

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

ESSI VERÄVÄINEN

# **Aurinkosähköjärjestelmän kunto- kartoitus lämpökuvaamisella**

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-  
JELMA  
2025

## TIIVISTELMÄ

Veräväinen, Essi: Aurinkosähköjärjestelmän kuntokartoitus lämpökuvaamisella

Opinnäytetyö, AMK

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Helmikuu 2025

Sivumäärä: 57

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin lämpökuvauksen soveltuvuutta aurinkopaneelien kunnonvalvontaan. Työn tavoitteena oli selvittää, miten aurinkopaneelien lämpökuvaus tulisi toteuttaa luotettavien tulosten saavuttamiseksi sekä millaisia vikoja lämpökuvat voivat paljastaa.

Työssä tarkasteltiin Porin Puuvillan aurinkopaneeleita kesän 2024 aikana erilaisissa sääolosuhteissa. Paneelit, joissa havaittiin lämpötilaeroja, tutkittiin tarkemmin ja verrattiin normaalilämpötilallisiin paneeleihin. Puuvillan paneelit todettiin hyväkuntoisiksi, ja ainoastaan havaittiin lämpötilapoikkeamia likaantumisen ja varjostumien takia.

Työ osoitti, että lämpökuvauksella voidaan havaita viat aikaisessa vaiheessa ennen niiden silminnähtävää ilmenemistä. Lämpötilaeroja aiheuttavat useat viat, joista yleisimpiä ovat varjostuksen ja likaantumisen aiheuttamat niin sanotut hot spotit eli kuumat pisteet. Lämpökuvauksen avulla voidaan siis parantaa aurinkopaneelien kunnossapitoa ja varmistaa niiden optimaalinen toiminta.

Avainsanat: aurinkopaneelit, aurinkovoimalat, kunnossapito, lämpökuvaus

## ABSTRACT

Veräväinen, Essi: Condition assessment of a solar power system using thermal imaging

Bachelor's thesis

Degree programme in Electrical and Automation Engineering

February 2025

Number of pages: 57

This thesis investigated the applicability of thermal imaging for monitoring the condition of solar panels. The aim of the study was to determine how thermal imaging of solar panels should be conducted to achieve reliable results and what types of defects thermal images can reveal.

The study examined the solar panels at Porin Puuvilla during the summer of 2024 under various weather conditions. Panels exhibiting temperature differences were further analyzed and compared to panels with normal temperatures. The panels at Puuvilla were found to be in good condition, with temperature anomalies observed only due to dirt accumulation and shading.

The study demonstrated that thermal imaging can detect faults at an early stage before they become visible to the naked eye. Several issues can cause temperature variations, the most common being so-called hot spots, which result from shading and dirt accumulation. Thermal imaging can thus enhance solar panel maintenance and ensure their optimal performance.

Keywords: solar panels, solar power plants, maintenance, thermal imaging

## ALKUSANAT

Haluan lämpimästi kiittää Marko Ylistä tuesta tämän opinnäytetyön valmistamisessa. Kiitän myös Sähköinfoa ja SETI Oy:tä mahdollisuudesta esitellä työtäni heidän sähkölaitteiston lämpökuvaajien ajankohtaispäivänä, mikä antoi minulle arvokasta näkyvyyttä ja palautetta työstäni. Esitelmä on liitteessä 1. Lisäksi kiitokset siitä, että sain osallistua Sähkölaitteiston lämpökuvaus -kirjan kirjoittamiseen. Erityiset kiitokset isälleni, Juha Veräväiselle, lämpökuvauksien suorittamisesta dronella, sekä hänen jatkuvasta tuestaan.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA .....	8
3 AURINKOENERGIA .....	9
3.1 Aurinkovoima.....	9
3.2 Aurinkoenergia Suomessa .....	10
3.3 Aurinkovoiman hyödyt ja haitat.....	11
4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	11
4.1 Aurinkopaneelit.....	12
4.1.1 Aurinkopaneelin rakenne .....	13
4.1.2 Aurinkopaneelin sisäinen kytkentä.....	14
4.1.3 Half-cut-teknologia.....	15
4.1.4 Aurinkopaneelin toimintaperiaate.....	17
4.2 Invertteri .....	18
5 LÄMPÖKUVAUKSESSA KÄYTETTY LAITTEISTO.....	19
5.1 Drone.....	19
5.2 Käsikamera .....	20
6 LÄMPÖKUVAUS.....	20
6.1 Lämpösäteily .....	22
6.2 Emissiokerroin.....	22
6.3 Kuvaamisen valmistelut.....	23
6.4 Kuvaaminen .....	26
6.5 Drone.....	27
6.6 Pätevyudet.....	27
6.7 Lämpökuvauslaitteiston vaatimukset.....	28
7 TULOSTEN TARKASTELU .....	29
7.1 Hot spot.....	29
7.1.1 Rikkoutunut lasi .....	30
7.1.2 Sisäiset ongelmat .....	30
7.1.3 Varjostukset.....	31
7.2 Ohitusdiodit .....	32
7.3 Liittimet .....	33
7.4 Tulkinta.....	35
8 PALOTURVALLISUUS .....	35
9 YHTEENVETO.....	36
LÄHTEET.....	39



