



Aapo Lindqvist

# Aurinkosähköjärjestelmien kunnos- sapito

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

29.3.2022

# Tiivistelmä

Tekijä: Aapo Lindqvist  
Otsikko: Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapito  
Sivumäärä: 44 sivua  
Aika: 29.3.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Energia- ja ympäristötekniikka  
Ammatillinen pääaine: Energiantuotantomenetelmät  
Ohjaajat: Lehtori Tomi Hämäläinen  
Maajohtaja Veli-Matti Heimonen

---

Aurinkosähköjärjestelmien määrä Suomessa kasvaa nopealla vauhdilla. Suomessa aurinkosähköala on markkinana uusi ja tämä tuo mukanaan osaltaan sekä mahdollisuuksia että haasteita. Aurinkosähköjärjestelmiä on Suomessa aiemmin markkinoitu vapaahuoltoisina, vaikka järjestelmät ovat sähköntuotantolaitoksia ja muilla markkinoilla huoltotoimintaan on jo olemassa vakiintuneet käytännöt ja toimintamallit. Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapito sisältää useita eri osa-alueita, joilla pyritään kokonaisuutena varmistamaan järjestelmien turvallinen ja tuottava toiminta koko elinkaaren ajan.

Työn tavoitteena oli selventää aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon tarpeen laajuutta ja millaisia toimenpiteitä järjestelmien kunnossapito sisältää, sekä kuinka erilaiset teknologiat vaikuttavat aurinkosähköjärjestelmien kunnossapitotoimintaan. Työ tehtiin Solnet Finland Oy:n toimeksiannosta tavoitteena tarkentaa ohjeistuksia aurinkosähköjärjestelmien huoltotoimintaan.

Työ toteutettiin perehtymällä laaja-alaisesti aiheeseen liittyvään materiaaliin sekä standardien että muiden aurinkosähköalan suositusten kautta. Teorian lisäksi työssä tehtiin kohdekäyntejä liittyen aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon käytännön työtehtäviin osana yrityksen toimeksiantoa. Kohdekäyntien työvaiheet on selostettu työssä.

Työn tuloksena on kohdekäyntien ja teorian muodostama kokonaisuus aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon eri osa-alueista. Kokonaisuuden lisäksi työssä käsiteltiin eri teknologioiden vaikutusta aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon toimintaan. Työn pohjalta on mahdollista luoda tarkennuksia yrityksen aurinkosähköjärjestelmien huoltotoimintamateriaaleihin.

Avainsanat: aurinkosähkö, kunnossapito, vaihtosuuntaaja

## Abstract

Author: Aapo Lindqvist  
Title: The Maintenance of photovoltaic systems  
Number of Pages: 44 pages  
Date: 29 March 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Technology  
Professional Major: Energy Production Technologies  
Supervisors: Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer  
Veli-Matti Heimonen, Chief Operating Officer

---

The photovoltaic (PV) installations in Finland are growing at a rapid rate. The PV market in Finland is relatively new and with this comes both opportunities and challenges. In Finland, the PV systems have been marketed as free of maintenance even though the systems are power production facilities and in other solar markets there are already established best practices and operating models for PV maintenance. The maintenance of solar systems comprises many sub-categories, and as a whole the maintenance of the PV systems is meant to ensure the safe and productive use of the systems throughout their life cycle.

The aim of this thesis was to clarify the maintenance need of the PV systems and to find what kind of measures the maintenance activities comprises and how different technologies affect the maintenance of PV systems. The thesis was commissioned by Solnet Finland Oy and the aim was to clarify the instructions of the company's PV maintenance activities.

The thesis was conducted by widely researching the material related to the scope of this thesis from the point of view of applicable standards and other recommendations of the PV industry. In addition to the theory there were also site visits related to the practical work tasks of PV system maintenance, as commissioned by the company. The results of the site visits are reported in the thesis.

The result of this thesis is a whole that comprises theory and site visits. In addition to this, the effect of different technologies to the maintenance activities was studied. On the basis of this thesis, it is possible to form more accurate descriptions of the company's PV system maintenance materials.

Keywords: photovoltaics, maintenance, inverter

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähköjärjestelmä	2
2.1	Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate	2
2.2	Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ja osat	3
2.2.1	Sähkökeskus	3
2.2.2	Vaihtosuuntaaja	4
2.2.3	String-combiner	5
2.2.4	Paneeliketju	5
2.2.5	Aurinkosähköpaneeli	6
2.2.6	Paneelitason elektroniikka	6
2.2.7	Kaapelointi ja liittimet	8
2.2.8	Turvakytkimet	8
2.2.9	Asennusmekaniikka	9
3	Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapito	10
3.1	Ehkäisevä kunnossapito	11
3.1.1	Aistinvarainen tarkastus	11
3.1.2	Mekaaninen tarkastus ja testaus	12
3.1.3	Mittaukset	13
3.2	Korjaava kunnossapito	14
3.3	Ennakoiva kunnossapito	15
3.3.1	Etävalvontajärjestelmä	15
3.3.2	Auringon säteilyn mittaus	16
3.3.3	Mittauslaitteisto	17
4	Kohdekäynnit	18
4.1	Vuositarkastuskäynti	18
4.2	Aurinkosähköjärjestelmän eristysvika	27
4.2.1	Eristysvika	27
4.2.2	Vianselvitys	28
4.3	Aurinkopaneelien tehopoikkeamat	32

4.3.1	Aurinkopaneelien takuut	32
4.3.2	Datan analysointi	33
5	Yhteenveto	38
	Lähteet	41

## Lyhenteet

- AC: *Alternative current*. Vaihtosähkövirtaa kuvaava lyhenne.
- DC: *Direct current*. Tasavirtaa kuvaava lyhenne.
- kVA: Kilovolttiampeeri. Näennäistehon yksikkö. Aurinkosähköjärjestelmien vaihtosuuntaajien teho ilmoitetaan usein kilovolttiampeereissa.
- kWp: *kilowatt-peak*. Aurinkosähköjärjestelmän tai aurinkopaneelin nimellistehoa kuvaava termi.
- MPPT: *Maximum power point tracking*. Maksimitehopisteen seuraaja on aurinkosähköjärjestelmissä säätöyksikkö, jolla ohjataan paneelien toimintajännitettä.
- PV: *Photovoltaics*. Lyhennettä käytetään yleisesti alalla kuvaamaan aurinkosähköä englanninkielisessä materiaalissa.
- RSD: *Rapid shutdown*. Yhdysvaltojen NEC-sähköstandardista vakiintunut käsite aurinkosähköjärjestelmän aurinkopaneelien jännitteiden laskemiseen tarkoitetusta ominaisuudesta.
- STC: *Standard Test Conditions*. Aurinkopaneelin nimellisteho ja muut suureet ilmoitetaan aina STC-arvoina, eli paneelin suureet ovat arvojen mukaiset standarditestiolosuhteissa.

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidossa huomioon otettavia asioita. Työn tarkoituksena on selventää aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon tarpeen laajuutta, mitä toimenpiteitä kunnossapito sisältää ja miten erilaiset teknologiat vaikuttavat aurinkosähköjärjestelmien kunnossapitoon. Opinnäytetyö on tehty Solnet Finland Oy:lle, ja työn pohjalta on tavoitteena tehdä yritykselle tarkemmat kunnossapidon ohjeistukset aurinkosähköjärjestelmien huoltotoimintaan.

Suomessa aurinkosähköjärjestelmiä on markkinoitu melko vapaahuoltoisina, vaikka muualla maailmalla aurinkovoimaloihin liittyvät kunnossapidon käytännöt ovat jo hyvin vakiintuneita ja on ymmärretty aurinkosähköjärjestelmien riskit niiden vikaantuessa. Kiinteistöihin asennetuissa aurinkosähköjärjestelmissä riskit ovat huomattavasti suurempia, koska mahdollisessa vikatilanteessa riski kohdistuu koko kiinteistöön, eikä vain aurinkosähköjärjestelmään. Maailmalla ja Suomessa on nähty aurinkosähköjärjestelmien tulipaloja, jotka ovat vaikutusasteiltaan vaihdelleet koko kiinteistön laajamittaiseen palamiseen tai pieneen paloon aurinkosähköjärjestelmässä. Tällaisten tapahtumien vaikutukset näkyvät melko hitaasti esimerkiksi standardien tai lakien näkökulmasta mutta nopeammin alan toimijoiden ja vakuutusyhtiöiden kautta. [1; 2.]

Aurinkosähköjärjestelmien riskienhallintaan liittyy olennaisena osana järjestelmien säännöllinen kunnossapito yhdessä muiden toimenpiteiden kanssa. Lisäksi säännöllisellä kunnossapidolla pyritään takaamaan asiakkaalle aurinkosähköjärjestelmällä tavoiteltava taloudellinen hyöty. On arvioitu, että globaalisti noin 5 % aurinkosähkön tuotannosta jää saamatta sen takia, että käytössä olevilla aurinkosähköjärjestelmillä ei ole riittävää valvontaa ja kunnossapitoa. [3.]

Suomessa tapahtuneet aurinkosähköjärjestelmien tulipalot ja toimialan uutuus sekä nopea kasvu Suomessa antavat hyvän lähtökohdan tuoda aiheetta enemmän esille tämän työn kautta. Työssä perehdytään aiheeseen standardien ja

alan yleisten suositusten kautta sekä tehdään käytännön huoltotoimenpiteitä ja mittauksia toiminnassa oleville aurinkosähköjärjestelmille. Lisäksi käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate ja sen pääkomponentit.

## 2 Aurinkosähköjärjestelmä

Auringon säteilyä voidaan hyödyntää lämpöenergiana tai muuntamalla säteilyenergiaa sähköksi. Auringon säteilyn muuntaminen sähköksi vaatii aurinkokennoja, joista kootaan tasavirtaa tuottavia moduuleita eli aurinkopaneeleita. Auringon säteilyn mittauksessa yksikkönä käytetään wattia per neliometri ( $W/m^2$ ).

Koko maailman kumulatiivinen asennettu aurinkosähkökapasiteetti vuoden 2020 loppuun mennessä oli lähes 800 gigawattia. Globaalista seitsemän terawatin kokonaissähköntuotantokapasiteetista tämä on noin 10 %. [4.]

Aurinkosähköala on Suomessa melko uusi ja vasta 2010-luvulla aurinkosähköjärjestelmiä alettiin rakentamaan laajamittaisesti Suomessa mm. kaupan alan yritysten ja kiinteistösijoittajien toimesta. Aurinkosähkön pientuotanto on kasvanut vuosien 2016–2020 aikana kymmenkertaisesti. Pientuotannolla tarkoitetaan alle yhden megawatin tuotantolaitoksia. Valtaosa Suomen verkkoon kytketystä aurinkosähkötuotannosta koostuu pientuotannosta. Verkkoon kytkettyä aurinkosähkökapasiteettia oli Suomessa vuoden 2020 loppuun mennessä 293 megawattia, joka on noin 0,4 prosenttia Suomen kokonaissähköntuotantokapasiteetista. [5.]

### 2.1 Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate

Yleisimmät aurinkokennot käyttävät kahta eri puolijohdemateriaalia, jotka muodostavat kennossa PN-liitoksia, eli negatiivisesti ja positiivisesti varautuneita elektrodipareja. Kahden eri puolijohteen väliin syntyy auringon säteilyn positiivisesti varautuneiden fotoneiden takia elektroniaukkopareja, ja koska elektronit voivat liikkua vain N-puolelta P-puolelle, voidaan elektrodien väliin kytkeä



kuorma, jolloin syntyy tasasähkövirtapiiri. Kennojen rakentamisen materiaalina käytetään tyypillisesti piitä, johon sekoitetaan muita alkuaineita, kuten booria ja arseenia. [6.]

Aurinkokennot kootaan aurinkopaneeleiksi ja useasta aurinkopaneelistä kytketään paneeliketju joko sarjaan- tai rinnankytkennällä. Paneelit kytketään lähes aina sarjaan siksi, että paneeliketjun jännite saadaan korkealle ja virta mahdollisimman alhaiseksi, jolloin voidaan käyttää ohuempia kaapeleita paneeliketjun tehon siirtoon. Paneeliketjut taas kytketään vaihtosuuntaajaan, joka muuntaa paneelien tuottaman tasasähkön (DC) verkkosähkökelpoiseksi vaihtosähköksi (AC).

## 2.2 Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ja osat

Aurinkosähköjärjestelmän sähkötekniikka koostuu aurinkopaneeleista, erilaisista optimointi- ja suojalaitteista, vaihtosuuntaajista, kaapeloinneista ja sähkökeskuksista. Sähköpuolen komponenttien lisäksi aurinkopaneelit vaativat asennusmekaniikkaa eli kaapelointitiet ja paneelien asennustelineet ja kiinnikkeet.

