotetun- ja ostettavan sähkön määrää vastaamaan kulutusta tai ylituotannolla ohjata ylimääräinen sähköenergia verkkoon tai akustoon. Nykyisillä tehonmuuntimilla hyötysuhde on 96,5–98,2 % luokkaa. On olemassa myös tehonmuuntajia, jotka pystyvät tekemään muutakin kuin muuttamaan paneeleitten jännitteen sopivaksi. Tällaista tehonmuunninta kannattaa käyttää, jos haluaa yksinkertaistaa järjestelmää vähentämällä komponenttien määrää. Tällaisiin tehonmuuntimiin on integroitu järjestelmän ja akun hallinta-, seuranta- ja optimointilaitteita. Tehonmuuntimet tulee hankkia aina kohteeseen sopivaksi, sen tehon ja ominaisuuksin perusteella. Tehonmuunninta valittaessa on-grid järjestelmään tulee huomioida, ettei tehonmuunnin pysty syöttämään verkkoon tehoa, joka ylittää verkkoliittymän mitoituksia. Suurissa järjestelmissä voi olla useampia tehonmuuntimia, jotka on liitetty samaan liittymään. Markkinoilla on tällä hetkellä kolme- ja yksivaiheisia tehonmuuntimia, mutta kolmevaiheine tehonmuunnin kannattaa aina valita, koska se on perempi kuluttajan ja sähköverkon kannalta. Yksivaiheisia tehonmuuntimia käytetään, jos liittymä on yksivaiheinen tai järjestelmä on todella pieni. (Aurinkovirta, 2021)

Tehonmuunnin asennetaan valmistajanoheiden mukaan kiinteistöön sille sopivaan tilaan ottein huomioon tehonmuuntimen jäähdytyksen tarpeet sekä sen aiheuttamat meluhaitat. Tehonmuuntimen voi sijoittaa ulos, jos valmistajan vaatimat olosuhteet täyttyvät ja siinä on oikea IP luokitus. Laitteen ylivirtasuojaus on siinä itsessään tai laiteessa on ilmoitettu mikä on suurin sallittu virta minkä siihen voi liittää, jonka mukaan suoja tulee mitoittaa. Tehonmuuntimen ja kiinteistön sähköverkon yhdistävän kaapelin suojaus asennetaan ryhmäkeskukseen, johon tehonmuunnin liitetään. Verkonrinnalla toimivan järjestelmän yleisenverkon ja tehonmuuntimen yhdistävän kaapelin suojaus tehdään verkon puolelle, joko kiinteistön pääkeskukseen tai jakokaappiin. Näitten suojausten mitoitus tulee tehdä tehonmuuntimen ohjeiden mukaan sekä normaalin sähköasennus standardeja noudattaen. (Aurinkovirta, 2021).

## 2.4 Akut

Aurinkosähköjärjestelmän hyödyllisyyttä voidaan parantaa asentamalla järjestelmään akusto. Akkujen tarkoituksena on varastoida paneeleitten tuottamaa energiaa, milloin sähkön tuotanto on huipussaan ja antaa energiaa illasta, milloin paneelit eivät yleensä tuota tarvittua energia määrää. Akku tyypit, joita tällä hetkellä käytetään pääsääntöisesti aurinkosähköjärjestelmissä Suomessa ovat Geeliakku eli lyijyhyytelöakku (gel battery) ja AGM-akku (absorbent glass mat battery). Geeliakussa elektrolyytti eli akkuhappo on sakeutettu piin avulla geelimäiseksi. AGM-akuissa akkuhappo on imeytetty lasikuitumattoon. Molemmat akku tyypit ovat suljettuja lyijyakkuja. Erona tavalliseen avonaiseen lyijyakuun, jossa akkuhappo on nestemäisessä muodossa, on se, ettei suljettuja akkuja tarvitse huoltaa. Tämä perustuu kemialliseen reaktioon, missä suljettujen akkujen rakenteen vuoksi tapahtuu rekombinaatioreaktio, jossa latauksen loppuvaiheessa syntyvä happikaasu ei pääse purkautumaan ulos akusta, vaan se kiinnittyy takaisin akun napaan. Avonaisessa akussa happi pääsee pois järjestelmästä ja sitä täytyy paikata lisäämällä akkuvettä. (Yleiselektroniikka, 2018)

Järjestelmät mitkä sisältävät akkuja tulee akut sijoittaa lukittuun tilaan tai koteloon, johon pääsy on ainoastaan ammattitaitoisella tai opastetulla henkilöillä. Tilan tai koteloinnin ilmanvaihto täytyy kuitenkin olla riittävä, jotta ei synny räjähdysvaaraa, jos akuista pääsee vapautumaan kaasuja niitten vioituessa. Akustojen napoihin, joiden välinen jännite ylittää 120 VDC pitää vielä lisätä suoja mikä estää napojen koskettelemisen samanaikaisesti. Vaikka standardi ei vaadi pienempien akkujen perussuojausta niitten tekeminen on kuitenkin suositeltavaa. Akusto kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähelle sen liittymis- pistettä järjestelmässä, jotta vältetään pitkien paksujen akkukaapeleiden käyttöä, jotka ovat huomattavasti kalliimpia sekä vältetään tehohäviötä. (Sesko ry, 2017, s. 403)

Pienilläkin akustoilla saadaan jo kohtuullinen oikosulkuvirta. Esimerkiksi noin 100 Ah akusto saadaan jopa 1000 A oikosulkuvirta. Tämä riittää jopa parhaimmillaan 50 A gG-sulake tai C-käyrän johdon-suojakatkaisija laukaisemiseen. Akuston sulake mitoitetaan tehonmuuntimen mukaan, ja akun yhdistävän kaapeli tämän sulakkeen mukaan. (Lehto, ym., 2017, s. 94)

## 2.5 Sähköverkkoon kytketty järjestelmä

Verkkoon kytketyillä järjestelmillä tarkoitetaan aurinkosähköjärjestelmää, joka toimii sähköverkon rinnalle. Tällainen järjestelmä pystyy myös syöttämään sähköverkkoa, jos tuotanto on suurta eikä

sitä voida kuluttaa paikallisesti kiinteistössä. Kyseisessä tilanteessa sähköverkko toimii energia varastona. Tällaista järjestelmää kannattaa käyttää, jos kiinteistössä kiinteistön sähkön kulutuksesta koituvia kustannuksia halutaan pienentää. Järjestelmä koostuu aurinkopaneeleista ja tehonmuuntimesta. Sähköverkko ja paneelit yhdistetään järjestelmässä tehonmuuntimen kautta muuhun kiinteistön sähköjärjestelmään. Yleensä aurinkosähköjärjestelmä ei pysty toimimaan itsenäisesti, joten sillä ei voi taata sähkön saantia sähkökatkon aikana. Kanssa verkkoon liitettyjen järjestelmien on lopetettava sähkön syöttö, jos sähköverkko katoaa tai siihen tulee muita häiriöitä, koska järjestelmän tuotama jännite voi aiheuttaa vaaran jakeluverkon puolelle. Verkkoon liitetyn järjestelmän mitoittaminen ja rakentaminen on huomattavasti helpompaa, kuin saarekekäyttöisen järjestelmän, sillä sähkön riittävyttä ei tarvitse huolehtia. (Lehto, ym., 2017, ss. 43-44)