## 1 JOHDANTO

Aurinkopaneelien käyttö energiantuotannossa on kasvanut merkittävästi viime vuosina uusiutuvan energian kysynnän ja teknologian kehityksen myötä. Samalla niiden suorituskyvyn ja turvallisuuden varmistamisesta on tullut yhä tärkeämpää.

Lämpökuvaus eli termografia on menetelmä, jolla mitataan ja visualisoidaan lämpötilaeroja kappaleen pinnalla. Tämä mahdollistaa erilaisten vikojen, kuten kuumien pisteiden ja mekaanisten vaurioiden, tunnistamisen. Nämä voivat heikentää aurinkopaneelien suorituskykyä ja lyhentää niiden elinkaarta, minkä vuoksi niiden ennaltaehkäisevä tunnistaminen on tärkeää.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan lämpökuvausta aurinkopaneelien kunnossapidon työkaluna ja sen merkitystä järjestelmien tehokkuuden ja käyttöiän parantamisessa. Työn tavoitteena on syventää ymmärrystä aurinkopaneelien lämpökuvauksesta ja sen tarjoamista mahdollisuuksista aurinkopaneelien käytön eri vaiheissa, kuten käyttöönotossa, ylläpidossa ja huollossa. Työssä on käytetty SAMKin ohjeiden mukaisesti tekoälyä, CHATGPT:tä sekä Copilottia, kielentarkistuksen välineenä.

Tämä opinnäytetyö on laadittu noudattaen eettisiä periaatteita ja hyvää tieteellistä käytäntöä. Työssä on huomioitu Tutkimuseettisen neuvottelukunnan vuonna 2012 laatimat hyvän tieteellisen käytännön ohjeet, jotka korostavat rehellisyyttä, huolellisuutta ja tarkkuutta kaikissa tutkimusprosessin vaiheissa. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2012.)

## 2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Työn toimeksiantajana on vuonna 2010 perustettu kauppakeskus Porin Puuvilla Oy, joka sijaitsee Porissa keskustan läheisyydessä. Puuvilla on kiinteistö-osaakeyhtiö, jonka pääasiallinen toimiala on toimitilojen välitys, myynti ja vuokraus. (Finder, n.d.)

Vuonna 2017 Puuvillan katolle asennettiin laaja aurinkosähköjärjestelmä, joka koostuu 2226 aurinkopaneelista (Puuvilla, n.d.). Paneelit ovat Naps Saana 270W -mallia, ja niiden yhteenlaskettu nimellisteho on 601 kWp. Kuten kuvasta 1 näkyy, järjestelmä on laaja ja kattaa merkittävän osan rakennuksen katosta.



Kuva 1. Puuvillan katto on hyödynnetty tehokkaasti aurinkoenergian tuotantoon.

Kuvassa 2 näkyy vuonna 2023 Puuvillan katolla sijaitsevalle pysäköintialueelle asennettu aurinkovoimala, joka koostuu 772 paneelista (Puuvilla, n.d.). Yksittäisen paneelin nimellisteho on 410 W, ja ne ovat Hitouch 5 CP18-54H -mallia, joissa hyödynnetään muun muassa half-cut-tekniikkaa.



Kuva 2. Osa pysäköintialueesta otettiin hyötykäyttöön aurinkoenergian tuotannossa.