Aurinkosähköjärjestelmät ovat joko verkkoon kytkettyjä tai verkkoon kytkemättömiä järjestelmiä. Tässä työssä keskitytään ainoastaan verkkoon kytkettyihin järjestelmiin, koska ne muodostavat valtaosan aurinkosähkökannasta. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä tarkoittaa sitä, että se on kytketty yleiseen valtakunnan sähköverkkoon ja vaihtosuuntaaja tahdistaa itsensä sähköverkon mukaan, kun taas verkkoon kytkemättömät eli *off-grid*-järjestelmät toimivat itsenäisesti yhdessä esimerkiksi dieselgeneraattorin kanssa eivätkä vaadi verkkoon tahdistumista.

### 2.2.1 Sähkökeskus

Aurinkosähköjärjestelmät kytketään aina kiinteistön sähkökeskukseen tai keskuksiin. Suuremmissa järjestelmissä vaihtosuuntaajilta viedään AC-kaapelointi

erilliseen aurinkosähkön koontikeskukseen, josta kaapelointi on yksinkertaisempi viedä eteenpäin kiinteistön sähkökeskukseen. Sähkökeskuksessa on usein vaihtosuuntaajan vaihtosähköpuolen suojalaitteet tarpeellisuuden mukaan eli vikavirtasuojat, ylivirtasuojat ja ylijännitesuojat.

### 2.2.2 Vaihtosuuntaaja

Aurinkosähkölajitelmissä vaihtosuuntaajan tarkoitus on muuntaa aurinkopaneelien tuottama tasasähkö verkkosähkökelpoiseksi vaihtosähköksi. Verkkoon kytkettyjä vaihtosuuntaajia voi olla yksivaiheisia tai kolmivaiheisia. Isommissa järjestelmissä käytetään useimmiten kolmivaiheisia vaihtosuuntaajia, mikä tarkoittaa sitä, että sähköä tuotetaan kaikille kolmelle eri vaiheelle sähköverkkoon. Hyötynä kolmivaiheisessa vaihtosuuntaajassa on se, että sähköverkkoon ei tule epätasaisuutta eri vaiheiden kuormitukselle ja yksittäisen vaihtosuuntaajan teho saadaan korkeammaksi, kuin yksivaiheisen vaihtosuuntaajan. [7.]

Suurin osa nykyaikaisista vaihtosuuntaajista on muuntajattomia, eli vaihto- ja tasasähköpuolella ei ole sähköistä erotusta ja tasasähkön muuntaminen vaihtosähköksi tehdään elektronisesti. Hyötynä muuntajattomissa vaihtosuuntaajissa on se, että ne ovat huomattavasti pienempiä ja kevyempiä ja niissä on parempi hyötysuhde, kuin muuntajallisissa vaihtosuuntaajissa. Huonona puolena muuntajattomissa vaihtosuuntaajissa on se, että järjestelmän maadoittamiseen ja suojaukseen tarvitaan lisäteknologiaa ja erityisvaatimuksia, koska järjestelmä ei ole tasasähköpuolelta toiminnallisesti maadoitettu. [8;9.]

Vaihtosuuntaaja sisältää usein myös muuta vaadittavaa teknologiaa, kuten maksimitehopisteen seuraajat. Maksimitehopisteen seuraajien tarkoituksena on ohjata tasasähköpuolen eli aurinkopaneelien jännitettä ja virtaa optimaalisen hyötysuhteen saavuttamiseksi eri säteilyolosuhteissa. Maksimitehopisteen seuraajia voi olla vaihtosuuntaajassa useita. [10.]

Suurin osa kotitalous- ja teollisuuskäyttöön tarkoitetuista aurinkosähköjärjestelmistä ovat String-invertterijärjestelmiä. String-invertterijärjestelmissä aurinkopaneeleita kytketään sarjaan muodostaen stringejä eli paneeliketjuja. Paneeliketjut taas puolestaan kytketään vaihtosuuntaajan eli invertterin DC-sisääntuloihin. String-inverttereissä tasasähköpuolen maksimitehopisteen seuraajat sijaitsevat invertterissä ja ohjaavat yleensä 1–25 paneeliketjua. String-invertterin koko eli sen nimellisteho vaihtelee noin yhdestä kilowatista 250 kilowattiin. [10.]

### 2.2.3 String-combiner

*String combiner* on aurinkosähköjärjestelmien tasasähköpuolella käytettävä DC-koontikeskus. DC-koontikeskuksen avulla voidaan tarvittaessa yhdistää useampi paneeliketju kytkemällä ne koontikeskuksessa rinnan. DC-koontikeskuksen tarkoituksena on vähentää vaihtosuuntaajalle vietävien kaapelien määrää yhdistämällä paneeliketjut keskenään lähellä aurinkopaneelien fyysistä sijaintia esimerkiksi kiinteistön katolla. Koontikeskukseen voidaan myös lisätä tarvittaessa suoja- ja seurantalaitteita, kuten sulakkeita tai ylijännitesuojia. [11.]

### 2.2.4 Paneeliketju

Aurinkosähköjärjestelmissä paneelit kytketään usein sarjaan eli muodostetaan paneeliketjuja. Yhden paneeliketjun kokoluokka on noin 10–40 paneelia riippuen järjestelmästä. Sarjaankytkennässä paneeliketjujen virta saadaan pysymään maltillisena, kun taas jännite nousee esimerkiksi 20 paneelin ketjussa tyypillisesti noin 800–1 000 volttiin tasasähköä. Korkea jännite ja alhainen virta mahdollistavat ohuempien kaapelien käytön. Paneeleissa ja paneeliketjuissa käytettävät kuparikaapelit ovat tyypillisesti halkaisijaltaan 4 mm<sup>2</sup> tai 6 mm<sup>2</sup>. (12;13.)

Paneeliketjujen pituus määrittyy pitkälti vaihtosuuntaajan ominaisuuksien perusteella eli siitä millainen maksimitehopiste eli MPPT-käyrä vaihtosuuntaajalla on.

MPPT-käyrällä tarkoitetaan vaihtosuuntaajan hyötysuhteen ja MPPT-jännitealueen suhdetta. Vaihtosuuntaajalla on siis tietyllä jännitealueella paras hyötysuhde. [12.]

### 2.2.5 Aurinkosähköpaneeli

Aurinkosähköpaneelissa on koottu järkevään muotoon usea aurinkokenno ja kennoille on rakennettu kestävä tukirakenne, niin että aurinkopaneelia voidaan hyödyntää järkevästi. Yleisimmät käytettävät aurinkopaneelit ovat kokoluokaltaan noin 1,5–2 neliometriä. Yksittäisen aurinkopaneelin hyötysuhde on kasvanut merkittävästi lähivuosina teknologian kehittyessä. Tällä hetkellä uusien aurinkopaneelien hyötysuhteet ovat noin 20 %. Hyötysuhde tarkoittaa sitä, kuinka suuri osa aurinkopaneeliin kohdistuvasta säteilystä pystytään muuntamaan sähköksi. Esimerkiksi jos 20 %:n hyötysuhteen omaavaan kahden neliömetrin kokoiseen paneeliin kohdistuu  $1000 \text{ W/m}^2$  säteily, paneelin piikkiteho on 400 wattia. [13.]

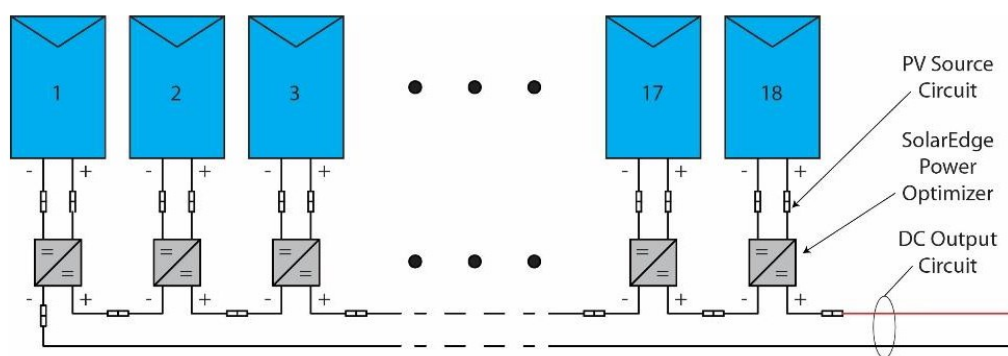
### 2.2.6 Paneelitason elektroniikka

Paneelitason elektroniikalla tarkoitetaan aurinkopaneeleihin tai paneelipareihin kytkettäviä laitteita. Laitteiden tarkoituksena on tuoda aurinkosähköjärjestelmään lisää ominaisuuksia esimerkiksi turvallisuuden, seurannan tai tehontuotannon kannalta. Paneelitason elektroniikalla toteutetaan esimerkiksi Yhdysvaltojen NEC 2017-säädöksen vaatimus aurinkosähköjärjestelmän hätäkatkaisusta eli RSD-ominaisuudesta. [14.]

Aurinkopaneelin toimintaperiaatteen takia aurinkosähköjärjestelmiä ei voida kokonaan sammuttaa ilman paneelitason elektroniikkaa, koska paneelit ovat aina jännitteisiä valoisan aikaan. RSD-vaatimus tarkoittaa sitä, että aurinkosähköjärjestelmässä aurinkopaneelien jännitteet täytyy saada laskettua turvalliselle tasolle esimerkiksi palokuntaa varten. [14;15.]

Yleisimmin käytetyt paneelitason elektroniikkalaitteet ovat virranoptimoijat ja mikroinvertterit. Mikroinvertterijärjestelmässä aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön muuntaminen vaihtosähköksi tapahtuu paneelitasolla. Yhteen mikroinvertteriin kytketään vain yksi paneeli. Mikroinvertteri pitää sisällään AC/DC-muuntajan ja maksimitehopisteen seuraajan. Mikroinvertterijärjestelmissä ei esiinny aurinkosähköjärjestelmille tyypillisiä korkeita tasasähköjännitteitä, ja mikroinvertterijärjestelmät ovat siksi yksi turvallisimmista vaihtoehdoista. [2.]

Virran optimoijat ovat DC-DC-muuntajia, jotka kytketään yksittäisiin paneeleihin tai paneelipareihin. Virranoptimoijat voivat myös olla integroituna itse paneeliin. Jokaisessa virran optimoijassa on oma maksimitehopisteen seuraaja, joka mahdollistaa yksittäisten paneelien tai paneeliparien ohjauksen itsenäisenä yksikönä. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen paneeli toimii optimaalisella jännitteellä ja virralla olosuhteisiin nähden. Virranoptimoijat kytketään sarjaan ja virranoptimoijaketjut kytketään vaihtosuuntaajan DC-sisääntuloihin (kuva 1). Virran optimoijilla varustetussa aurinkosähköjärjestelmässä poikkeavasti vaihtosuuntaajassa ei siis ole maksimitehopisteen seuraajia, vaan ne sijaitsevat suoraan aurinkopaneeleissa. Virran optimoijat mahdollistavat myös sen, että aurinkosähköjärjestelmän jännitteet saadaan laskettua turvalliselle tasolle myös tasasähköpuolella. [16.]



Kuva 1. Virranoptimoijien kytkentäkaavio.

### 2.2.7 Kaapelointi ja liittimet

Aurinkosähköjärjestelmän tasasähköpuolella on suuri määrä liitoksia ja kaapelointia johtuen aurinkosähköjärjestelmän perusrakenteesta. Yksittäiset paneelit kytketään toisiinsa ja paneeliketjut kytketään invertteriin tai dc-koontikeskukseen, ja koska yksittäisen paneeliketjun pituus on rajallinen, niin suuremmissa järjestelmissä on kymmeniä tai satoja paneeliketjuja.

DC-liitoksissa käytetään useimmiten MC4-nimikkeellä olevia aurinkosähköliittimiä, jotka kestävät sääolosuhteet ja korkean 1000 tai 1500 voltin tasasähköjännitteen. Aurinkosähköjärjestelmissä suositellaan standardin SFS 6000-7-712:2017 mukaan käytettäväksi saman tyyppin ja valmistajan liittimiä keskenään. [17;18]

Standardeissa SFS 6000-7-712:2017 ja SFS-EN 50618:en on määritelty aurinkosähköjärjestelmässä käytettävien tasasähköjohtimien ominaisuudet. Johtimien tulee olla metallivaipattomia kaksoiseristettyjä yksijohdinkaapeleita. Lisäksi johtimia ei saa asentaa esimerkiksi suoraan kiinteistön vesikattoon vaan ne vaativat suojauksen. Standardin SFS-EN 50618 mukainen aurinkosähkökaapeli on luokiteltu erikseen esimerkiksi H1Z2Z2-K-tyyppimerkinnällä. [19.]