### 2.5.1 Verkkoon liittäminen

Aurinkopaneelit tuottavat sähköä, vaikka kulutusta paikallisesti ei ole. Tämän takia on hyvä idea myydä aurinkopaneelilla tuotettu ylimääräinen sähkö valitsemalleen sähkömyyjälle. Kaikilla on oikeus ryhtyä sähköntuottajaksi ja verkonhaltijan on tarjottava tuottajalle luotettava verkko, jotta sähkön siirtäminen on mahdollista. Tämä edellyttää sopimuksen verkko- sekä sähköyhtiön kanssa, ylimääräisen sähkön syöttämisestä ja myymisestä sähköverkkoon. Sopimuksen sisältö voi vaihdella paikkakunnittain tai eri verkkoyhtiöiden välillä. Tässä työssä esimerkkinä käytetään Kuopion energian verkkoon liitetyn järjestelmän tarvittavat lupa asiat. (Heikkilä, 2019)

Kuopion Sähköverkko vaatii verkkosopimuksen, kun pien- tai mikrotuotantolaitteisto liitetään sen omistamaan sähköverkkoon. Sähkömarkkinalain mukaan pientuotannosta on kyse silloin, kun laitoksen nimellisteho on alle 2 MVA. Mikrotuotannolla tarkoitetaan yleensä kiinteistön sähköverkkoon liitettyä sähkön- tuotantolaitteistoa, jonka nimellisteho on enintään 50 kVA. Asuinkiinteistöjen aurinkopaneelijärjestelmät ovat melkein kaikki mikrotuotantolaitoksia. Sopimus luodaan mikrotuotantolaitoksen yleistietolomakkeen (LIITE 1) perusteella, mikä pitää tehdä laitteistoa hankittaessa. Yleistietolomakkeen täyttää ja toimittaa laitteiston asentaja, jonka täytyy olla ammattihenkilö. Mikrotuotantolaitos liitetään yleensä normaalin liittymän kautta jakeluverkkoon, jos liittymän tehoa ei ylitetä. Jos teho ylittyy voi verkkoyhtiö joutua vahvistamaan verkkoa, milloin voi aiheutua lisäkustannuksia. Nykyiset sähkömittarit pystyvät mittaamaan sähköä molempiin suuntiin, jos kiinteistössä on vanha mittari, voi verkkoyhtiö vaihtaa sopivan tilalle korvausta vastaan. Jos kiinteistöllä on mahdollisuus syöttää sähköverkkoa, on liittymän pääkeskuksella ja tuotantolaitteistolla olla takasyöttövaarasta varoitettava kyltti sekä opastus tuotannon irti kytkemiselle. Tämä edellyttää, että lukittava katkaisia on kiinteistön ulkopuolella tai muussa tilassa, johon sähköverkkoyhtiöllä on pääsy. (Kuopion Sähköverkko Oy, 2015)

### 2.6 Sähköverkosta irti oleva järjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmillä voidaan melko helposti toteuttaa kiinteistön sähköistäminen ilman verkko liittymää. Tämä tilanne on hyvin tuttu suomalaisilla kesämökeillä, mistä se on kanssa saanut nimen ”mökkipaketti”, mutta viralliseltaan nimeltään puhutaan saarekekäytöstä (off-grid). Järjestelmän rakenne ja toteutus on samanlainen kuin verkko rinnalla toimivassa järjestelmässä, mutta erona oleellisesti on, ettei saarekekäytössä ole verkkoliittymää. Kanssa saarekekäyttöisissä järjestelmissä on

poikkeuksista aina akusto, joka tasaa kulutusta ja tuottoa. Järjestelmän koko tulee suunnitella tarkkaan jokaiseen kohteeseen, jotta ei tapahdu alimitoitusta. Järjestelmän huonona puolena on sen heikko suurentehon tuottavuus, mikä voi rajoittaa suurtehoisten laitteiden käyttöä, kuten halkomakoneet tai sirkkelit. Järjestelmässä voi myös ilmetä energian vajavaisuutta, jos energian kulutus on suurta tai sää on huono pidemmän aikaa. Siksi saarekekäyttöisiin järjestelmiin on hyvä lisätä pienisgeneraattori liitäntä, millä voi paikata hetkellisiä vajuus tilanteita. Aggregaatti liitäntä on hyvin suositeltavaa, jos kiinteistöä haluaa käyttää ympärivuoden, sillä talvi kuukausina aurinkosähkötuotanto on olematonta. (Lehto, ym., 2017, ss. 46-47)

### 3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN TOTEUTUS STADARTIEN MUKAAN

Aurinkosähköjärjestelmän asentaminen minkä tasasähköosanpuolen jännite ylittää 120 VDC, täytyy asennuksen suorittavalla henkilöllä olla ammattipätevyys ja olla vähintään voimassa oleva S2 sähköasennusoikeudet. Kaikki alle 120 VDC olevat järjestelmät, mitä ei ole yhdistetty muuhun kiinteistön sähköjärjestelmään tai yleiseen sähköverkkoon, saa asentaa maallikko suurta huolellisuutta noudattaen. Tällaiset järjestelmät ovat kuitenkin hyvin pieniä, kuten ajoneuvon aurinkopaneelit ja yksittäisten aurinkopaneelilla toimivien valojen asennus. Kuten kaikissa sähköasennuksissa täytyy myös aurinkosähköjärjestelmiä asentaessa noudattaa uusimpia sähköasennus standardeja. Standardeja noudattamalla järjestelmä on turvallinen asentaa ja käyttää sekä asennus täyttää kaikki viranomaisvaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmiä koskevia sähköasennusstandardeja löytyy taulukosta 1. Lisäksi oletetusti muitten piensähköstandardien vaatimuksia tulee noudattaa asennuksien suhteen, jotka yhdistyvät aurinkosähköjärjestelmään. (Tukes, 2020)

TAULUKKO 1. Aurinkosähköjärjestelmiä koskevia standardeja

Standardi	Selite
SFS 6000-7-712	Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät
SFS 6000-5-55,551	Pienjännitteiset generaattorilaitteistot
SFS 607:2019 joka sisältää ↘	Aurinkosähköjärjestelmät
SFS-EN 62446	Sähköverkkoon kytketyt PV-järjestelmät
SFS-EN 61724	Järjestelmän suorituskyky
SFS-EN 61829	Aurinkopaneelisto ominaisuuden mittaus
SFS-EN 50438 ja/tai ↘	Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille.
VDE-AR-N-4105	Saksan yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimivan mikrotuotantolaitteiston