Puuvillan aurinkovoimalat ovat kokonaisuutena yksi Suomen suurimmista kiinteistökohtaisista aurinkovoimalaitoksista. Vuodessa ne tuottavat energiaa 750 000 kWh. (Puuvilla, n.d.) Vuonna 2017 rakennetun aurinkovoimalan kustannukset olivat noin 650 000 €, ja sen takaisinmaksuajaksi on arvioitu 13 vuotta (Mattila, 2022). Vuonna 2023 valmistuneen uuden voimalan kustannukset olivat puolestaan noin 300 000 €, ja sen takaisinmaksuajaksi on laskettu 7–8 vuotta (Neva, 2023).

## 3 AURINKOENERGIA

### 3.1 Aurinkovoima

Aurinko on kaasupallo, jonka ulkokuori koostuu pääasiassa vedystä ja heliumista. Auringon säteilemä energia syntyy fuusioreaktiossa, jossa kaksi vetyatomin ydintä yhdistyy Auringon ytimessä heliumatomiksi. Tällöin vapautuu suuri määrä energiaa. Lämpöydinreaktioiden eli fuusion seurauksena Auringon kokonaisteho on  $3,8 \times 10^{23}$  kilowattia. Tästä energiasta Maahan kohdistuu noin  $1,7 \times 10^{14}$  kilowattia. (Tahkokorpi, 2016, s. 11–13.)

Maapallon ilmakehän ulkopuolella kohtisuoraan neliömetrin kokoiselle pinnalle osuvan auringonsäteilyn teho on 1,35–1,39 kilowattia. Tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi, ja sen keskiarvo on noin 1,368 kW. Maapallon ja Auringon välisen etäisyyden vaihteluiden vuoksi aurinkovakio vaihtelee  $\pm 3,5$  prosenttia. (Tahkokorpi, 2016, s. 12–13.)

Kun auringonsäteily kulkee ilmakehän läpi, siitä menetetään jopa noin 40 prosenttia, koska ilmakehä suodattaa ja heijastaa osan säteilystä. Tällöin, kun aurinkovakio on 1,368 kW/m<sup>2</sup> ilmakehän ulkopuolella, maanpinnalle saapuva säteilyteho on parhaimmillaan noin 1 kW/m<sup>2</sup>. (Tahkokorpi, 2016, s. 13.)

Auringon säteilyteho on aamulla ja illalla pienempi kuin keskipäivällä ja talvella heikompi kuin kesällä. Tämä johtuu siitä, että ilmakehä sisältää erilaisia kaasumolekyylejä, vesihöyryä ja epäpuhtauksia, jotka heikentävät auringonsäteiden pääsyä maanpinnalle. (Tahkokorpi, 2016, s. 14.)

Auringon kokonaissäteily koostuu sekä suorasta että hajasäteilystä. Hajasäteily syntyy, kun säteily heijastuu ilmakehästä, pilvistä ja maan pinnasta. Etelä-Suomessa noin puolet vuotuisesta säteilystä on hajasäteilyä. Aurinkopaneelien tuotantoon ei vaikuta, onko kyseessä suora vai hajasäteily. Sen sijaan keskittävät aurinkosähköjärjestelmät ja Aurinkoa seuraavat järjestelmät eivät ole taloudellisesti järkeviä, koska ne hyödyntävät tehokkaasti pääasiassa suoraa säteilyä. (Motiva, n.d.-a.)

### 3.2 Aurinkoenergia Suomessa

Suomen pohjoisesta sijainnista huolimatta Etelä-Suomen vuotuinen auringonsäteilyn määrä vastaa Keski-Euroopan tasoa. Suomessa auringonsäteilyn määrä vaihtelee suuresti vuodenaikojen mukaan, mutta viileä ilmasto parantaa aurinkoenergiajärjestelmien hyötysuhdetta. (Energiateollisuus, n.d.) Aurinkopaneelien napajännite nousee lämpötilan laskiessa ja sen takia aurinkopaneelien tehot nousevat (Omavoima, 2024).

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat useat tekijät. Merkittävimpiä ovat oikea mitoitus ja hankintahinta, kulutuspaikan sähkönhinta, paikallinen auringonsäteilyn määrä sekä paneelien asennustapa. Järjestelmä tulisi mitoittaa niin, että mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä saadaan käytettyä itse, koska sähköverkkoon myytävästä sähköstä saa merkittävästi pienemmän taloudellisen hyödyn. (Motiva, n.d.-c.)