### 2.2.8 Turvakytkimet

Standardin SFS 6000-7-712:2017 mukaisesti aurinkosähköjärjestelmä tulee pystyä mekaanisesti erottamaan sekä vaihto- että tasasähköpuolelta. Tähän tarkoitukseen käytetään AC- ja DC-turvakytkimiä. Lisäksi nykyisten suositusten mukaan järjestelmällä tulisi olla yksittäinen erotuspiste tai niin sanottu hätäkatkaisu, josta koko järjestelmä saadaan tarvittaessa sammutettua esimerkiksi palotilanteessa. [18;20.]

On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon se, että jos aurinkosähköjärjestelmässä ei ole käytetty paneelitasen elektroniikkaa, jolla yksittäisiä paneeleita tai paneelipareja pystytään ohjaamaan, tasasähköpiireihin jää vaarallisen korkea jännite

aina valoisan aikaan. Tämä johtuu siitä, että aurinkopaneelit tuottavat aina valoisan aikaan jännitettä, vaikka paneelit olisi erotettu mekaanisesti vaihtosuuntaajasta.

### 2.2.9 Asennusmekaniikka

Aurinkopaneelit asennetaan yleisesti joko kiinteistöihin tai maahan. Kiinteistössä aurinkopaneelit sijaitsevat yleensä kiinteistön katolla tai vaihtoehtoisesti ulkoseinässä. Suuri osa Suomen aurinkosähkökannasta on asennettu kiinteistöihin. Kattoasennuksia tehdään sekä vino- että tasakatoille. Asennusmekaniikka on pääsääntöisesti alumiinia tai terästä. [21;22.]

Tasakatoille rakennettavat aurinkosähköjärjestelmät ovat yleensä niin sanotusti kelluvia järjestelmiä eli vesikatteeseen ei tehdä läpivientejä, vaan mekaniikka asennetaan kelluvasti katon pintaan ja pysyvyys varmistetaan painoilla. Vinokattoasennuksissa katon materiaalista riippuen järjestelmä voidaan asentaa ilman vesikatteen läpäiseviä kiinnityksiä tai sitten kiinnityksessä joudutaan läpäisemään vesikate, kuten esimerkiksi huopakaton tapauksessa. [23.]

Aurinkopaneelien asennuskulma tasakatoille asennettavissa järjestelmissä on tyypillisesti 10 ja 30 asteen välillä. Korkeammat kulmat luovat niin ison varjostuman eri paneelirivien välillä ja aiheuttavat suurempaa tuulikuormaa, ettei sitä ole järkevää toteuttaa kiinteistöihin asennettavissa aurinkosähköjärjestelmissä, missä asennuspinta-alan merkitys ja painokuormat korostuvat. [24.]

Aurinkosähköjärjestelmät asennetaan joko etelä- tai itä-länsi-suuntauksella. Etelään suunnattuna saadaan aurinkopaneelilta korkeampi piikkiteho ja paneeli-kohtainen tuotto. Itä-länsi-suuntauksella saadaan taas niin sanotusti matalampi tuotto profiili eli piikkiteho on hieman matalampi, mutta aamuisin ja iltaisin itä-länsi-suuntaus tuottaa paremmin. Itä-länsi-suuntauksella saadaan myös laajempi tuotanto pinta-ala käyttöön, koska itään ja länteen suuntautuvat paneelit eivät varjosta toisiaan ja voivat siis olla lähes kiinni toisissaan kuvan 2 mukaisella tavalla. [25.]



Kuva 2. Aurinkopaneeliasennus itä-länsi suuntauksella.

### 3 Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapito

Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon standardi SFS-EN 62446-2:2020 on tuorein standardijulkaisu liittyen aurinkosähköjärjestelmiin. Standardissa on kuvattu hyvin aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon eri osa-alueita, ja standardista löytyy myös tarkempia ohjeistuksia muun muassa aurinkosähköjärjestelmien mittaustoimenpiteisiin ja vianhakuun. SFS-EN 62446-2:2020 on yksi ensimmäisistä aurinkosähköön liittyvistä standardijulkaisuista, jossa on otettu huomioon uusien teknologioiden tuomia hyötyjä ja muutoksia liittyen esimerkiksi paneelikohtaiseen elektroniikkaan, kuten mikroinverttereihin ja virranoptimoijiin. [26.]

Lisäksi on olemassa vakiintuneita alan suosituksia kuten Euroopan aurinkosähköyhdistyksen Solar Power European *Solar O&M best practices report*. Kyseisessä raportissa käydään läpi hieman korkeammalla tasolla kokonaisuudessaan aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon toimintaa ja siihen vaikuttavia asioita.



Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapitosuosituksissa ja standardissa kunnossapito jaotellaan karkeasti kolmeen eri osaan

- ehkäisevä kunnossapito
- korjaava kunnossapito
- ennakoiva kunnossapito. [26; 27]

### 3.1 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on aurinkosähköjärjestelmän toiminnan kannalta tärkein osa-alue. Ehkäisevä kunnossapito pitää sisällään kunnossapitosuunnitelman mukaisesti tehdyt säännölliset tarkastukset. Tarkastukset koostuvat aistinvaraisista tehtävistä, mekaanisista tehtävistä sekä mittauksista. Kunnossapitosuunnitelma tulisi tehdä kaikista aurinkosähköjärjestelmistä. Suunnitelma pitää sisällään säännöllisillä tarkastuksilla tehtävät toimenpiteet ja toimenpiteiden aikavälit. Kunnossapitosuunnitelmasta on saatavilla englanninkielisiä pohjia esimerkiksi Euroopan aurinkosähköyhdistyksen sivuilta. Aikavälit aurinkosähköjärjestelmässä tehtäville toimenpiteille vaihtelevat noin yhdestä vuodesta viiteen vuoteen. Valtaosa tarkastuksista on vuosittaisia toimenpiteitä, eli aurinkosähköjärjestelmiä tulisi tarkastaa vähintään kerran vuodessa. [26; 27.]

#### 3.1.1 Aistinvarainen tarkastus

Aistinvaraisella tarkastuksella käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit

- Asennustelineiden tarkastus. Tarkastetaan, että telineissä ei näy epänormaalia kulumista. Telineet ovat usein alumiinia, joten korroosion merkkejä on hyvä etsiä. Tarkastetaan, että kelluvissa järjestelmissä vastapainot ovat oikein telineiden päällä eivätkä ole liikkuneet. Etsitään merkkejä liiallisesta lämpölaajenemisesta, eli ovatko telineet tai kiinnikkeet liikkuneet katon pinnalla ja aiheuttaneet vaurioita vesikatteelle. [26.]
- Vaihtosuuntaajien tarkastus. Tarkastetaan, että vaihtosuuntaajat ovat ulkoisesti puhtaita pölystä ja muusta liasta. Varmistetaan mahdollisten jäähdytystuulettimien toiminta ja tarkastetaan vaihtosuuntaajien lämpötilat. [26.]

- Sähköisten liitospisteiden tarkastus. Tarkastetaan, että liitospisteet ovat ulkoisesti puhtaita pölystä ja muusta liasta, ja että momenttimerkinnät ovat pysyneet. Etsitään mahdollisia valokaarien tai lämmön aiheuttamia vaurioita. Vauriot näkyvät usein komponenttien tai kaapeleiden värjäytymisestä tai mahdollisesta sulamisesta. Etsitään mahdollisia valokaarien tai lämmön aiheuttamia vaurioita. Vauriot näkyvät usein komponenttien tai kaapeleiden värjäytymisestä tai mahdollisesta sulamisesta. [26.]
- Aurinkopaneelien tarkastus. Tarkastetaan, että onko paneeleita tarpeellista puhdistaa. Suomen sääolosuhteissa sateet ja talven lumi- peitteet pitävät paneelit lähtökohtaisesti hyvin puhtaina. Tarkastetaan, että paneelien kiinnitykset eivät ole irti. Tarkastetaan paneelien mekaaninen eheys, eli onko paneelien laseissa säröilyä tai värjäymää. Tummat värjäämät tai etanan jäljet tarkoittavat usein, että paneeli on vaurioitunut ja korjaavia toimenpiteitä tulisi tehdä. [26.]
- Merkintöjen ja dokumentaation tarkastus. Tarkastetaan, että järjestelmästä on saatavilla standardien IEC 62446-1:2016 ja SFS 62446-2:2020 mukainen dokumentaatio ja että standardin SFS 6000-7-712:2017 mukaiset merkinnät ovat paikoillaan. [18; 26.]

### 3.1.2 Mekaaninen tarkastus ja testaus

Mekaanisia tarkastuksia tehdään esimerkiksi kytkinten toimintaan. Mekaanisia kytkimiä tulisi verryttellä, jotta kytkinten kontaktipinnat pysyvät puhtaina. Lisäksi samalla testataan, että kytkimet toimivat oikein. On hyvin tärkeää muistaa testata myös mahdollisen hätäkatkaisun toiminta, jotta mahdollisessa hätätilanteessa aurinkosähköjärjestelmä kytkeytyy irti, kun hätäkatkaisua käytetään. Myös sähköiset liitospisteet testataan mekaanisesti, eli niiden kiristyksyet tarkastetaan ja kiristetään tarvittaessa käyttämällä soveltuvaa momenttiavainta. [2; 26.]

Mekaanisia tarkastuksia tehdään pistokoeluoontoisesti eli testataan satunnaiselta osa-alueelta tietty määrä. Pistokoetarkastuksia ovat esimerkiksi aurinkopaneeli-liittimien testaus, asennustelineiden siirto mahdollisten katon vaurioiden tarkastamiseksi ja paneelikiinnitysten momenttien testaus. [26; 27.]

### 3.1.3 Mittaukset

Aurinkosähköjärjestelmän mittauksia tehdään suorituskyvyn tarkkailemiseksi, sekä turvaominaisuuksien varmentamiseksi. Osa tehtävistä mittauksista riippuu siitä, millaista teknologiaa järjestelmässä on käytetty. Esimerkiksi virranoptimojilla tai mikroinverttereillä varustetussa aurinkosähköjärjestelmässä osaa mittauksista ei tehdä ollenkaan tai ne tehdään muusta syystä, kuin string-invertterijärjestelmissä. Lisäksi paneelitasolla valvotuissa järjestelmissä on yleensä saatavilla jatkuvaa paneelitason dataa, eli standardissa SFS EN 62446–2:2020 suositeltavia mittauksia tehdään näissä järjestelmissä jatkuvasti. Suositeltavat mittaukset ovat [26.]

- Paneeliketjujen avoimen piirin jännitteen mittaus. String-invertterijärjestelmissä avoimen piirin jännitteen mittauksella saadaan hyvä yleiskatsaus siitä toimivatko paneeliketjut normaalisti. Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton vaiheessa tehdään standardin SFS-EN 62446-1:2016 mukaisesti sama avoimen piirin mittaus, josta saadaan referenssiarvo kunnossapitotarkastusten mittauksille. Avoimen piirin jännitteen mittauksessa voidaan käyttää yleismittaria tai aurinkosähköjärjestelmien mittauksia varten tarkoitettua testeriä. Lisäksi käytetään säteilymittaria tallentamaan ne säteilyolosuhteet, missä mittaus on tehty. Avoimen piirin jännite kertoo string-invertterijärjestelmässä onko paneeliketjussa esimerkiksi vioittuneita paneeleita. Virran optimojilla varustetussa järjestelmässä avoimen piirin jännitteen mittauksella testataan, että turvaominaisuudet ja virran optimoijat toimivat oikein. Yksi virran optimoija tuottaa ainoastaan 1 Vdc ulostulojännitteen, kun virranoptimojaketju on kytketty irti invertteristä, eli esimerkiksi kahdeksan virran optimoijan ketjussa avoimen piirin jännite on 8 Vdc. Paneelitason valvonnalla voidaan seurata yksittäisten paneelien jännitettä, joten yksittäisten paneelien jännitteiden mittaukselle ei ole virranoptimojilla varustetussa järjestelmässä tarvetta. [26.]
- Paneeliketjujen virtamittaus. Paneeliketjujen virtamittaus tehdään pihtivirtamittarilla. Saatuja tuloksia verrataan taas käyttöönoton mittauksiin, sekä tarkastellaan eri paneeliketjujen välisiä eroja. Mitattujen arvojen ero tulee olla tasaisissa säteilyolosuhteissa paneeliketjujen välillä alle 5 %. Virtamittaus voidaan tehdä myös virran optimojilla varustetussa järjestelmässä, ja sillä varmistetaan, että virran optimoijat toimivat oikein eikä vaihtosuuntaajalle tule mahdollista ylivirtaa. [26.]
- Virta-jännitekäyrän mittaus. Virta-jännitekäyrän mittauksista suositellaan tehtäväksi säännöllisin väliajoin standardin SFS EN 62446–2:2020 mukaan kaikissa järjestelmissä, joissa ei ole paneelikohtaista

elektroniikkaa eli mikroinverttereitä tai virran optimoijia. Virta-jännitekäyrän mittauksessa tehdään samalla myös yllä mainitut avoimen piirin jännitteen mittaukset ja virtamittaukset. Virta-jännitekäyrän mittauksella saadaan suorituskyvyn kannalta oleelliset tiedot eli avoimen piirin jännite ja oikosulkuvirta, sekä suurimman tehon jännite, virta ja tehokerroin. Nämä tiedot paljastavat merkittävät suorituskykypoikkeamat tai komponenttiviati paneeleissa tai paneeliketjuissa. Virta-jännitekäyrä mittauksen tuloksia verrataan aurinkopaneelin datalehdessä löytyviin STC-arvoihin eli standarditestiolosuhteiden arvoihin. Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan aina STC-arvoissa, eli esimerkiksi 450 watin aurinkopaneeli tuottaa 450 watin nimellisteholla standarditestiolosuhteissa. [26.]