#### 3.1.1 Paneelien ylivirta suojaus

Aurinkosähköpaneelit ovat rakenteeltaan virtarajoitettuja lähteitä, ja siksi ne eivät synnytä suurta virtaa edes oikosulku tilanteessa. Tämän takia pienten paneelien ylivirtasuojauksia ei tarvitse tehdä, jos järjestelmässä ei ole akkua tai muita lähteitä mistä voidaan syöttää vikavirtaa paneeliston. Akkuja sisältäviin järjestelmiin suojaus tehdään lähellä akkuja, joten se ei vaikuta paneeliston rakenteeseen. Paneelisiin missä vikavirtaa voi ilmetä muista lähteistä, kuten verkkoon liitetyissä järjestelmissä, suojauslaite tulee sijoittaa paneeliston ja tehonmuuntimen yhdistävän kaapelin väliin. Suojalaitteen mitoittamiseen tarvitaan paneeliston oikosulkuvirta ( $I_{SC\ ARRAY}$ ). Tämä saadaan laskettua paneelivalmistajan ilmoittaman yhden paneelinoikosulkuvirran ( $I_{SC\ MOD}$ ) avulla, mikä kerrotaan rinnankytkettyjen paneeliketjujen määrällä ( $N_S$ ) kaava 4.

$$I_{SC\ ARRAY} = I_{SC\ MOD} \times N_S \quad (4)$$

Tämä jälkeen saatu oikosulkuvirran arvo kerrotaan vakio kertoimilla (kaava 5), jotka asettavat rajat minkä puitteissa valitaan sopivan kokoinen saatavilla oleva suojalaite. Suojalaitteena pitää käyttää SFS-EN 60269-6:n mukaisia gPV-varokkeita. Suojalaitteet tulee olla sopivia tasasähkölle ja vähintään kestää paneeliston suurin avoimen piirin jännite ( $U_{oc}$ ).

$$1,25 \times I_{SC\ ARRAY} < I_n \leq 2,4 \times I_{SC\ ARRAY} \quad (5)$$

Suuremmissa järjestelmissä voidaan tarvita myös lisäsuoja paneeliketjuille. Paneeliketjun oman ylivirtasuojauksen tarve tulee vain, jos epäyhtälö 6 toteutuu. Kaavassa rinnankytkettyjen paneeliketjujen määrästä ( $N_S$ ) vähennetään yksi ketju ja se kerrotaan valmistajan ilmoittamalla yhden paneelin oikosulkuvirralla ( $I_{SC\ MOD}$ ). Laskettua arvoa verrataan paneelin valmistajan ilmoittamaan arvoon, mikä ilmoitetaan käsiteellä suurin mitoitettu varoke ( $I_{MOD\ MAX\ OCPR}$ ).

$$((N_S - 1) \times I_{SC\ MOD}) > I_{MOD\ MAX\ OCPR} \quad (6)$$

Jos laskettu arvo alittaa valmistajan ilmoittaman arvon suojausta ei tarvitse tehdä. Jos arvo ylittää sen, tulee paneeliketjun suojalaitteet sijoittaa jokaiseen kohtaan (plus- ja miinusnapa) missä paneeliketju yhdistyy paneeliston tai osapaneeliston kaapeliin. Paneeliketjun suojalaitteen koko määritetään kaavalla 7. Suojan koko määritellään samalla tavalla kuin paneeliston suoja, mutta minimi kerroin on suurempi. Suojan koko ei saa ylittää valmistajan ilmoittamaa suojan kokoa.

$$1,5 \times I_{SC\ MOD} < I_n < 2,4 \times I_{SC\ MOD} \leq I_{MOD\ MAX\ OCPR} \quad (7)$$

Osapaneelistot tulee suojata omalla ylivirtasuojalla, jos enemmän kuin kaksi osapaneelistoa yhdistetään samaan tehonmuuntimeen. Osapaneelin yhdistävälle kaapelille sijoitetaan oma suojalaite tehonmuuntimen lähden jälkeen, jos osapaneelit yhdistyvät suoraan tehonmuuntimeen. Tapauksissa, jossa osapaneelistot yhdistyvät paneeliston pääkaapeliin tulee suojalaite sijoittaa tähän yhdistys kohtaan. Suojalaitteen koko perustuu osapaneeliston oikosulkuvirtaan, joka lasketaan kaavalla 8.

$$I_{SC\ S-ARRAY} = I_{SC\ MOD} \times N_{SA} \quad (8)$$

Suojalaitteen koko määritetään kaavalla 9, jossa osapaneeliston oikosulkuvirran avulla määritetään rajat samaan tapaan, kuin paneeliston suoja



$$1,25 \times I_{SC\ S-ARRAY} < I_n \leq 2,4 \times I_{SC\ S-ARRAY} \quad (9)$$

Koko järjestelmää mitoittaessa tulee suojat valita niin, että suojien selektiivisyys täyttyy eli ei valita esimerkiksi suurempaa suojaa osapaneeliston kuin koko paneeliston. (Sesko ry, 2019, s. 16 ja 41)

### 3.1.2 Paneelikaapeleiden asennus ja mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmien paneeliston kaapelointi on hyvin haastavaa, sillä paneeliston asennuspaikan takia kaapelit alistuvat kuumille lämpötiloille. Tästä syystä paneeliston kaapeleina on käytettävä kuumiin paikkoihin soveltuvia kaapeleita, ja niiden on kestävä UV-säteilyä tai asennettava UV-säteilyä kestävä kaapelitiehen. Jos paneeliston jännite ylittää 60 VDC täytyy käyttää vahvistettuja tai kaksois-eristettyjä kaapeleita, jotta maadoitus- ja oikosulkuvirrat minimoidaan. Kaapelit millä on mahdollisuus liikkua, on käytettävä taipuisaa kaapelia. Tällaisia paikkoja on esimerkiksi kaapelit, joiden päässä on irrotettavia liittimiä. Kaapelit tulee asentaa siten, että ne kestävät koko aurinkosähköjärjestelmän käyttöä. Tämä edellyttää, ettei kaapelit pääse hankautumaan teräviin metallisiin reunoihin tuulen tai lumen rasituksen alla. Järjestelmän DC kaapelit pitää merkata selkeästi, että ne kuuluvat aurinkosähköjärjestelmään. Tämä toteutetaan käyttämällä valmiiksi merkattuja kaapeleita tai merkkamattomiin kaapeleihin kiinnitetään lappu 5 m välein tai 10 m välein suorilla osilla. Sama merkitä pitää tehdä suojaputkiin, jos kaapelit on asennettu niiden sisään. Lisäksi kaapelit tulee erottaa pareittain, jos järjestelmässä on useita osapaneelistoja. Kaapelien asennuksessa ei suositella johtositeiden käyttöä, ellei johtositeiden valmistajan ilmoittama käyttöikä ole sama tai suurempikuin koko järjestelmän ikä.