### 3.3 Aurinkovoiman hyödyt ja haitat

Aurinkovoima on puhdas ja uusiutuva energianlähde (Energiateollisuus, n.d.). Se vähentää riippuvuutta uusiutumattomista energialähteistä. Aurinkopaneelit ovat hiljaisia, vaativat vähän kunnossapitoa ja niiden käyttöikä on 25–30 vuotta. (Vattenfall, n.d.) Teknologian kehittyessä aurinkopaneelien kustannukset laskevat ja niiden hyötysuhde paranee (Energiateollisuus, n.d.).

Aurinkovoiman merkittävin haaste on tuotannon epävakaus, sillä se riippuu täysin auringonvalosta, joka vaihtelee päivittäin ja vuodenaikojen mukaan (Energiateollisuus, n.d.). Vaikka aurinkovoima on itsessään päästötöntä käytön aikana, paneelien valmistukseen, kuljetukseen ja asennukseen liittyy välillisiä päästöjä ja ympäristövaikutuksia (Vattenfall, n.d.). Aurinkopaneelit vaativat runsaasti tilaa jo pientalokokoluokassa, ja niiden tehokas hyödyntäminen edellyttää erilaisia varastointiratkaisuja, jotta energiaa voidaan käyttää myös silloin, kun aurinko ei paista (Motiva, n.d.-c).

## 4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

”Aurinkosähköjärjestelmä voi olla erillinen eli verkkoon kytkemätön (off-grid) tai yleiseen sähkönjakelu- tai kiinteistöjen sähköverkkoon kytketty (on-grid) järjestelmä” (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, 2023, s. 5). Verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä aurinkopaneelien tuottama sähkö varastoidaan akkuihin, mikäli sähköntuotanto ja -kulutus eivät tapahdu samanaikaisesti.

Järjestelmään kuuluu lataussäädin, joka asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin. Mikäli tasavirta halutaan vaihtovirraksi, järjestelmään on lisättävä invertteri. (Motiva, n.d.-f.)

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista ja vaihtosuuntajasta eli invertteristä. Aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano on havainnollistettu kuvassa 3. Yleensä invertteriin on integroitu tarvittavat suojalaitteet ja tasavirtapiirin turvakytkin. Näiden lisäksi kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän on oltava erotettavissa sähköverkosta lukittavalla vaihtovirtapiirin turvakytkimellä. (Motiva, n.d.-g.)



Kuva 3. Verkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Motiva, n.d.-g).

#### 4.1 Aurinkopaneelit

Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä aurinkopaneelien avulla, joita on saatavilla monentyyppisiä eri tarkoituksiin. Paneelit asennetaan useimmiten rakennusten katoille, mutta ne voidaan asentaa myös esimerkiksi julkisivuihin, maataloneisiin tai aurinkoseuraimiin. (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, 2023, s. 4.) Viime aikoina aurinkopaneeliteknologia on edistynyt merkittävästi, mikä on lisännyt erityisesti verkkoon liitettävien järjestelmien taloudellista kannattavuutta ja suosiota (Väre, 2020).

Aurinkopaneelien yleisimmät tyypit ovat monikiteiset, yksikiteiset ja ohutkalvopaneelit. Yksikiteiset paneelit tarjoavat parhaan hyötysuhteen, kun taas monikiteiset ovat edullisin vaihtoehto. Ohutkalvopaneelit puolestaan erottuvat keveydellään ja joustavuudellaan. (Marsh, 2023.) Kuten kuvasta 4 voidaan

havaita, erilaiset paneelityypit ovat melko helposti erotettavissa toisistaan. Yksikiteinen paneeli on tasalaatuinen, monikiteinen näyttää epätasaiselta ja ohutkalvopaneelit ovat yleensä selkeästi tummemman sävyisiä sekä hyvin ohuita. (ST-Käsikirja 40, 2023, s. 41.)



Kuva 4. Vasemmalta oikealle: yksikiteinen paneeli, monikiteinen paneeli ja ohutkalvopaneeli (ST-Käsikirja 40, 2023, s. 41).