- Eristysresistanssin mittausta. Paneeliketjujen eristysresistanssin mittausta suositellaan tehtäväksi säännöllisin väliajoin järjestelmissä, jotka ovat toiminnallisesti maadoitettuja. Toiminnallisesti maadoittamattomissa järjestelmissä, joissa on standardin IEC 62020 mukainen jatkuva vikavirran valvonta tai standardin IEC 61557-8 mukainen eristysresistanssin valvonta eivät vaadi erillistä säännöllistä eristysresistanssin mittausta. Valtaosa nykyisistä string-invertterijärjestelmistä sisältää eristysresistanssin valvonnan ja/tai jatkuvan vikavirran valvonnan. Paneeliketjujen eristysresistanssi mitataan paneeliketjuista ajamalla eristysresistanssimittarilla yleensä 500 tai 1000 voltin testijännite läpi, ja saadaan eristysresistanssilukema ohmeina. Paneeliketjun eristysresistanssiin vaikuttaa käytetty paneelityyppi, johdinten pituus ja muut mahdolliset laitteet paneeliketjussa. Oikean eristysresistanssin lukema tulee selvittää laskennallisesti. [26.]

### 3.2 Korjaava kunnossapito

Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joita tehdään, kun aurinkosähköjärjestelmään on ilmaantunut vika. Korjaavaa kunnossapitoa voidaan tehdä säännöllisten tarkastusten yhteydessä tai riippuen vian kriittisyydestä myös nopealla vasteajalla. Nopean vasteajan vaativat korjaustoimenpiteet saattavat olla esimerkiksi merkittävästi järjestelmän tuotantoon vaikuttavia tai kriittisen vaaran aiheuttavia vikoja. [26; 27.]

Vikatilanteissa, jotka aiheuttavat kriittisen turvallisuus- tai palovaaran, on noudatettava hätätilamenettelyjä järjestelmän sammuttamiseksi. Kohdekohtaiset hätätilamenettelyt ja ohjeistukset tulisivat olla olemassa jokaisesta aurinkosähköjärjestelmästä. [26.]

Vaarattomien vikojen selvitys tehdään tapauskohtaisesti. Tällaisten vikojen selvitys voi sisältää aurinkosähköjärjestelmään tehtäviä mittauksia tai jännitteisten osien tarkastusta. Vikatapahtumien selvitys saattaa alkaa esimerkiksi säännöllisen tarkastuskäynnin yhteydessä huomattavasta viasta tai aurinkosähköjärjestelmän etävalvontajärjestelmän ilmoittamasta hälytyksestä. Vaarattomia vikatapahtumia voivat olla esimerkiksi yksittäinen eristysvika, vaihtosuuntaajan toimintahäiriö tai paneeliketjun sammuminen. [26.]

### 3.3 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivalla kunnossapidolla tarkoitetaan aurinkosähköjärjestelmän suorituskykyyn vaikuttavia toimenpiteitä. Ennakoiva kunnossapito analysoi järjestelmän avainkomponenttien dataa, jonka avulla pyritään löytämään trendejä tai piileviä ongelmia, joita ei huomata ehkäisevässä kunnossapidossa. Ennakoivaa kunnossapitoa varten aurinkosähköjärjestelmässä täytyy olla älykästä laitteistoa, jotka tallentavat tarvittavaa dataa koko järjestelmän elinkaaren ajan. Tällaisen laitteiston tulisi sisältää laaja etävalvontajärjestelmä, auringonsäteilyanturit, sekä riittävän tarkka mittauslaitteisto esimerkiksi paneeliketjukohtaisia tai paneelikohtaisia mittauksia varten. [26; 27.]

#### 3.3.1 Etävalvontajärjestelmä

Etävalvontajärjestelmällä tarkoitetaan yleisesti SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) -tietokoneohjelmistoa, eli valvomo-ohjelmistoa. Valvomo-ohjelmistolla kerätään ja analysoidaan dataa aurinkovoimalasta reaaliajassa. Ohjelmistoon on luotu graafinen käyttöliittymä, jonka kautta aurinkosähköjärjestelmän oleellisimpia tietoja voidaan helposti seurata. Etävalvontajärjestelmä esittää myös aurinkovoimalasta saadut hälytykset, jotta korjaavaa kunnossapitoa voidaan tehdä proaktiivisesti tai tiettyjä korjaustoimenpiteitä suorittaa myös etänä. [27.]

Etävalvontajärjestelmään liitetään usein monia kohteita, jonka avulla saadaan useita vertailupisteitä yksittäisen järjestelmän suorituskykyyn. Voidaan siis esimerkiksi tarkastella pitkältä aikaväliltä samalla alueella sijaitsevia kohteita ja löytää mahdollisia suorituskyvyn poikkeamia yksittäisestä kohteesta. Tällainen poikkeama voi olla esimerkiksi paneelien likaantuminen tai vaihtosuuntaajien ikääntyminen. [26; 27.]

### 3.3.2 Auringon säteilyn mittaus

Aurinkosähköjärjestelmän todellista suorituskykyä on hyvin vaikea seurata ilman sääolosuhteiden vaikuttavuuden huomioimista. Tämä toteutetaan usein kohteelle asennettavilla antureilla tai vaihtoehtoisesti satelliittidataa hyödyntämällä. Aurinkosähköjärjestelmän todellista suorituskykyä voidaan arvioida PR-luvulla eli *performance ratiolla*. PR-luvun määrittelyyn tietyltä ajanjaksolta tarvitaan vähintään tieto järjestelmän tuottamasta verkkosähkökelpoisesta vaihtosähköstä ja säteilyolosuhteet ajanjaksolta. PR-luku lasketaan kaavalla (Kaava 1.) [27; 28.]

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100 \quad (1)$$

jossa

PR = suorituskyvyn suhdeluku eli *Performance ratio*

$Y_f$  = toteutunut tuotto eli *Specific yield*

$Y_r$  = referenssi tuotto eli *Reference yield* ▽

Toteutunut tuotto  $Y_f$  lasketaan kaavalla (Kaava 2.)

$$Y_f = \frac{E}{P_0} \quad (2)$$

jossa

$Y_f$  = toteutunut tuotto

$E$  = järjestelmän tuottama vaihtosähkö kilowattitunteina

$P_0$  = järjestelmän nimellisteho kilowatteina

Referenssituotto  $Y_r$  lasketaan kaavalla (Kaava 3.)

$$Y_r = \frac{H}{G} \quad (3)$$

jossa

$Y_r$  = referenssituotto

$H$  = auringon kokonaissäteilyn määrä

$G$  = aurinkopaneelien asennuskulmasta mitattu säteilyn määrä

PR-luvulla saadaan siis määriteltyä vertailukelpoinen arvo siitä, että millä suhteella aurinkosähköjärjestelmä on toiminut todellisissa säteilyolosuhteissa. Tyypillinen ajanjakso jolle PR-luku lasketaan, on yksi vuosi. Vielä tarkempi PR-lukema saadaan, kun laskennassa huomioidaan myös aurinkokennojen lämpötila, mutta tämä ei pitkän aikavälin tarkastelujaksoissa ole tarpeellista. [27.]

### 3.3.3 Mittauslaitteisto

Aurinkosähköjärjestelmissä tyypillisesti halutaan mitata tasasähköpuolen suureista tehoa, virtaa ja jännitettä, sekä vaihtosähköpuolen tehoa ja tuotettua energiaa. Mittauksen tarkkuuden taso riippuu käytettävästä laitteistosta. Esimerkiksi string-invertterijärjestelmissä mittaukset ovat yleensä invertterin tai yhden maksimitehopisteen seuraajan tasolla. Maksimitehopisteen seuraajaan on kytketty 1–25 paneeliketjua eli yksittäisen paneeliketjun dataa on harvoin tällaisista järjestelmistä saatavilla, jos kyseessä on suurempi järjestelmä.

Paneelitasen elektroniikalla voidaan mitata paneelikohtaisesti tasasähköpuolen suureita eli mittaustarkkuus on huomattavasti parempi mahdollistaen sen, että käytännössä tällaisessa aurinkosähköjärjestelmässä voidaan todentaa jokaisen paneelin toimivuus reaaliajassa.

## 4 Kohdekäynnit

Kohdekäyntejä tehtiin vuoden 2021 aikana toiminnassa oleviin eri-ikäisiin kaupallisen kokoluokan aurinkovoimaloihin. Kohdekäynneistä ja tehdyistä toimenpiteistä on valittu jokaiseen kolmeen kunnossapidon aihealueeseen liittyvä käynti, eli on tehty ehkäisevää, korjaavaa ja ennakoivaa kunnossapitoa. Ehkäisevään kunnossapitoon liittyen on tehty erään 300 kWp:n kokoisen voimalan kunnossapitosuunnitelman mukainen vuositarkastuskäynti. Korjaavaan kunnossapitoon liittyen eräässä 150 kWp:n kokoisessa voimalassa esiintyi tasasähköpuolen eristysvika, jonka vikaselvitykset ja korjaustoimenpiteet dokumentoitiin. Viimeisenä on esimerkki ehkäisevästä kunnossapidosta kohteessa, missä etävalvontajärjestelmän datan analysoinnin perusteella löydettiin 30 kWp:n kokoisesta voimalasta vikaantuneita paneeleita.

### 4.1 Vuositarkastuskäynti

Vuositarkastuskäynnillä tehtävistä toimenpiteistä on tehty kohteelle kuvan 3 mukainen kunnossapitosuunnitelma. Suunnitelmaan on määritetty, mitkä toimenpiteet kuuluvat vuositarkastuskäyntiin, sekä milloin ja millaisella aikavälillä kyseiset toimenpiteet suoritetaan. Suunnitelma perustuu Euroopan aurinkosähköyhdistyksen tekemiin suosituksiin.