Paneeliston ja sen osien kaapeleiden poikkipinta-ala määräytyy kaapelin kuormittavuuden perusteella. Lähtökohtana on, että paneeliston osien kaapeleiden poikki pinta-alan mitoituksessa tarvittava mitoitusvirta on sama kuin paneelin suojan virran arvo. Jos paneelistolle tai sen osille ei ole tarvittu suoja voidaan mitoitusvirran arvo laskea kussakin kohdassa seuraavilla menetelmillä.

Paneelistot, jotka sisältävät vain yhden tai kaksi paneeliketjua, kaapelin mitoittamiseen tarvittava virta ( $I_z$ ), saadaan kertomalla paneeliketjussa olevan yhden paneelin oikosulkuvirta ( $I_{SC\ MOD}$ ) vakio kertoimella kaava 10.

$$I_z \geq 1,25 \times I_{SC\ MOD} \quad (10)$$

Jos paneeliketjuja on enemmän kuin kaksi. Täytyy edelliseen kaavaan lisätä kerroin, joka sisältää paneeliketjujen määrän ( $N_s$ ), josta vähennetään yksi ketju kaava 11.

$$I_z \geq 1,25 \times I_{SC\ MOD} \times (N_s - 1) \quad (11)$$

Tilanteissa, jossa ennen paneeliketjua on käytetty ylivirtasuojaa, mutta paneeliketjussa ei ole omaa suojausta tulee kaavaan 11 lisätä tämän lähimmän ylivirtasuojan arvo ja paneelikejujen määränä käytetään tämän suojan takana olevien paneeliketjujen lukumäärää ( $N_{PO}$ ), jolloin saadaan kaava 12.

$$I_z \geq I_n + 1,25 \times I_{SC\ MOD} \times (N_{PO} - 1) \quad (12)$$

Osapaneelistojen yhdistävien kaapelien mitoitusvirta, jos osapaneelistot on yhdistetty keskenään ja ei ole käytetty ylivirtasuojia, saadaan kertomalla kaikkien osapaneelistojen virtojen ( $I_{SC\ S-ARRAY}$ ) summa vakiokertoimella kaava 13.

$$I_z = 1,25 \times \sum I_{SC\ S-ARRAY} \quad (13)$$

Jos ennen osapaneelistoja on yhteinen kaapeli ja tällä kaapelilla on ylivirtasuoja, tulee tämän suojan arvo lisätä edelliseen kaavaan, jolloin saadaan kaava 14

$$I_z = I_n + 1,25 \times \sum I_{SC\ S-ARRAY} \quad (14)$$

Mikäli järjestelmässä on vain yksi paneelisto, jossa on enemmän kuin kaksi paneeliketjua, saadaan kaapelien mitoitusvirta kertomalla kokopaneeliston oikosulkuvirta ( $I_{SC\ ARRAY}$ ) vakio kertoimella (kaava 15).

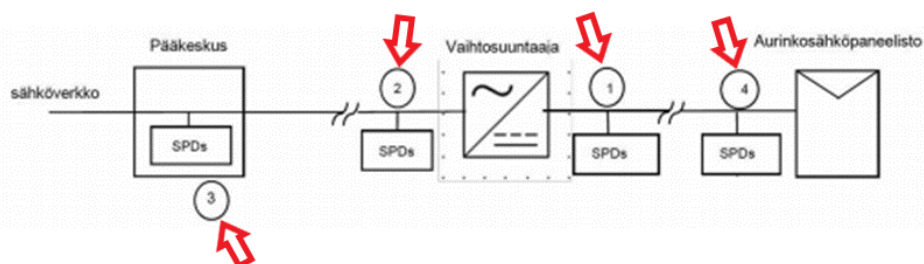
$$I_z = 1,25 \times I_{SC\ ARRAY} \quad (15)$$

Kaapelia mitoitettaessa tulee käyttää IEC 60364-5-52 kuormittavuuden korjaus kertoimia. Ympäristön lämpötilan vaikutuksen korjaus kerrointa valitessa on hyvä valita vähintään +40 C kerroin. (Sesko ry, 2019, ss. 47-48)

### 3.2 Ylijännite suojaus

Ylijännite suojauksella on tarkoitus suojata laitteita suurilta jännitepiikeiltä, mitkä voivat syntyä ukkosen aiheuttamasta salamaniskusta tai verkosta lähteivistä kytkentä ylijännitteistä. Lähtökohtaisesti aurinkosähköjärjestelmiin ei vaadita ylijännitesuojausta, paitsi kiinteistöissä, joissa kyseinen järjestelmä on jo asennettu tai tullaan asentamaan. Aurinkosähköjärjestelmän asennus ei kasvata merkittävästi salamaniskun mahdollisuutta kiinteistöön, joten järjestelmän lisääminen ei luo tarvetta sala-

masuojaukselle. Ylijännitesuojaus ei kuitenkaan ole huono idea suojata laitteita vioittumiselta, antaen lisäturvaa kalliille laitteille. Järjestelmiin, joihin pitää asentaa ylijännite suojaus standardin mukaan tai halutaan sellainen asentaa, on suojalaitteiden tyypit ja sijainnit merkittävässä osassa, jotta suojaus toimii niin kuin sen halutaan. Kuvassa 5 esitetty aurinkosähköjärjestelmään mahdolliset ylijännitesuojien sijoitus kohdat ja taulukossa 2 milloin kyseiseen kohtaan suoja tulee sijoittaa. Ylijännitesuojaus voi olla rakennettu laitteisiin ja paneeleihin jo valmiiksi tai se voidaan toteuttaa ulkoisilla ylijännitesuojalaitteilla. Käyttäessä ulkoisia suoja, ne olisi hyvä asentaa mahdollisimman lähelle niillä suojattuja laitteita.