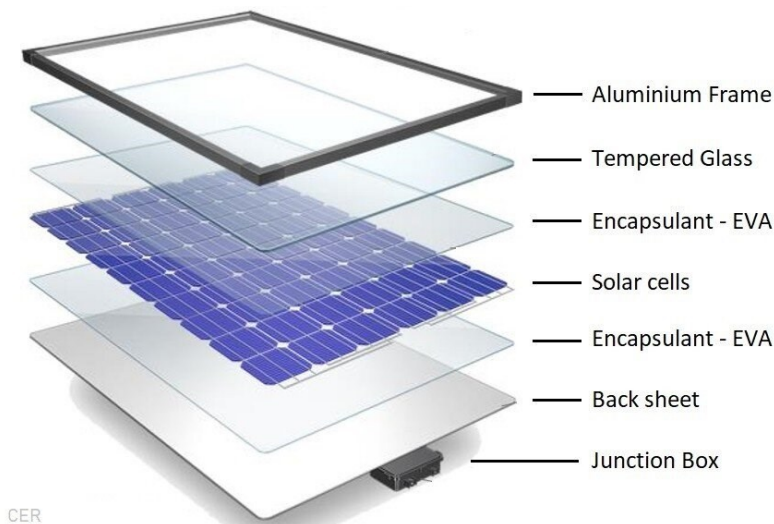
#### 4.1.1 Aurinkopaneelin rakenne

Paneelin ylin kerros on karkaistua lasia, joka suojaa sen sisällä olevia komponentteja ympäristön rasituksilta, kuten sääolosuhteilta, samalla mahdollistaen auringonsäteilyn pääsyn paneelin sisään. Karkaistun lasin alla on ensimmäinen kapselointikalvo, joka pitää aurinkokennot paikoillaan ja suojaa niitä kosteudelta ja muilta haitallisilta aineilta. Varsinaiset aurinkokennot, jotka valmistetaan puolijohdemateriaalista, ovat sarjaan kytkettyjä piikiekkoja. (Aurinkopaneeli, n.d.; Svarc, 2022.)

Aurinkokennojen kaupallisissa sovelluksissa käytetään pääasiassa yksi- ja monikiteisiä piikennoja. Monikiteinen pii valmistetaan yksikiteisen piin valmistusprosessin leikkuu- ja hiontajätteestä sulattamalla ja kiteyttämällä jäte haluttuun muotoon. Tämä prosessi aiheuttaa kidevirheitä piin kiderakenteeseen, minkä vuoksi sitä kutsutaan monikiteiseksi. Kidevirheet heikentävät kennojen hyötysuhdetta. Kennojen kontaktit, jotka yleensä valmistetaan hopeasta, painetaan niiden etu- ja takapinnoille, jolloin ne muodostavat positiivisen ja

negatiivisen elektrodin. Paneeleissa kennot kytketään yleensä sarjaan juottamalla. (ST-käsikirja 40, 2023, s. 41–42.)

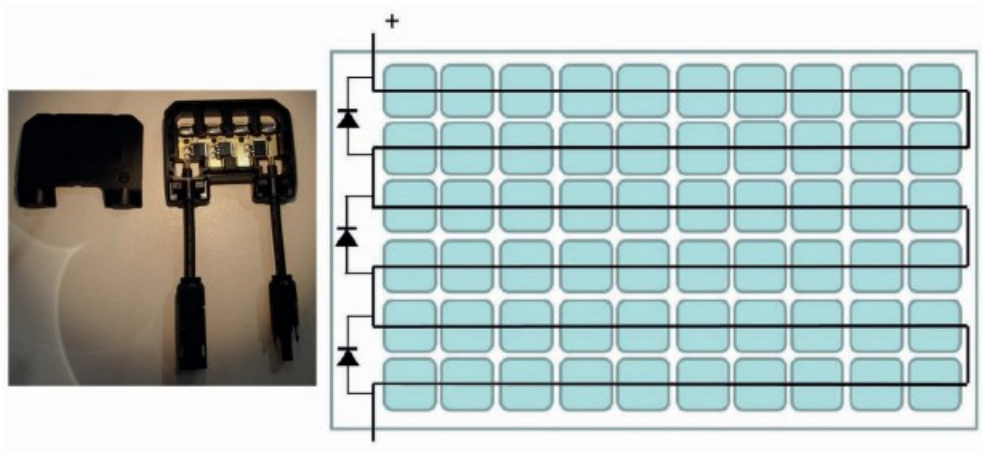
Aurinkokennojen alla on toinen kapselointikalvo, joka toimii samalla tavoin kuin ylempi kapselointikalvo. Paneelin pohjalla on taustalevy, joka antaa paneelille mekaanista tukea ja lisäsuojaa. Koko rakenne on kehystetty alumiiniprofiililla, joka tekee paneelista jäykän ja helpottaa sen asentamista. Paneelin taakse on liimattu kytkentärasia, jonka kautta tuotettu sähkö johdetaan ulos paneelista. Kuvassa 5 on esitetty aurinkopaneelin rakenne. (Aurinkopaneeli, n.d.; Svarc, 2022.)