Kohde:	xxxx								
Osoite:	xxxx								
Asiakkaan yhteyshenkilö:	xxxx								
Huoltoyhtiö:	xxxx								
KWp:	290 kWp								
Toimittajan yhteydet:	xxxx								
Laitteisto	Tekijä	Tärkeys	Aikaväli	Laajuus	Q1	Q2	Q3	Q4	
Paneelit ja telineet	Tarkasta paneelien kunto	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x				
	Lämpökamerakuvaus	Suositus	Vuositain	Koko asennus					
	Mittaukset	Tarvittaessa	Vuositain	Koko asennus	x				
	Paneelien puhdistus	Tarvittaessa	Vuositain	Koko asennus	-				
	Paneelien liitäntärasioiden tarkastus	Suositus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x				
	Tarkasta vastapainojen kunto ja sijoittelu	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x				
	Tarkasta katon kunto siirtämällä nostamalla telineitä	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x				
	Tarkasta paneelien kiinnityksiä	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x				
	Kiistä paneelien kiinnityksiä tarvittaessa	Tarvittaessa	Vuositain	Koko asennus	-				
	Sähkökaapit ja keskuskeskukset esim.	Tarkasta kunto ja puhdistus tarvittaessa	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
Tarkasta dokumentaatio		Tarvittaessa	Vuositain	Koko asennus	x				
-String combineit		Tarkasta merkinnät ja tunnistet	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x			
-AC-kytkentäpisteet		Suojuslaitteiden visuaalinen tarkastus ja toiminnallinen testaus	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
-Keskusajajennukset		Tarkasta sulakkeet	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
-Muuntamot		Tarkasta ylijännitesuojat (jos käytetty)	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	-			
		Tarkasta kaapeloinnin ja liitosten kunto	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Sensorien toiminta (jos käytetty)	Suositus	Vuositain	Koko asennus	-			
		Mittaukset	Paras käytäntö	Vuositain	Koko asennus	-			
		Lämpökamerakuvaus	Suositus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Liitosten kiistämiset	Tarvittaessa	Vuositain	Koko asennus	x			
		Seurantalaitteiden testaus (Jos käytetty)	Suositus	Vuositain	Koko asennus	-			
Kaapelointi		Tarkasta kunto	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x			
		Tarkasta merkinnät ja tunnistet	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x			
		-DC/AC kaapelointi	Tarkasta liittimet	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x		
	-Sisäiset kytkennät ja datakaapeli	Mittaukset	Suositus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x			
Vaihtosuuntaajat	Tarkasta kunto ja puhdistus tarvittaessa	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x				
	Tarkasta dokumentaatio	Tarvittaessa	Vuositain	Koko asennus	x				
	-keskusinvertit	Tarkasta merkinnät ja tunnistet	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	x			
	-keskusinvertit	Suojuslaitteiden visuaalinen tarkastus ja oikea toiminta	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Tarkasta sulakkeet	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Tarkasta ylijännitesuojat	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Lämpökamerakuvaus	Paras käytäntö	Vuositain	Koko asennus	-			
		Sensorien toiminta	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Satunnainen osa-alue	-			
		Mittaukset	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Tarkasta säätöarvot	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Tarkasta jäähdytyksen toiminta	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
		Tarkasta paristot	Laitevalmistajan ohjeistuksen mukaan	Vuositain	Koko asennus	-			
		Vaihdapaaristot	Laitevalmistajan ohjeistuksen mukaan	3 vuotta	Koko asennus	-			
		Vaihdatuuletin	Laitevalmistajan ohjeistuksen mukaan	5 vuotta	Koko asennus	-			
		Suodattimien puhdistus	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	x			
	Suodattimien vaihto	Tarvittaessa	2 vuotta	Koko asennus	-				
Sähkömittarit	Tarkasta kunto ja puhdistus tarvittaessa	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	-				
	Tarkasta merkinnät ja tunnistet	Yhimmisvaatimus	Vuositain	Koko asennus	-				
	Tarkasta raja-arvot	Suositus	Vuositain	Koko asennus	-				
	Tarkasta yhteystien toiminta	Suositus	Vuositain	Koko asennus	-				

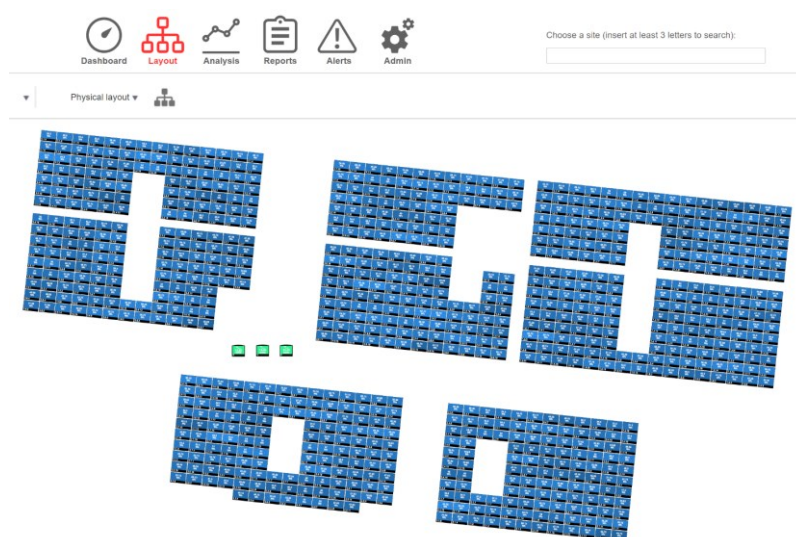
Kuva 3. Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapitosuunnitelma.

Kohdetiedot ovat seuraavanlaiset

- käyttöönottovuosi: 2020
- paneeliteho: 290 kWp
- AC-teho: 248,4 kVA
- aurinkopaneelit: 854 kpl, 340 Wp
- virranoptimoijat: 427 kpl SolarEdge P730
- vaihtosuuntaajat: 3 kpl SolarEdge 82,8 kVA
- asennustelineet: Aerocompact S15-tasakattoteline.

Vuositarkastuskäynti suoritettiin keväällä 2021 aurinkoisena päivänä. Ennen kohteelle saapumista tarkastettiin etävalvontajärjestelmästä mahdolliset hälytykset, jotta tarvittaessa varaosia tai komponentteja osattaisiin ottaa mukaan, jos korjaustoimenpiteitä vaativia hälytyksiä etävalvonnassa olisi.

Kohteella on käytössä paneelikohtaista elektroniikkaa, joten etävalvontajärjestelmästä voidaan tarkastaa helposti kaikkien paneelien yleistoiminta ja hälytykset. Kuvassa 4 näkyy etävalvontajärjestelmän perusnäkyminen laitteistosta. Siniset neliöt kuvastavat kohteella olevia aurinkopaneeleita, ja vihreät neliöt ovat kohteen vaihtosuuntaajat. Tasainen sininen väri kaikissa paneeleissa kertoo jo hyvin, että mitään merkittäviä tuotantoon vaikuttavia vikoja kohteella ei ole. Jos yksittäisen paneelin väri on tummempi kuin muissa, se kertoo, että kyseisen paneelin tehontuotanto on pienempi. Etävalvontajärjestelmästä nähdään jokaisen paneeliparin energiantuotanto ja vaihtosuuntaajien toiminta reaaliajassa. Kohteella ei etävalvontajärjestelmän mukaan ollut hälytyksiä ja järjestelmän toiminta oli normaalia.



Kuva 4. Etävalvontajärjestelmän perusnäkyminen.

Tarkastuskäynti aloitettiin vaihtosuuntaajien ja sähkökeskuksen luota (Kuva 5). Käynti suoritettiin aurinkoisena päivänä, ja järjestelmän teho oli käynnin aikana

noin 200 kilowattia. Tarkastukset pyritään tekemään aurinkoisena ajankohtana, että mahdolliset ylikuumenemiset huonoista tai löystyneistä liitoksista voidaan havaita lämpökameralla helpommin.



Kuva 5. Aurinkosähköjärjestelmän AC-kytkentäkeskukset.

Ensimmäisenä avattiin aurinkosähköön liittyvien AC-sähkökeskusten kannet ja tehtiin aistinvaraista tarkastelua (kuva 6). Aistinvaraisten tarkastusten jälkeen sähkökeskukset kuvattiin Fluke PTi180-taskulämpökameralla. Sähkökeskuk- sissa ei havaittu poikkeamia tai puutteita.



Kuva 6. Aurinkosähköjärjestelmän AC-kytkentäkeskuksen sisäpuoli.

Sähkökeskusten ja vaihtosuuntaajien aistinvaraisen tarkastuksen jälkeen testattiin, että järjestelmän hätäkatkaisu toimii oikein (kuva 7). Hätäkatkaisu-kytkimen tarkoituksena on erottaa koko järjestelmä pois kiinteistön sähköverkosta, ja tämän kohteen tapauksessa myös aurinkopaneelien jännitteet laskevat turvalliseen tasolle, koska kohteella on käytössä paneeliparikohtaiset virranoptimoijat. Hätäkatkaisu-kytkin sijoitetaan yleensä kiinteistössä pelastuslaitoksen hyökkäysreitille tai paloilmoitinkeskukselle niin, että se on helposti käytettävissä hätätilanteessa.



Kuva 7. Aurinkosähköjärjestelmän hätäkatkaisukytkin.

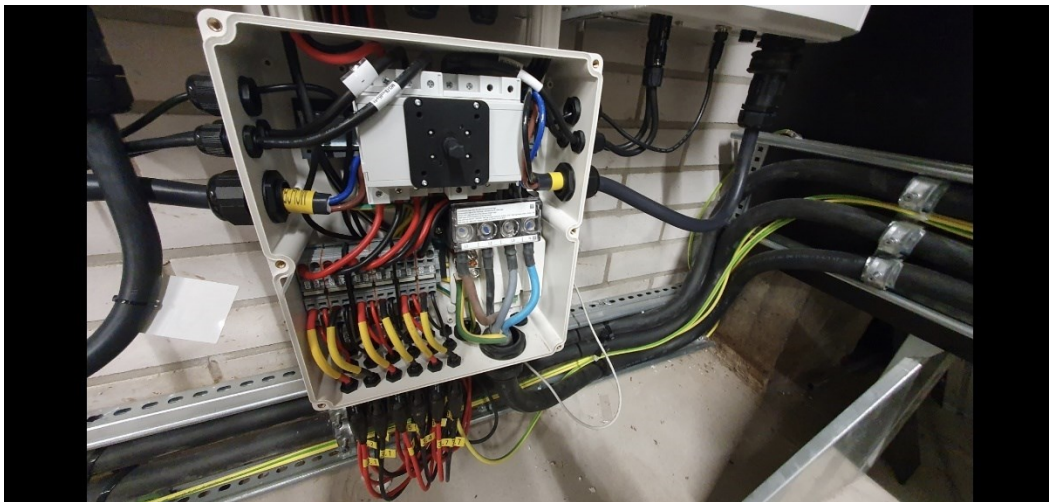
Etäkatkaisukyttimeen toiminnan testauksen jälkeen koko aurinkovoimala erotettiin vaihto- ja tasasähköpuolelta, jotta vaihtosuuntaajille ja sähkökeskuksille voitiin tehdä mekaanisia tarkastuksia ja mittauksia.

Aurinkosähkökeskusten AC-liitosten kireydet varmistettiin momenttiavaimella (Kuva 8). Ennen kuin mihinkään sähköliitoksiin koskettiin, jännitteettömyys varmistettiin jännitteenkoettimella. Liitosten kireysmomentit on aina merkitty itse liittimeen tai ne voidaan tarvittaessa selvittää liittimen valmistajalta. Erityishuomiota tulee kiinnittää alumiinikaapeleiden liitoksiin aurinkosähköjärjestelmissä, koska liitoksiin kohdistuva lämpökuormitus vaihtelee suuresti ja se saattaa aiheuttaa alumiinin elämistä liitoksessa.



Kuva 8. Aurinkosähköjärjestelmän AC-liitoksien tarkastus momenttiavaimella.

Kun aurinkosähköjärjestelmä oli kokonaisuudessaan erotettuna vaihto- ja tasasähköpuolelta, myös vaihtosuuntaajien kytkentäkotelot voitiin avata ja tarkastaa nämä aistinvaraisesti, sekä varmentaa AC-liitosten kireydet momenttiavaimella. (Kuva 9) Samalla irrotettiin tasasähköpuolen MC4-liittimet vaihtosuuntaajasta ja mitattiin paneeliketjujen avoimen piirin jännitteet. Tässä tapauksessa mittauksella varmennettiin virran optimoijien oikea toiminta, eli että virran optimoijat laskevat jännitteet myös katolla turvalliselle tasolle ja kytkennät ovat oikein tehtyjä. Tulokset merkittiin paperille, jotta ne voidaan dokumentoida myöhemmin vuositarkastuksen pöytäkirjaan.



Kuva 9. Vaihtosuuntaajan kytkentäkotelo.

Kun vaihtosuuntaajien ja sähkökeskusten tarkastukset saatiin tehtyä, siirryttiin paneelien luo vesikatolle. Aistinvaraisessa tarkastuksessa käydään läpi koko järjestelmä ja katsotaan, että paneelit ovat puhtaita, painokivet ja telineet pysyneet paikoillaan ja että kaapelointireiteissä tai kaapeloinneissa ei näy vaurioita. Lisäksi katsotaan, että paneelikenttien alle ei ole kertynyt roskaa ja että kaapeloinnit ovat hyvin kiinnitettynä eivätkä roiku vesikatetta vasten (Kuva 10). Tässä kohteessa ei havaittu aistinvaraisella tarkastuksella puutteita vesikatolla.



Kuva 10. Aurinkosähköjärjestelmän puhtauden tarkastus.

Pistokoeluntuotteiset tarkastukset tehtiin aurinkopaneelien kiinnikkeille, joiden momentit tarkastettiin momenttiavaimella (Kuva 11) sekä paneelien MC4-liittimiä koestettiin irrottamalla liitinpareja ja tarkastamalla niiden kontaktipinnat ja vesitiiviys.



Kuva 11. Paneelikiinnikkeiden kireyden tarkastus momenttiavaimella.

Seuraavaksi siirryttiin takaisin vaihtosuuntaajien ja sähkökeskusten luo. Ennen voimalan käynnistystä kaikkia mekaanisia kytkimiä verryteltiin kontaktipintojen puhdistamiseksi. Kun järjestelmä laitettiin takaisin päälle, tarkastettiin vielä, että järjestelmän kohdedokumentaatio ja merkinnät olivat standardien mukaisesti kohteella. Ennen kun kohteelta poistuttiin, varmistettiin, että koko järjestelmä



lähti takaisin normaalitoimintaan. Vuositarkastuksesta tehdään aina lisäksi käynnin jälkeen erillinen pöytäkirja, joka lähetetään asiakkaalle ja tallennetaan kohdedokumentaatioon.