KUVA 5. Ylijännitesuojien sijoitus kohdat. (Sesko ry, 2019, s. 154)

Ylijännitesuojat luokitellaan kolmeen tasoon. Jokaisen taso eroaa toisistaan niiden energianjohtokyvyn (salamavirta IB) ja jännitteenrajoituskyvyn (jännösjännite) perusteella. Järjestelmän suojaus tulee toteuttaa niin että suuritehoisin suoja suojaa heikompitehoisia suoja. Eli suojat asennetaan järjestelmään portaittain. Ulkoisen Ylijännitesuojan jännitesuojataso ( $U_p$ ) määräytyy laitevalmistajan ohjeiden mukaan. (Hager, 2011)

TAULUKKO 2. Ylijännitesuoja tyypit. (Sesko ry, 2017, s. 154)

Kohteen kuvaus	Ylijännitesuoja sijainnissa 3	Ylijännitesuoja sijainnissa 2	Ylijännitesuojat sijainneissa 1 ja 4
Ylijännitesuojien asennus aurinkosähkölaitteistossa, jossa ei ole ulkoista salamasuojausta.	Standardin SFS-EN 61643-11 mukainen tyyppin 2 ylijännitesuoja SFS 6000-5-534 vaatimusten mukaisesti	Standardin EN 61643-11 mukainen tyyppin 2 ylijännitesuoja	Standardin EN 50539-11 mukainen tyyppin 2 ylijännitesuoja
Rakennuksessa on ulkoinen salamasuojausjärjestelmä ja erotusetäisyys täyttyy.	Standardin SFS-EN 61643-11 mukainen tyyppin 1 ylijännitesuoja SFS 600-5-534 vaatimusten mukaisesti	Standardin EN 61643-11 mukainen tyyppin 2 ylijännitesuoja	Standardin EN 50539-11 mukainen tyyppin 2 ylijännitesuoja
Rakennuksessa on ulkoinen salamasuojausjärjestelmä, ja erotusetäisyysvaatimus ei täyty.	Standardin SFS-EN 61643-11 mukainen tyyppin 1 ylijännitesuoja SFS 600-5-534 vaatimusten mukaisesti	Standardin EN 61643-11 mukainen tyyppin 1 ylijännitesuoja	Standardin EN 50539-11 mukainen tyyppin 1 ylijännitesuoja

### 3.3 Katkaisijat

Katkaisijoita asennetaan eri kohtiin järjestelmää, jotta järjestelmään tehtävät huolto ja kunnossapito tehtävät ovat turvallista suorittaa. Katkaisijoiden määrä riippuu järjestelmän koosta, mutta kaikissa järjestelmissä pitää olla katkaisija tai katkaisijat, millä tehonmuunnin saadaan erotettua DC sekä AC puolelta. On-grid järjestelmissä on oltava lisäksi pakollinen aurinkosähköjärjestelmän erottava turvakytkin, mikä on sellaisessa paikassa mihin paikallisella sähköverkkoyhtiöllä on pääsy ja kytkimen sijoitus paikka tulee olla sovittuna heidän kanssansa. Näin saadaan varmistettua, että aurinkosähköjärjestelmä saadaan erotettua verkosta, eikä se luo jännitetä verkkoon siellä tehtävien töitten aikana. Taulukossa 3 on esitetty vaaditut ja suositellut erotuslaitteet kuhunkin paikkaan. Lisäksi on suositeltavaa suurissa järjestelmissä sijoittaa katkaisiota paikkoihin, jolla voidaan erotella paneeleita toisistaan, jotta huolto töiden aikana osa paneeleista voi toimia normaalisti. (Sesko ry, 2019, s. 53)

TAULUKKO 3. Katajaisin ja erotinlaitteiden sijainnit ja vaatimukset (Sesko ry, 2019, s. 54 ja 72)

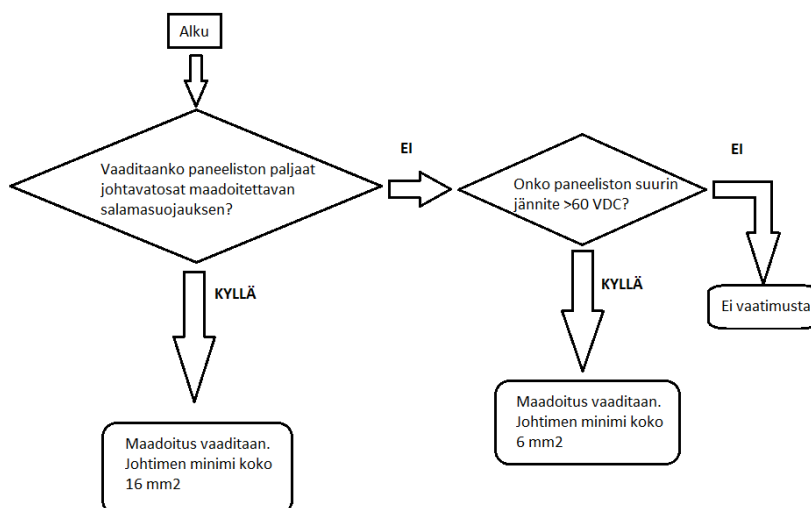
Paneeliston jännite	Virtapiiri	Erotuskeino	Vaatus
≤60 VDC	Paneelketjukaapeli	Erotin	Suosittelaan
	Osapaneelstokaapeli	Erotin	Vaadtaan
	Paneelstokaapeli	Kuormanerotin	Vaadtaan
>60 VDC	Paneelketjukaapeli	(a)	Suosittelaan
	Osapaneelstokaapeli	(a)	Vaadtaan
		Kuormanerotin	Suosittelaan
	Paneelistopäakaapeli	Kuormanerotin	Vaadtaan

(a)= Kosketussuojatut pistotulpat ja kojepistokeet, varokkekytkinyhdistelmät, varokepitimet, poisvedettävät sulakkeet tai erotin ovat sopivia erotuslaitteita. Näiden kuormitusvirran katkaisukyky riippuu taulukossa esitetystä jänniteluokasta

Erottimet, jotka ei pysty katkaisemaan paneelistossa esiintyviä kuormitusvirtoja, tulee tällaisiin erottimiin merkittä "ei-kuorman katkaisuun" merkki ja niihin yleinen pääsy on estettävä. Kaikkien vaadittujen erotuslaitteiden on katkaistava molemmat johtimet, ja paneeliston kuormanerotin on lisäksi katkaistava toiminnalliset maadoitukset, jos niitä on käytössä. (Sesko ry, 2019, ss. 53-54)

### 3.4 Maadoitus

Aurinkopaneelien maadoituksen tarve selviää kuvan 6 kaavoista. Jos maadoitus vaaditaan, järjestelmä tulee tehdä potentiaalintasaus tai toiminnallinen maadoitus. Tämän lisäksi järjestelmän vaihtosähkö osalle on tehtävä suojamaadoitus.



KUVA 6. Maadoituksen tarpeen selvitys

### 3.4.1 Suojamaadoitus

Suojamaadoitus toteutetaan SFS-6000 standardien mukaan eli kaikki vaihtosähköpuolen laitteet ja aurinkosähköjärjestelmän tehonmuunnin suojamaadoitetaan normaaliin tapaan keskuksen suoja-  
maadoitus rimaan.