Kuva 5. Aurinkopaneelin rakenne (Aurinkopaneeli, n.d.).

#### 4.1.2 Aurinkopaneelin sisäinen kytkentä

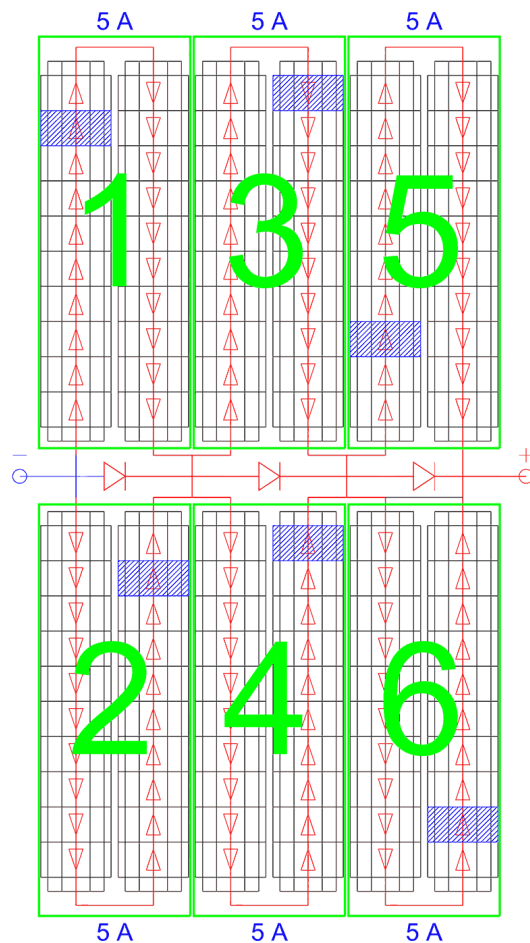
Tyypillisesti aurinkopaneeli koostuu 60–72 kennosta, jotka on kytketty sarjaan (HSA Oy, n.d.). Nykyään lähes kaikissa paneeleissa on varjostuksen siedon parantamiseksi sisäiset ohitusdiodit. Tyypillisesti diodeja on kolme ja ne on sijoitettu kuvan 6 mukaisesti paneelin kytkentärasiaan. Tällöin paneeli jakautuu kolmeen yhtä suureen osioon. (ST-Käsikirja 40, 2023, s. 76.) Tämä kytkentä varmistaa, että jos yksittäinen kenno varjostuu, se vaikuttaa vain kolmasosaan paneelin kokonaistehosta, kun ohitusdiodin avulla virta jatkaa kulkuaan varjostuneen jonon ohi. Kuitenkin, jos varjo peittää kaikki kolme osa-aluetta, menetetään paneelin tuotantokyky. (HSA Oy, n.d.)



Kuva 6. Aurinkopaneelin sisäinen kytkentä (ST-Käsikirja 40, 2023, s. 76).

#### 4.1.3 Half-cut-teknologia

Half-cut-teknologia on kehitetty vähentämään varjostuksen aiheuttamia ongelmia aurinkopaneeleissa (HSA Oy, n.d.). Tässä ratkaisussa paneelien kennojen määrä on kaksinkertaistettu halkaisemalla kennot ja ne sijoitetaan paneeliin kahteen rinnakkaiseen sarjakytkentään. Half-cut-paneeleissa on kolme ohitusdiodia, mutta rakenteensa ansiosta paneeli jakautuu kolmen sijasta kuuteen osaan (kuva 7). (ST-Käsikirja 40, 2023, s. 46.)



Kuva 7. Half-cut-paneelin sisäinen kytkentä (HSA, n.d.).