## 4.2 Aurinkosähköjärjestelmän eristysvika

Eräessä 150 kWp:n kohteessa ilmaantui alkukeväänä 2021 yhteen invertteriyksikköön eristysvika tasasähköpuolella. Vika huomattiin, kun etävalvontajärjestelmään tuli hälytys kohteen invertteriltä (Kuva 12). Eristysvika aurinkosähköjärjestelmässä tarkoittaa sitä, että tasasähköpiirissä virta pääsee vuotamaan jotain kautta maahan.

Code	Description
121	Isolation Fault
116	DC Charged

**Error Code: 121**

Isolation Fault

Kuva 12. Aurinkosähköjärjestelmän etävalvonnan hälytys.

### 4.2.1 Eristysvika

Tyypillisesti aurinkosähköjärjestelmien paneelit ja metalliset rakenteet on kytketty kiinteistön maadoitusjärjestelmään, eli jos DC-johtimen eriste tai liitin on vaurioitunut ja paljas johdin osuu metallirakenteisiin, virta pääsee vuotamaan

suoraan maahan aiheuttaen eristysvian. Nykyaikaisissa muuntajattomissa inverttereissä on tätä varten sisäänrakennettu eristystilan valvontajärjestelmä, joka estää vaihtosuuntaajan tai vioittuneen alueen käynnistymisen, jos eristysvastus on liian alhainen. [9; 28.]

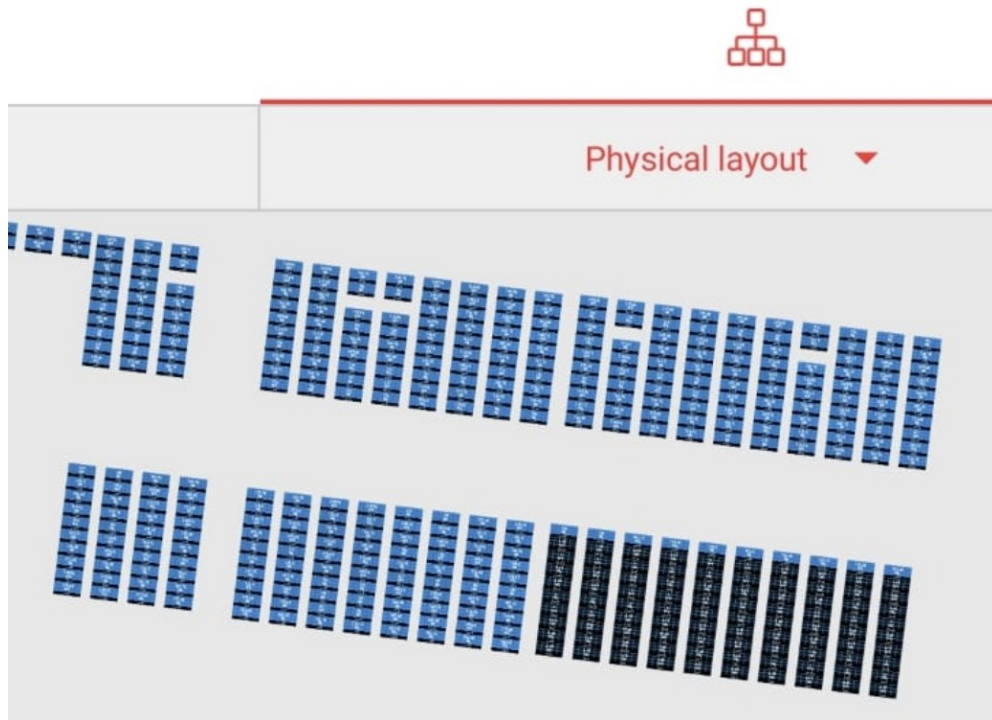
Eristysviat ovat yleensä haasteellisia paikantaa aurinkosähköjärjestelmässä ja viat ovat usein piileviä. Piilevällä vialla tarkoitetaan sitä, että normaalitilanteessa kuivalla säällä eristysvika ei näy, vaan se esiintyy esimerkiksi sateella tai aamukosteuden aikana. Kosteus ja vesi johtavat sähköä hyvin eli eristysvika voi esimerkiksi syntyä jo huonosti tehdystä liitoksesta, johon kosteus pääsee vaikuttamaan. [28.]

#### 4.2.2 Vianselvitys

Kohdetiedot ovat seuraavanlaiset

- käyttöönottovuosi: 2019
- paneeliteho: 149,8 kWp
- AC-teho: 137,8 kVA
- aurinkopaneelit: 451 kpl 330 Wp
- virranoptimoijat: 226 kpl SolarEdge P730
- vaihtosuuntaajat: 1 kpl SolarEdge 82,8 kVA, 1 kpl SolarEdge 55 kVA
- asennustelineet: Aerocompact S15 tasakattoteline.

Kohteella oli käytössä paneelikohtaista elektroniikkaa, joten ensimmäisenä voitiin etävalvontajärjestelmästä tarkastaa alue, missä eristysvika sijaitsee (kuva 13).



Kuva 13. Aurinkosähköjärjestelmän vikatilanne etävalvomossa

Kuvasta 13 nähdään, että yhden invertteriyksikön paneelit eivät ole tuotannossa eristysvian takia. Ensimmäisenä toimenpiteenä kohteella vaihdettiin kaikki kyseisen invertteriyksikön itsetehdyt tasasähköliitokset sekä paneelikentällä, että invertterin päässä, koska epäiltiin, että eristysvika saattaisi aiheutua mahdollisesta asennusvirheestä liitoksien tekemisessä asennuksen ajalta. Liitoksien vaihdon jälkeen invertteri kytkettiin takaisin tuotantoon ja tarkastettiin eristysvastuksien arvot vaihtosuuntaajan käyttöjärjestelmästä (Kuva 14). Eristysvastuksien arvot näyttivät normaaleilta, ja vaihtosuuntaaja oli normaalissa tuotannossa. Vika näytti poistuneen järjestelmästä.

DC Voltage <b>748 Vdc</b>	DC Voltage <b>748 Vdc</b>	DC Voltage <b>747 Vdc</b>
DC Current <b>2.72 A dc</b>	DC Current <b>2.76 A dc</b>	DC Current <b>2.8 A dc</b>
Isolation <b>1885.87 kOhm</b>	Isolation <b>1928.5 kOhm</b>	Isolation <b>1837.59 kOhm</b>
Temp. <b>33° C</b>	Temp. <b>34° C</b>	Temp. <b>29° C</b>

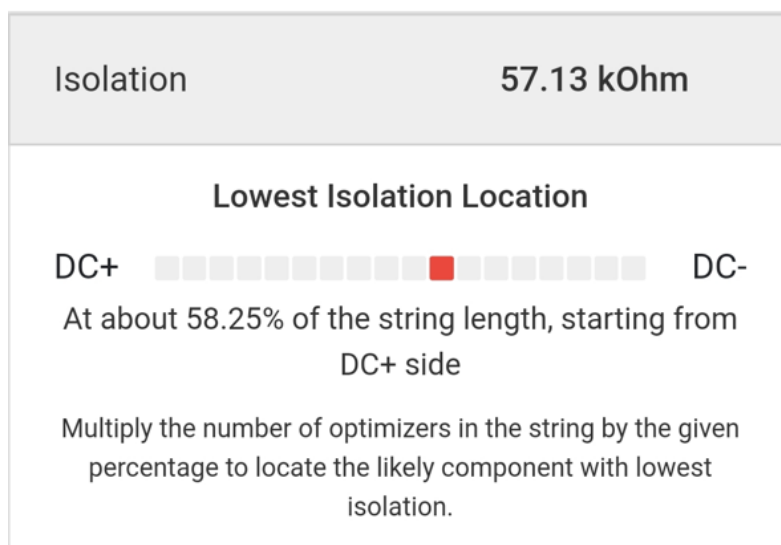
Kuva 14. Vaihtosuuntaajan käyttöjärjestelmän tuotantolukemat.

Järjestelmää seurattiin aktiivisesti etävalvonnan kautta, ja toiminta pysyi normaalina muutaman viikon ajan, kunnes samasta viasta ilmaantui uudelleen hälytys. Seuraavaksi tarkasteltiin kyseisen päivän säätietoja kohteen alueelta ja huomattiin, että hälytyksen ilmaantumispäivänä satoi reippaasti alueella. Kohdetta seurattiin etävalvonnan kautta aktiivisesti, ja kuivalla säällä vika oli poistunut.

Seuraavana toimenpiteenä eristysvian selvittämiseksi aikataulutettiin uusi kohdekäynti sadepäivälle, jotta vika olisi todennäköisesti päällä ja helpottaisi täten vianhakua. Kohdekäynnin aikana eristysvika oli aktiivisena, joten voitiin tehdä tarkempaa paikannusta vikakohdalle invertterivalmistajan ohjeistuksien mukaisesti.

Ensimmäisenä kytkettiin paneeliketjut yksi kerrallaan vaihtosuuntaajaan, koska oletuksena oli, että vika sijaitisi vain yhdessä paneeliketjussa ja täten eristysvika ilmenisi vain, jos vikaantunut ketju on kytkettynä vaihtosuuntaajaan. Kohteen aurinkosähköjärjestelmässä oli käytössä paneelikohtaista elektroniikkaa, joten

vika voitiin vaihtosuuntaajan sisäisellä eristysvian hakutoiminnolla paikantaa yksittäiseen virran optimoijaan (Kuva 15).



Kuva 15. Vaihtosuuntaajan eristysvian hakutoiminto.

Kyseisessä paneeliketjussa oli 15 kappaletta virranoptimoijia, joten vikaa lähettiin etsimään virran optimoija 8:n ja 9:n väliltä laskettuna paneeliketjun pluspuolelta. Kaikki virran optimoijien liittimet irrotettiin ja johtimien kunnot tarkastettiin. Virran optimoija 9:ään kytketyn aurinkopaneelin liitin oli ulkoisesti vaurioitunut. Liittimen kontaktipinnoilta oli selkeästi havaittavissa, että se oli hapettunut ja kastunut sisäpuolelta. (Kuva 16)



Kuva 16. Vioittunut aurinkopaneelin MC4-liitin.

Muita vaurioita tai poikkeamia ei löydetty, joten liitin vaihdettiin uuteen ja järjestelmä käynnistettiin ja eristysvastukset luettiin vaihtosuuntaajalta. Toiminta oli normaalia, joten korjaustoimenpide oli saatu suoritettua. Järjestelmää seurattiin jälleen tarkasti etävalvonnan kautta, eikä eristysvikaa enää ilmaantunut sateisella säällä. Kyseessä epäiltiin olevan asennuksen aikana vaurioitunut liitin, joka on ajan myötä päässyt kastumaan aiheuttaen lopulta kostealla säällä esiintyvän eristysvian.

### 4.3 Aurinkopaneelien tehopoikkeamat

32 kWp:n kokoisesta aurinkosähköjärjestelmästä löydettiin etävalvontajärjestelmän dataa analysoimalla 6 aurinkopaneelia, joiden sähköntuotanto poikkesi muista kohteella olevista paneeleista.

Kohteen tiedot ovat seuraavanlaiset

- käyttöönottovuosi: 2019
- paneeliteho: 33,3 kWp
- AC-teho: 27,6 kVA
- aurinkopaneelit: 96 kpl 330 Wp
- virranoptimoijat: 48 kpl SolarEdge P730
- vaihtosuuntaajat: 1 kpl SolarEdge 27,6
- asennustelineet: Aerocompact S15-tasakattoteline.

#### 4.3.1 Aurinkopaneelien takuut

Lähtökohtaisesti kaikilla aurinkopaneeleilla on paneelivalmistajalta kaksi takuuta: tehotakuu ja tuotetakuu. Tehotakuu takaa, että yksittäisen aurinkopaneelin teho putoaa lineaarisesti tietyllä ajanjaksolla vain tietyn määrän. (Kuva 17)



Kuva 17. Aurinkopaneelin tehotakuu.

Tehotakuut ovat tyypillisesti valmistajasta riippuen 25 tai 30 vuotta ja tehon lasku tänä aikana esimerkiksi 20 %. Tämä tarkoittaa sitä, että 25 tai 30 vuoden käytön jälkeen paneelin tehon tulisi olla vähintään 80 % paneelin alkuperäisestä nimellistehosta. Tuotetakuut ovat yleensä 10–12 vuotta ja ne kattavat tietyin rajaehdoin aurinkopaneelin mekaanisen eheyden. Mekaanisella eheydellä tarkoitetaan, että paneelissa ei ole valmistusvikoja, laatuongelmia tai komponentti- ja materiaalivirheitä. [29.]