### 3.4.2 Potentiaalintasaus

Aurinkosähköjärjestelmien potentiaalintasaus sisältää paneelien asennustelineiden ja tehonmuun-  
timen rungon maadoittamisen. Se vaaditaan vain järjestelmissä minkä DC-puolen jännite ylittää 60  
VDC. Potentiaalintasauksella taataan järjestelmän metallisiin osiin ei pääse indusoimaan jännitettä  
esimerkiksi lähellä oleva ukonilma tai sähkönsiirtokaapeista voi indusoitua jännite paneelien  
asennustelineisiin, mikä voi aiheuttaa sähköiskun niihin koskettaessa. Järjestelmän potentiaalinta-  
saus toteutetaan liittämällä metalliset rungot pää- tai lisäpotentiaaliskokoon vähintään 6 mm<sup>2</sup> kupari  
johtimella tai sitä vastaavalla muulla johtimella. Järjestelmän ollessa ukkossuojattu, on käytettävä  
vähintään 16 mm<sup>2</sup> johdinta. Suurissa järjestelmissä on hyvä varmistaa, että koko telineessä on riittävä  
potentiaalintasaus, suositeltua on tehdä lisäyhdistyksiä 50 m välein. Aurinkosähköjärjestelmä ei  
vaadi lisää vahvistuksia maadoitus elektrodiin on-grid järjestelmissä ja Off-grid järjestelmissä maa-  
doitus elektronilla ei ole rakennettu rakennukseen ennestään eikä sitä vaadita. Kuitenkin sen asenta-  
minen on suositeltavaa etenkin laajoissa järjestelmissä, sillä se parantaa vikasuojausta. Maadoitus  
elektrodin puuttuminen voi myös vaikuttaa kiinteistön vakuutuksen saatavuuteen, jos siihen lisätään  
aurinkosähköjärjestelmä. (Sesko ry, 2019, s. 55)

### 3.4.3 Toiminnallinen maadoitus

Joillakin paneeli tyypeillä (esimerkiksi ohutlevypaneelit) on tehtävä toiminnallinen maadoitus, mikä  
ehkäisee paneelin vanhenemista. Toiminnallisessa maadoituksessa toinen paneelin johtimista  
(yleensä miinus) maadoitetaan potentiaalintasaus kiskoon. Jokaista paneelin johdinta ei tarvitse  
maadoittaa erikseen, vaan riittää paneeliston pääkaapelin maadoitus. Maadoitus liitäntä on hyvä  
tehdä mahdollisimman lähellä tehonmuunninta. Toiminnallinen maadoitus ei tee paneelistosta maa-  
doitettua järjestelmää.

### 3.5 Mittaukset

Aurinkosähköjärjestelmille on tehtävä kaikkien muittenkin sähköasennuksen tapaan käyttöönotto  
mittaukset. Tämän lisäksi aurinkosähköpaneelistöön on tehtävä omat mittaukset. Aurinkosähköjär-  
jestelmien mittaukset on jaettu kahteen kategoriaan ja lisätesteihin. Kaikkiin aurinkosähkö järjestel-  
miin on tehtävä kategorian 1 mittaukset. Kategorian 2 mittaukset suoritetaan vain suurissa järjestel-  
missä. Täydentäviä testejä voidaan suorittaa, jos järjestelmä ei toimi normaalisti tai ne tehdään asia-  
kaan pyynnöstä. Taulukossa 4 on esitetty eri kategorioiden mittaukset. (Sesko ry, 2019, ss. 94-108)