#### 4.3.2 Datan analysointi

Kohde, jossa havaittiin aurinkopaneelien tehopoikkeamia, on käyttöön otettu vuonna 2019, joten paneelivalmistajan kaikki takuut ovat edelleen voimassa. Etävalvontajärjestelmästä havaittiin, että osassa kohteen aurinkopaneeleita on havaittavissa pieniä tehopoikkeamia (Kuva 18)



161.9 kWh	161.9 kWh	165.29 kWh	165.29 kWh	166.56 kWh	166.56 kWh	163.19 kWh	163.19 kWh	173.23 kWh	173.23 kWh	171.07 kWh	171.07 kWh
1.0.3	1.0.3	1.0.33	1.0.33	1.0.32	1.0.32	1.0.37	1.0.37	1.0.20	1.0.20	1.0.16	1.0.16
152.16 kWh	152.16 kWh	165 kWh	165 kWh	166.16 kWh	166.16 kWh	165.61 kWh	165.61 kWh	166.35 kWh	166.35 kWh	168.74 kWh	168.74 kWh
1.0.27	1.0.27	1.0.24	1.0.24	1.0.11	1.0.11	1.0.43	1.0.43	1.0.19	1.0.19	1.0.46	1.0.46
164.72 kWh	164.72 kWh	170.95 kWh	170.95 kWh	166.62 kWh	166.62 kWh	139.64 kWh	139.64 kWh	165.69 kWh	165.69 kWh	167.39 kWh	167.39 kWh
1.0.4	1.0.4	1.0.28	1.0.28	1.0.21	1.0.21	1.0.17	1.0.17	1.0.2	1.0.2	1.0.48	1.0.48
165.8 kWh	165.8 kWh	169.85 kWh	169.85 kWh	167.19 kWh	167.19 kWh	145.14 kWh	145.14 kWh	170.66 kWh	170.66 kWh	166.85 kWh	166.85 kWh
1.0.14	1.0.14	1.0.42	1.0.42	1.0.8	1.0.8	1.0.12	1.0.12	1.0.13	1.0.13	1.0.38	1.0.38
164.37 kWh	164.37 kWh	165.38 kWh	165.38 kWh	163.82 kWh	163.82 kWh	165.79 kWh	165.79 kWh	110.55 kWh	110.55 kWh	111.25 kWh	111.25 kWh
1.0.22	1.0.22	1.0.10	1.0.10	1.0.1	1.0.1	1.0.40	1.0.40	1.0.44	1.0.44	1.0.35	1.0.35
165.44 kWh	165.44 kWh	159.62 kWh	159.62 kWh	162.93 kWh	162.93 kWh	164.04 kWh	164.04 kWh	163.86 kWh	163.86 kWh	164.94 kWh	164.94 kWh
1.0.23	1.0.23	1.0.7	1.0.7	1.0.31	1.0.31	1.0.5	1.0.5	1.0.41	1.0.41	1.0.29	1.0.29
170.05 kWh	170.05 kWh	167.84 kWh	167.84 kWh	166.26 kWh	166.26 kWh	161.82 kWh	161.82 kWh	160.71 kWh	160.71 kWh	164.35 kWh	164.35 kWh
1.0.15	1.0.15	1.0.45	1.0.45	1.0.30	1.0.30	1.0.47	1.0.47	1.0.9	1.0.9	1.0.6	1.0.6
166.69 kWh	166.69 kWh	169.53 kWh	169.53 kWh	168.96 kWh	168.96 kWh	168.22 kWh	168.22 kWh	159.8 kWh	159.8 kWh	164.87 kWh	164.87 kWh
1.0.36	1.0.36	1.0.34	1.0.34	1.0.39	1.0.39	1.0.26	1.0.26	1.0.18	1.0.18	1.0.25	1.0.25

Kuva 18. Aurinkopaneelien tehopoikkeamat etävalvomossa.

Ensimmäisenä toimenpiteenä tarkastettiin asennuksen aikana otettuja kohdekuvia ja varmistettiin, että paneelien edessä ei ole varjostumia aiheuttavia kapaleita tai puustoa kiinteistön ympärillä. (Kuva 19)



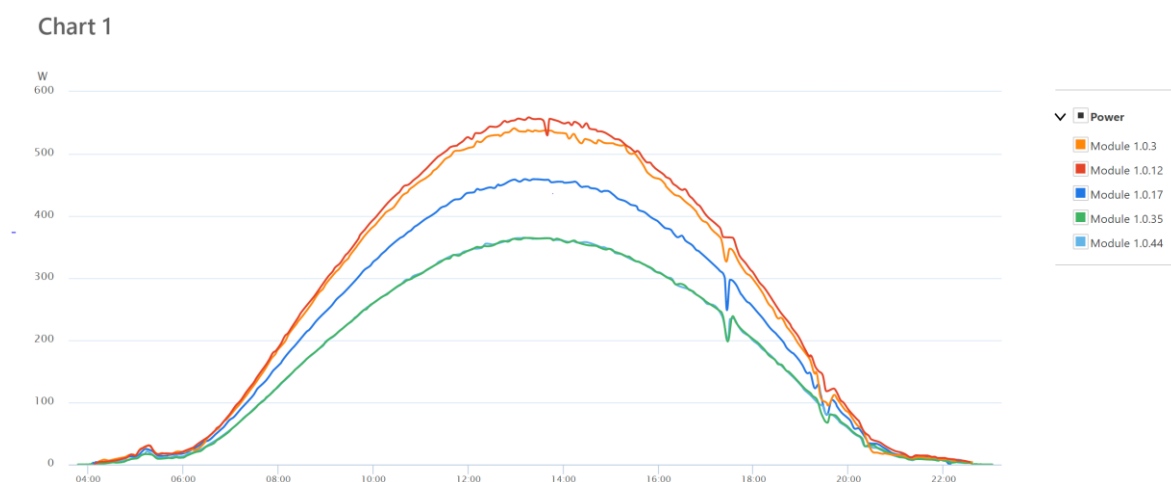
Kuva 19. Kohdekuva aurinkosähköjärjestelmästä.

Varjostumia kohteen aurinkopaneeleissa ei ollut, joten lähdettiin tutkimaan tarkemmin kyseisten aurinkopaneelien dataa etävalvontajärjestelmästä. Kohteella



on käytössä P730-mallin virranoptimoijat, eli kaksi paneelia on kytketty yhteen virran optimoijaan. Datan analysoimista varten otettiin kohteelta yksi normaalisti tuottava paneelipari referenssiarvoksi.

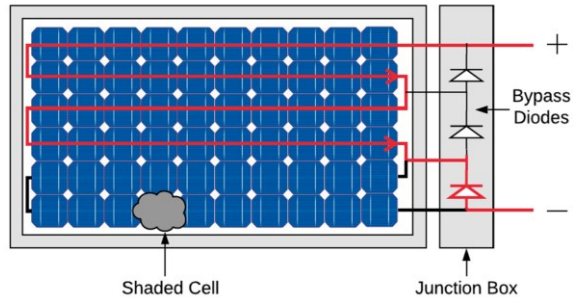
Ensimmäisenä tarkasteltiin kohteen aurinkopaneelien tehoja etävalvontajärjestelmästä aurinkoiselta päivältä. Kuvassa 20 paneelipari P1.0.3 on referenssi paneelipari, johon muiden paneelien toimintaa verrattiin. Tehokäyrästä nähtiin, että paneeliparit P1.0.35, P1.0.44, P1.0.12 ja P1.0.17 toimivat jatkuvasti alhaisemmalla teholla, kuin referenssinä käytetty P1.0.3.



Kuva 20. Aurinkopaneelien tehokäyrät etävalvontajärjestelmässä.

Yksi yleisimmistä vioista aurinkopaneeleissa ovat vikaantuneet ohitusdiodit.

Diodien tarkoituksena on ohittaa aurinkopaneelissa mahdollisesti varjostunut tai vikaantunut kohta, joka voi aiheuttaa kennojen ylikuumenemisen ja hajoamisen (Kuva 21). [30.]



Kuva 21. Aurinkopaneelin ohitusdiodien toiminta. [31.]

Kohteen aurinkopaneeleissa on yhdessä paneelissa 3 ohitusdiodia. Vikaantuneet ohitusdiodit voidaan löytää tarkastelemalla paneelien jännitteitä.

Ohitusdiodien tarkastamiseksi etävalvontajärjestelmästä tulostettiin kohteesta taulukko kyseessä olevien paneelien jännitteistä kuukauden ajalta (Taulukko 1). Taulukossa havainnollistetaan vihreällä värillä paneeliparin normaalijännitettä ja punaisella värillä paneeliparin epänormaalia jännitettä.

Taulukko 1. Aurinkopaneelien jännitteet

Päivämäärä	P1.0.17 Vdc	P1.0.12 Vdc	P1.0.44 Vdc	P1.0.35 Vdc	P1.0.3 Vdc
13.6.2019	58.3354	69.1089	45.8843	45.9433	68.8372
14.6.2019	58.1593	69.7698	46.1868	45.9813	69.4468
15.6.2019	58.7487	70.3644	46.6012	46.6069	70.3601
16.6.2019	57.7197	69.3805	46.3563	45.9143	69.0705
17.6.2019	57.8043	69.6297	45.8153	46.0251	69.3019
18.6.2019	58.01	69.9312	45.9688	46.0199	69.553
19.6.2019	58.0125	69.4445	45.8588	46.0754	69.6365
20.6.2019	56.9435	68.4219	45.6652	45.5244	68.6124
21.6.2019	58.4818	69.5596	45.9085	45.751	68.9644
22.6.2019	59.961	71.7056	47.3362	47.1712	71.2814
23.6.2019	58.5644	70.5496	46.4292	46.5384	70.0194
24.6.2019	58.7188	70.6117	46.4859	46.7555	70.1112
25.6.2019	57.8851	69.7293	45.7184	46.1293	69.5296
26.6.2019	57.8567	69.3519	45.591	46.1002	69.0746
27.6.2019	58.4485	70.486	46.388	46.4481	70.3506
28.6.2019	58.9701	70.9005	46.5796	46.658	70.9328
29.6.2019	59.1268	71.0258	46.7961	46.6983	70.5204
30.6.2019	57.9915	69.7702	45.7672	46.3152	69.3587
1.7.2019	58.1136	64.4385	45.9613	46.1618	69.5249
2.7.2019	58.7459	59.9935	46.3937	46.5465	70.2494
3.7.2019	59.5397	59.3865	47.0107	47.1454	71.6113
4.7.2019	59.4994	59.2879	47.284	47.1577	71.7956
5.7.2019	58.6451	58.5114	46.5661	46.3203	70.5374
6.7.2019	58.3327	58.0139	46.0715	46.2905	69.8693
7.7.2019	57.9126	57.8507	45.9597	46.4353	69.7318
8.7.2019	59.1199	59.0229	46.9443	46.967	70.8459
9.7.2019	59.1778	58.9333	47.0068	46.7206	71.0928
10.7.2019	58.2663	58.0239	46.1559	46.4944	69.7318
11.7.2019	59.0171	58.9742	46.8504	46.7185	70.6003
12.7.2019	58.3306	58.0116	46.0829	46.2484	69.6656
13.7.2019	58.9575	58.8628	46.8204	46.9448	70.6148

Referenssinä käytettiin jälleen paneeliparia P1.0.3, jonka jännitteet olivat normaalitasolla. Taulukon perusteella havaittiin, että paneelipari P1.0.12 oli vikaantunut tulostetun taulukon ajanjaksolla, ja P1.0.17, P1.0.44 ja P1.0.35 olivat vikaantuneet jo ennen tarkasteluajanjaksoa.

Taulukon perusteella voitiin tehdä laskutoimitukset siitä, oliko kummassakin virran optimoijaan kytketyssä paneelissa vikaantunut ohitusdiodi vai oliko vain yksi paneeli vikaantunut (Taulukko 1). Yhteen virran optimoijaan oli kytketty 2 paneelia, joissa kummassakin oli kolme ohitusdiodia eli yhdessä virran optimoijassa oli 6 diodia.

Referenssipaneeliparin jännitettä käytettiin laskentaperusteena, jolloin yhden vikaantuneen diodin aiheuttama jännitteenlasku paneeliparissa voidaan laskea kaavalla (Kaava 4)

$$\frac{70 V}{6} = 11,7 V \quad (5)$$

Taulukosta laskettiin tämän perusteella, että paneelipareissa P1.0.17 ja P1.0.12 oli kummassakin yhdet vikaantuneet paneelit ja paneelipareissa P1.0.44 ja P1.0.35 kummatkin paneelit olivat vioittuneet (Taulukko 1).

Kerätyn datan perusteella tehtiin takuupyynnö paneelivalmistajalle kuuden paneelin osalta tuotetakuun alaisesta viasta. Valmistaja hyväksyi takuupyynnön, ja vikaantuneet paneelit vaihdettiin kohteella uusiin.

## 5 Yhteenveto

Aurinkosähköalalla ollaan Suomessa edelleen murrosvaiheessa. Alan kasvu on nopeaa ja uusia toimijoita tulee markkinoille koko ajan lisää, kun taas lait, standardit ja vaatimukset päivittyvät hitaasti. Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapito on hyvä esimerkki siitä, kuinka kasvumarkkinassa muutaman vuoden takainen tieto aurinkosähköjärjestelmien huoltovapaudesta on muuttunut. Aurin-

kosähköjärjestelmiä rakennetaan koko ajan kumulatiivisesti lisää ja samaan aikaan vanhemmat järjestelmät ikääntyvät ja vikoja alkaa esiintyä. On oletettavaa, että myös järjestelmien vikaesiintyvyys kasvaa lähes samaan tahtiin kuin markkina ellei nopeammin.

Työn tarkoituksena on näyttää, että aurinkosähköjärjestelmät eivät ole huoltovapaista ja että on olemassa jo hyvin vakiintuneita käytäntöjä muilta markkinoilta järjestelmien kunnossapitoon liittyen. Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapidon laiminlyönti voi aiheuttaa merkittäviä riskejä sekä turvallisuudelle että aurinkosähköjärjestelmän taloudelliselle kannattavuudelle.

Työhön valitut kohdekäynnit ovat suhteellisen pieni otanta erilaisista toimenpiteistä, joita aurinkosähköjärjestelmien elinkaaren aikana tulee vastaan. Olisi mahdollista laajentaa työtä pidemmän aikavälin seurannalla, jotta saataisiin isompi otanta erilaisista järjestelmistä ja toimenpiteistä.

Esimerkiksi olisi hyvä saada vertailukohtia siitä, kuinka erilaisissa aurinkosähköjärjestelmissä vianhaku poikkeaa toisistaan, ja tehdä kustannusarviovertailua tällaisista kohteista. On kuitenkin oletettavaa, että mitä tarkemmalla tasolla pystytään seuraamaan järjestelmän eri komponenttien toimintaa, niin sitä nopeampaa vianhaku on. Suurin kustannus ja työosuus kuitenkin vianhaussa on aina paikan päällä tehtävä työ.

Jos aurinkosähköjärjestelmässä ei ole mitään säännöllistä seurantaa tai kunnossapitoa, myös mahdolliset viat ja ongelmat jäävät piiloon. Aurinkosähköjärjestelmien elinkaari on kuitenkin yli 25 vuotta, ja ilman säännöllistä seurantaa saattavat viat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia menetyksiä elinkaaren aikana.

Työn tavoitteena oli selventää aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon tarpeen laajuutta ja millaisia toimenpiteitä kunnossapito sisältää, sekä kuinka erilaiset teknologiat vaikuttavat kunnossapitoon. Näiden asioiden pohjalta tarkennetaan yrityksen kunnossapidon ohjeistusta huoltotoimintaan. Tavoitteessa onnistuttiin hyvin ja työ antaa hyvän pohjan aurinkosähköjärjestelmien yleisimpien

huoltotoimenpiteiden toteutukseen ja ymmärryksen siitä, millaisia yleisimmät viat aurinkosähköjärjestelmissä ovat. Kohdekäyntien osuus työstä olisi kuitenkin voinut olla laajempi ja yksityiskohtaisempi ja sisältää enemmän mittaustoimenpiteitä.

## Lähteet

- 1 Nopea toiminta esti vakavamman onnettomuuden Launeen Prismassa: Tulipalo syttyi todennäköisesti aurinkosähköjärjestelmästä. 2020. Verkkoaineisto. Päijät-Hämeen pelastuslaitos. <https://www.phpela.fi/nopea-toiminta-esti-vakavamman-onnettomuuden-launeen-prismassa-tulipalo-sytyi-todennakoisesti-aurinkosahkojarjestelmasta>. Päivitetty 15.4.2020. Luettu 11.11.2021.
- 2 Rasinkoski, Asko. 2020. Aurinkosähköjärjestelmien paloriskit ja sammutusturvallisuus. Verkkoaineisto. Motiva Oy. [https://www.motiva.fi/files/17365/Aurinkosahkojarjestelmien\\_paloriskit\\_ja\\_sammutusturvallisuus.pdf](https://www.motiva.fi/files/17365/Aurinkosahkojarjestelmien_paloriskit_ja_sammutusturvallisuus.pdf). Päivitetty 5.1.2020. Luettu 11.11.2021.
- 3 The global PV industry could be losing \$14.5 billion each year by 2024. 2021. Verkkoaineisto. PV Europe. <https://www.pveurope.eu/planning/solar-asset-management-global-pv-industry-could-be-losing-145-billion-each-year-2024>. Päivitetty 15.3.2021. Luettu 11.11.2021.
- 4 Snapshot of Global PV Markets. 2020. Verkkoaineisto. International Energy Agency. [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2021-V3.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA_PVPS_Snapshot_2021-V3.pdf). Päivitetty 1.4.2021. Luettu 12.11.2021.
- 5 Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti kasvoi 45 prosenttia vuonna 2020 - pientuotantoa lähes 300 megawattia. 2021. Verkkoaineisto. <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-kasvoi-45-prosenttia-vuonna-2020-pientuotantoa-lahes-300-megawattia>. Päivitetty 17.6.2021. Luettu 12.11.2021
- 6 Aurinkosähköt teknologiat. 2017. Verkkoaineisto. Motiva Oy. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat). Päivitetty 20.08.2021. Luettu 12.11.2021.
- 7 Invertteri. 2020. Verkkoaineisto. Aurinkovirta Oy. <https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>. Päivitetty 03.03.2022. Luettu 29.3.2022.
- 8 Ahmad, Busarello, I.Khan, M.Khan, Kim, Sathishkumar, Uddin & Zeb. 2018. Review on Recent Advances and Future Trends of Transformerless Inverter Structures for Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems. Verkkoaineisto. Energies. <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/8/1968/htm>. Päivitetty 28.6.2018. Luettu 29.3.2022.

- 9 Aissanou, Bacha, Colin, Duvauchelle, Gaiddon, Kieny, Moine, Tanguy, Thi Minh & Tran-Quoc. 2010. Transformerless inverters and rcd: what's the problem?. Verkkoaineisto. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. [https://www.photovoltaique.info/media/filer\\_public/84/48/84448de14-4aa8-4908-ba31-876670176fa0/100901\\_esprit\\_transformerless\\_inverters\\_and\\_rcd\\_what\\_s\\_the\\_problem\\_hespul.pdf](https://www.photovoltaique.info/media/filer_public/84/48/84448de14-4aa8-4908-ba31-876670176fa0/100901_esprit_transformerless_inverters_and_rcd_what_s_the_problem_hespul.pdf). Päivitetty 6.9.2010. Luettu 29.3.2022.
- 10 Maximum powerpoint tracking. 2012. Verkkoaineisto. Solarquotes. <https://www.solarquotes.com.au/inverters/mppt/>. Päivitetty 1.3.2016. Luettu 12.11.2021.
- 11 Smalley, Joshua. 2015. What is a combiner box? Verkkoaineisto. Solar Power World. <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/06/what-is-a-combiner-box/>. Päivitetty 3.6.2015. Luettu 12.11.2021.
- 12 How to Calculate PV String Size. 2018. Verkkoaineisto. Mayfield Renewables. <https://www.mayfield.energy/blog/pv-string-size>. Päivitetty 10.10.2018. Luettu 12.11.2021.
- 13 LONGi Solar LR4-60HPH-375M (375W) Solar Panel. Verkkoaineisto. SolarDesignTool. <http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/LONGi-Solar/6516/LR4-60HPH-375M/specification-data-sheet.html;jsessionid=B6C6D30B5F9E9CB6066BE2A30C4C72EF>. Luettu 29.3.2022.
- 14 Safety Risks and Solutions in PV Systems for Europe and APAC. 2020. Verkkoaineisto. SolarEdge. [https://www.solaredge.com/sites/default/files//fire\\_safety\\_white\\_paper.pdf](https://www.solaredge.com/sites/default/files//fire_safety_white_paper.pdf). Päivitetty 1.5.2020. Luettu 11.11.2021.
- 15 Pavey, Sara. 2021. NEC 2020 Rapid Shutdown requirements. Verkkoaineisto. Mayfield Renewables. <https://www.mayfield.energy/blog/nec-2020-rapid-shutdown-requirements>. Päivitetty 2.4.2021. Luettu 11.11.2021.
- 16 What are DC power optimizers? 2022. Verkkoaineisto. SolarReviews. <https://www.solarreviews.com/blog/complete-guide-to-power-optimizers>. Päivitetty 14.2.2021. Luettu 29.3.2022.
- 17 Solar Panels: Cables and Connectors. 2020. Verkkoaineisto. Solarkobo. <https://www.solarkobo.com/post/solar-panels-cables-connectors>. Päivitetty 7.7.2020. Luettu 29.3.2022.
- 18 SFS 6000-7-712:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7- 712: erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.



- 19 Photovoltaic PV H1Z2Z2-K Cable. Verkkoaineisto. <https://www.eland-cables.com/cables/photovoltaic-solar-h1z2z2-k-cable>. Luettu 12.11.2021.
- 20 Heikkilä, Tuukka. 2021. Sähkön pientuotannon tekniset vaatimukset. Verkkoaineisto. Energiateollisuus Ry. <https://www.lahtienergia.fi/wp-content/uploads/2021/06/Pientuotannon-tekniset-vaatimukset.pdf>. Päivitetty 3.6.2021. Luettu 12.11.2021.
- 21 Tarvittava laitteisto. 2021. Verkkoaineisto. Motiva Oy. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto). Päivitetty 20.8.2021. Luettu 29.3.2022.
- 22 The importance of choosing a right material for solar racking. 2020. Verkkoaineisto. Antaisolar. [https://www.antaisolar.com/blog/the-importance-of-choosing-a-right-material-for-solar-racking\\_b70](https://www.antaisolar.com/blog/the-importance-of-choosing-a-right-material-for-solar-racking_b70). Päivitetty 28.7.2020. Luettu 13.11.2021.
- 23 Harjakatoille DELTA. Verkkoaineisto. Orima-Tuote Oy. <https://orima.fi/orima-solar/harjakatoille-delta/>. Luettu 13.11.2021.
- 24 Solar Array Tilt Angle and Energy Output. 2010. Verkkoaineisto. CED Greentech. <https://www.cedgreentech.com/article/solar-array-tilt-angle-and-energy-output>. Päivitetty 20.12.2021. Luettu 28.3.2022.
- 25 Ludt, Billy. 2021. East-west solar projects maximize the number of panels on an array. Verkkoaineisto. Solar Power World. <https://www.solarpowerworldonline.com/2021/12/east-west-solar-projects-maximize-the-number-of-solar-panels-on-an-array/>. Päivitetty 16.12.2021. Luettu 28.3.2022.
- 26 SFS-EN IEC 62446-2:2020. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 2: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapito. 2020. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 27 Operation & Maintenance Best Practice Guidelines Version 5.0. 2021. Verkkoaineisto. SolarPower Europe. <https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/o-and-m-best-practice-guidelines-version-5-0>. Päivitetty 19.12.2021. Luettu 28.03.2022.
- 28 Isolation Fault Troubleshooting – Application note. 2021. Verkkoaineisto. SolarEdge. [https://www.solaredge.com/sites/default/files/application\\_note\\_isolation\\_fault\\_troubleshooting.pdf](https://www.solaredge.com/sites/default/files/application_note_isolation_fault_troubleshooting.pdf). Päivitetty 1.10.2021. Luettu 12.11.2021.

- 29 Yingli Solar PV module Limited Warranty. 2016. Verkkoaineisto. Yingli Solar. <https://www.gundapower.com/yingli.pdf>. Päivitetty 1.5.2016. Luettu 10.11.2021.
- 30 Al-Jassim, Hacke, Jiang, Johnson, Kern & Xiao. 2020. Failure analysis of field-failed bypass diodes. Verkkoaineisto. National Renewable Energy Lab. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1660048>. Päivitetty 6.8.2020. Luettu 28.3.2022.
- 31 De Araujo, Dhimish, Guerra, Vieira. A comprehensive Review on Bypass Diode Application on Photovoltaic Modules. Verkkoaineisto. Energies. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/10/2472>. Päivitetty 14.5.2020. Luettu 29.3.2022.