## TAULUKKO 4. Aurinkosähköjärjestelmään tehtävät mittaukset. (Sesko ry, 2019, ss. 94-108)

	Mittaus	Selite	Mittauksen suorittamien
Kategoria 1	Suojajohtimen ja/tai potentiaalintasausjohtimen jatkuvuuden testaus	Mitataan maadoitetut ja potetiaalitasattujen johtimen jatkuvuus siihen soveltuvalmittarilla.	Mitataan suojajohtimen jatkuvuus liittämällä mittarin toinenpää maadoitettuun osaan ja toinen päämaadoituskeskoon.
	Napaisuuden testaus	Tasajännitekaapelin napaisuus tarkistetaan sopivalla mittalaitteella kuten ylesmittarilla. Tämän jälkeen tarkistetaan että kaapelit ovat merkattu ja sennettu oikein.	Mitataan ennen kuin sulakkeet on asennettu paikalleen. Mittauksessa piirin positiivinen puoli mitataan nollaa tai maata vasten ja tarkistetaan, että jokaisen piirin jänniteen arvo on saman merkinen.
	Paneeliketjun liitäntökeskuksen testit	Jos järjestelmässä on monta paneeliketjua napaisuuden mittausta suoritetaan jokaiselle ketjulle, jolla varmistetaan että kaikki ketjut ovat kytketty oikein napaisuuden puolesta. Tämä toteutetaan ennen kuin paneeliketjujen varokkeet ovat paikallaan.	Mitataan ennen kuin sulakkeet on asennettu paikalleen. Mittauksessa joakinen paneelikejujen positiivinen napa mitataan nollaa tai maata vasten ja tarkistetaan, että jokaisen ketjun jänniteen arvo on saman merkinen.
	Paneeliketjun avoimenpiirin jänniteen mittaus	Mitataan että järjestelmän avoimen piirin jännite vastaa odotettua. Mittaus on hyvä suorittaa aurinkoisella säällä ja mittalaitteena käytetään yleismittaria tai muuta sopivaa mittaria.	Mitataan jokaisen paneeliketjun sekä paneeliston pääliitysmiskohdan jännite yleismittarilla.
	Paneeliketjun virran mittaus	Mittauksessa varmistetaan järjestelmän toimivuus ja varmistetaan että johdotuksissa ei ole merkittäviä vikoja. Mittaus tuloksia verrataan laskettuihin arvoihin sekä muihin ketjuihin jos järjestelmässä on niitä useampi. Virran arvo pitää olla $\pm 10\%$ lasketusta ja muitten paneelikejujen arvoista. Jos arvo jää alle voidaan arvoida sään vaikutuksia.	Varmistetaan että paneeliketjujen ovat erotettu toisistaan. Kytetään väliaikainen oikosulkukytkin, jolla mahdollista oikosulkea paneelikejua mittauksen ajaksi. Mitataan oikosulku virta oikosulkumittarilla tai pihtiampeerimittarilla. Avataan oikosulku kytkin ja varmita, että virta katekaa nollaan.
	Toiminnalliset testit	Tarkistetaan kaikki kytkin ja ohjauksilaitteet toimivat ja ovat asennettu oikein. Lisäksi tehonmuuntimen toiminta tarkistetaan.	Tehonmuuntimen testaus tulee suorittaa vasta, kun on varmistettu että vaihtojännitepuoli on todettu toimivaksi. Tehonmuuntimen testausmenetelmä tulisi olla tehonmuuntimen valmistaja määrittelemä.
	Paneeliston eristysresistanssin mittaus	Varmistetaan että järjestelmän ei ole vuotoja. Mittaus suoritetaan eristysvastusmittarilla	Eristysresistassi mitataan maan ja paneelistonkaapelin väliltä. Testijännite on 250 V jos paneelito jännite on <120 V, 500 V paneeliston jänniteen ollessa 120-500 V, 1000 V paneeliston jänniteen ollessa 500-1000 V ja 1500 V jos paneelito jännite on > 1000 V. Mittatuloksen pitää ylittää 0,5 M $\Omega$ jos testijännite 250 V, muulloin tuloksen pitää olla $\geq 1$ M $\Omega$ . Yli 10 kWp järjestelmissä mittauksia voidaan tehdä yksittäisille paneeliketjuille, jotta tulokset voidaan saavuttaa.
Kategoria 2	Paneeliketjun virranjännite-käyrän määrittäminen	Mittauksen avulla saadaan määritelty paneeliketjun suorituskyvyn tulokset. Mittauksissa mitataan virran ja jänniteen arvoja ajan jakson ajan, jolloin saadaan määriteltyä tehon huippuarvo. Mittaus tulee suorittaa kun paneeleihin kohdistuu vähintään 400 W/m <sup>2</sup> säteilyä. Mittaus suoritetaan virta-jännite-käyrä mittalaitteella. Saatuja tuloksia verrataan valmistajan ilmoittamiin arvoihin.	Mittalaitte kiinnitetään haluttuun paneeliketjuun, joka on irroitettu muista paneelista. Mittalaitteen säteily anturi kiinnitetään paneeliston pintaan jossa siihen kohdittu edustava säteily eikä se aiheuta varjostumia paneeliin. Mittalaitteen lämpötila anturi kiinnitetään paneelin alapuolelle keskelle kennoa, joka sijaitsee keskellä paneelia.
	Lämpökuvaukset	Lämpökuvauksella kartoitetaan paneelissa eroja lämpötiloista. Erova lämpötila indikoi viasta paneelissa. Mittauksessa käytetään infrapunalämpökameraa	Lämpökuvauksessa paneeliston tulisi olla normaalissa toimintatilassa. Säteily tulisi olla vähintään 400 W/m <sup>2</sup> ja sään vakaan. Ihanne olosuhteet säteilynosalta on 600 W/m <sup>2</sup> , jotta saadaan riittävän suuri virta joka saisi aikaan lämpötilan nousun viallisissa paikoissa
Täydentävät testit	Jännite maahan nähden	Tämä mittaus suoritetaan vain jos on käytetty paneelista, jossa maadoitus tehdään suuren resistanssin läpi. Paneelin valmistaja määrittää testin vaatimukset.	Mittaus suoritetaan paneelivalmistajan ohjeiden mukaan.
	Estodiiodi testi	Mittauksessa varmistetaan estodiiodin toimivuus ja kytkentä. Mittaus suoritetaan vain jos järjestelmässä on käytetty estodiodeja. Kaikki järjestelmässä käytetyt diodit on mitattava yleismittarilla tai muulla soveltuvalla mittarilla	Mittauksessa diodin jännitemittaus sen navoista paneeliston ollessa normaalissa toimintatilassa. Hyvyksuttu mittaus tulos on 0,5 V - 1,65 V.
	Eristysresistanssin mittaus määrittämisessä olosuhteissa	Mittauksessa käytetään pääsääntöisesti vikojen paikantamiseen. Mittauksessa mitataan paneelien eristysresistanssi kun ne ovat märkiä. Mittaus suoritetaan jos kuivamittauksen tulokset ovat epämääräisiä tai epäillään vikaa.	Mittaus suoritetaan kuivan mittauksen tavoin. Erona ainoastaan että paneelisto kastellaan kautaltaan. Mittaus kannattaa tehdä kahdestaan, jotta paneelit eivät pääse kuivumaan. Lisäksi on olava huolellinen sillä mittauksessa on sähköisku vaara.
	Varjojen arviointi	Varjojen arvioinnissa kirjataan muistiin varjojen esiintymien ajankodat.	Kirjataan muistiin varjon paikka, ilmansuunta, ja mahdolliset varjojen aiheuttajat. Kerätään tietoja jos varjot alkavat tuottaa ongelmia.

## 3.6 Huolto

Huolto toimenpiteet ovat aurinkosähköjärjestelmissä vähäisiä ja yksinkertaisia, eivätkä ne vaadi mitään virallista vuosi huoltoa. Ainoat huoltotoimen ovat paneelien puhdistaminen tarvittaessa, liitoksien ja akun tarkistaminen ja puhdistaminen. Paneelien puhdistamien tarve tulee vain, jos sateen tuoma puhdistus on vähäistä tai paneelien pinnalle kertyy musta syistä likaa kuten pölyä tai linnunjätöksiä. Paneelit voidaan puhdistaa käyttäen tavallista tiskinpesuainetta ja mikrokuituliinaa. Akkujen tarkistamisessa kannattaa tarkalla kertykö akun napoihin hapettumia tai vuotaako akusta akku nesteitä. Jos akut vuotavat on syytä harkita niiden vaihtamista sille ne voivat olla vioittuneita. Akun jännitettä kannattaa kanssa tarkkailla ja pitää kirjaa, jotta voidaan tarkastella niiden kuntoa. Akkujen ollessa käyttämättömänä, ne olisi hyvä ladata täyteen varastoinnin aikana, jotta syväpurkausta ei tapahdu, mikä heikentää niiden ikää. (Pete, 2009)

#### 4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli koota tietoja aurinkosähköjärjestelmien asentamisesta, jotta työn lukija saa tarvittavat tiedot niiden asentamiseksi. Työssä on esitelty ja selitetty, mistä järjestelmä koostuu ja kuinka eri komponentit toimivat siinä. Asiat on esitetty niin, että ne täyttävät nykyiset standardit sekä kerätty materiaali perustuu niihin. Työn tavoitteena oli antaa keskeiset tiedot järjestelmien toimivuudesta ja niitten asentamisesta. Näitten tietojen pohjalta soveltaminen ja lisätiedon hankkiminen helpottuu.

Työn tekeminen antoi hyvän ymmärryksen aurinkosähköjärjestelmistä itselleni sekä toimeksiantajalle tarvittavat tiedot, joiden avulla voidaan antaa neuvoja ja ohjeita asiasta kiinnostuneille. Tiedon kerääminen ja standardin tulkitsemisessa oli joitain haasteita aiheen ollessa suhteellisen uusi. Esimerkiksi standardissa on joitain kohtia, jotka on määritelty laitevalmistajan vastuulle. Tämän lisäksi tämänhetkiset standardit perustuvat muitten maiden aineistoihin asiasta, ja uskon suomalaisen standardin kehittyvän paremmin sopeutumaan suomalaisiin olosuhteisiin järjestelmien yleistyessä.

Aurinkosähköjärjestelmien asentaminen on tehty helpoksi hyvin valmiiden komponenttien ansiosta, koska järjestelmän toiminnan hallinta on tehonmuuntimen varassa. Järjestelmän asentaminen hyvin pitkälti paneeliston, kiinteistön sähkökeskuksen sekä sähköverkon tai akun liittämistä tehonmuuntimeen. Ongelma kohtia asennuksissa voi tulla, jos paneeleille ei löydy sopivaa asennus kohtaa, mikä voi lisätä kustannuksia tai olla este koko järjestelmälle. Suuremmissa järjestelmissä tulee olla hyvin tarkkana vaadittujen suojalaitteiden määrästä sekä kaapelointia koskevista määräyksistä. Näitten suojalaitteiden sijainnin, määrän ja tyyppin selvittäminen on hyvin haastavaa ja aikaa vievää usean standardissa määritetyn rajapinnan johdosta. Järjestelmän kannattavuus on hyvin riippuvainen, minne järjestelmän asentaa, sillä nykyiset mökkipaketijärjestelmät ovat jopa edullinen tapa saada sähkö kiinteistöön, missä ei ole sähköverkko liittymää. Toisaalta verkonnalla toimivat järjestelmät ei välttämättä vielä edes maksa itseään takaisin niiden eliniän aikana. Kaiken kaikaan aurinkosähkö järjestelmät ovat hyvä tapa vähentää kiinteistön sähkön kulutuksessa koituvia kustannuksia. Kanssa järjestelmät antavat toisen hyvän vaihtoehdon kiinteistön sähköistyksellä, jota ei ole aikaisemmin liitetty yleiseen sähköverkkoon.

## LÄHTEET

- Aurinkovirta. (06. 02. 2021). *Aurinkovirta*. Haettu 18. 02. 2021 osoitteesta  
<http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>
- electroTori. (12. 2. 2021). *electro Tori*. Noudettu osoitteesta Aurinkosähköjärjestelmän asennusohje:  
<https://www.electrotori.net/page/3/aurinkosahkojarjestelman-asennusohje>
- Hager. (23. 12. 2011). <https://www.utu.eu>. Haettu 26. 2. 2021 osoitteesta Ukkos- ja ylijännitesuojat:  
<https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/ylijannitesuojat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>
- Heikkilä, T. (7. 6. 2019). *Energiäteollisuus*. Haettu 4. 3. 2021 osoitteesta Energiaverkot:  
[https://energia.fi/files/3887/tekninen\\_liite\\_1\\_-\\_enintaan\\_100\\_kVA\\_PAIVITETTY\\_20190607.pdf](https://energia.fi/files/3887/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kVA_PAIVITETTY_20190607.pdf)
- Kuopion Sähköverkko Oy. (1. 12. 2015). *Kuopion Sähköverkko*. Haettu 2021. 3. 4 osoitteesta SÄHKÖN  
 PIENTUOTANNON LIITTÄMINEN SÄHKÖVERKKOON: <https://kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2016/02/S%C3%A4hk%C3%B6n-pientuotannon-liitt%C3%A4minen-s%C3%A4hk%C3%B6verkkoon.pdf>
- Lehto, I.;Liuksiala, L.;Lähde , P.;Olenius, M.;Orrberg, M.;& Ylinen, M. (2017). *ST-käsikirja 40*. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Niemeläinen, J. (2020). Aurinkopaneelit pienen rivitalon katolla. *17,1 kWp aurinkovoimala*. Sähköasennus  
 Sähkömestarit Oy, Kuopio. Haettu 10. 03. 2021 osoitteesta  
<https://www.sahkoasennusmestarit.fi/referenssit/>
- Pete. (5. 1. 2009). *Aurinkosähkö.fi*. Haettu 25. 3. 2021 osoitteesta Huolto.
- Sesko ry. (2017). *SFS-käsikirja 600-1-1*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Sesko ry. (2017). *SFS-käsikirja 600-1-2*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Sesko ry. (2019). *SFS-käsikirja 607:2019*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Suntekno. (15. 04. 2010). *suntekno.bonsait*. Haettu 12. 02. 2021 osoitteesta  
<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- Tukes. (20. 8. 2020). *tukes.fi*. Haettu 24. 02. 2021 osoitteesta Aurinkosähköjärjestelmät:  
<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>
- Yleiselektroniikka. (09. 08. 2018). *Yleiselektroniikka*. Haettu 28. 02. 2021 osoitteesta  
<https://www.yeint.fi/uutiset/lyijyakun-hyodyt>



## LIITE 1: MIKROTUOTANTOLAITOKSEN YLEISTIETOLOMAKE

**MIKROTUOTANTOLAITTEISTON YLEISTIETOLOMAKE**

Tällä lomakkeella asiakas voi ilmoittaa verkonhaltijalle tiedot sähköverkon kanssa rinnan käyvän nimellisteholtaan enintään 50 kVA tuotantolaitteiston liittämistä varten

Lomakkeen voi täyttää asiakas itse tai sen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle

**1. YHTEYSTIEDÖT**

Tuotantolaitteiston haltija		Puhelinnumero
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Tuotantolaitteiston osoite (sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero	Käyttöpaikan pääsulakekoko	
Yhteyshenkilö		Puhelinnumero

**2. TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDÖT**

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Vesi	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliittälaitteen valmistaja		Verkkoonliittälaitteen malli		
Tuotantolaitteiston nimellisteho	kVA	Tuotantolaitteiston syöttämä enimmäisvikavirta	A	
Laitteiston kytkentä	<input type="checkbox"/> Kolmivaiheinen	<input type="checkbox"/> Yksivaiheinen, merkitse vaihe	<input type="checkbox"/> L1	<input type="checkbox"/> L2 <input type="checkbox"/> L3

**3. TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDÖT**

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset mukaan lukien verkkoonliittälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymsajat (valitse seuraavista vaihtoehdoista)

<input type="checkbox"/> Energiateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1	<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimusdokumentti VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)
<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset	<input type="checkbox"/> Muu, mikä? (täytä osio 3.1.)

**3.1. Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymsajat**

(Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3. vaihtoehdon Muu, mikä? )

Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojaus 1			Ylitaajuussuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*			Ylitaajuussuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1			Alitaajuussuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*			Alitaajuussuojaus 2*		
* jos on					
Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumisaika verkkojännitteen palauduttua					s
Saarekekäytönestosuojauksen toteutustapa ja toiminta-aika					
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty					

**3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen**

<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkkonhaltijalla on esteetön pääsy
Erotuskytkimen sijainti
<input type="checkbox"/> Liittymän pääkeskuksella on varoituskyltti takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle

**4. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT**

(urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Sähköposti		
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	

**5. LIITTEET JA LISÄTIEDOT**

Tätä lomaketta täydentää	liitettä (liitteiden lukumäärä)
Lisätietoja	