Yksi half-cut-paneelien merkittävimmistä eduista on niiden kaksoismoduulirakenne. Tämä rakenne on erityisen hyödyllinen silloin, kun paneelille muodostuu varjostumia. Half-cut-paneeleissa vain varjon peittämä osa paneelista lakkaa tuottamasta sähköä, kun taas aurinkoa saava osa jatkaa tuotantoa normaalisti. (Lumme Energia, n.d.)

Kennojen puolittaminen parantaa niiden kestävyyttä. Kennojen pienempi koko tekee niistä huomattavasti vähemmän alttiita mikrohalkeamille, jotka voivat heikentää paneelin suorituskykyä ajan kuluessa. Lisäksi puolitetut kennot tuottavat vähemmän hukkalämpöä. Kun hukkalämpöä syntyy vähemmän, suurempi osa auringonvalosta muuntuu suoraan sähköksi, mikä parantaa paneelin kokonaistehokkuutta. (Lumme Energia, n.d.)

#### 4.1.4 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Kaikki aineet koostuvat atomeista. Atomin keskellä on protoneista ja neutroneista koostuva ydin, jota kiertää elektronit. Protonit ovat positiivisesti varautuneita, elektronit negatiivisesti varautuneita, ja neutroneilla ei ole varausta. Sähkövirta syntyy, kun sähkövaraukset liikkuvat. Aineet luokitellaan sähköjohtokyvyn mukaan kolmeen ryhmään: johteisiin, eristeisiin ja puolijohteisiin. Johdeaineessa uloimmat elektronit voivat liikkua vapaasti, joten ne johtavat sähköä hyvin. Eristeaineessa elektronit eivät pääse liikkumaan aineessa, minkä vuoksi nämä aineet eivät johda sähköä. Puolijohteissa uloimmat elektronit eivät normaalisti liiku vapaasti, mutta lämpö- tai valoenergian avulla osa elektroneista voi irrota atomeistaan ja päästä liikkeelle, mikä mahdollistaa sähköjohtamisen. (Perälä, 2017, s. 29–30.)

Puolijohteiden seostamisella voidaan parantaa materiaalien sähköjohtavuutta. Kun puolijohde seostetaan fosforilla, muodostuu ylimääräisiä elektroneja, jotka toimivat varauksenkuljettajina. Tätä negatiivisesti varautunutta materiaalia kutsutaan N-tyyppin aineeksi. Vastaavasti, kun puolijohde seostetaan boorilla, syntyy aukkoja, joita voidaan käsitellä ylimääräisinä positiivisina varauksina. Tätä positiivisesti varautunutta materiaalia kutsutaan P-tyyppin aineeksi. (Perälä, 2017, s. 33–34.)

Kun N-aine ja P-aine asetetaan vierekkäin, ne muodostavat P-N-liitoksen. Tässä liitoksessa elektronit voivat liikkua vapaasti materiaalien välillä ja kohdatessaan aukon ne voivat yhdistyä. Vastaavasti aukot voivat liikkua ja yhdistyä elektronien kanssa. P-N-liitoksen lähellä on niin sanottu tyhjennysalue, jossa varauksenkuljettajia ei ole, koska ne ovat yhdistyneet liitospinnan lähellä. N-alueen puolelle muodostuu positiivinen varaus ja P-alueen puolelle negatiivinen varaus. (Perälä, 2017, s. 34–35.)

Auringon säteilyn fotonit virittävät puolijohteessa olevan elektronin, vapauttaen sen liikkeelle ja muodostuu uusi elektroniaukkopari. Tämä ilmiö on generaatio. P-N-liitoksen sisäinen sähkökenttä saa elektronin liikkumaan kohti N-aiheen

positiivisesti varautunutta aluetta ja aukon kohti P-aineen negatiivisesti varautunutta aluetta. (Perälä, 2017, s. 31.)

Kun fotonin virittämä elektroni irtoaa aukosta, mutta sisäisen sähkökentän vaikutuksesta ne eivät yhdisty uudelleen, muodostuu sähkövirta. Jos elektroni ja aukko kuitenkin muodostuvat liian kaukana tyhjennysalueesta, ne voivat yhdistyä, jolloin virranmuodostusta ei tapahdu. Tästä syystä aurinkokennojen suunnittelussa pyritään siihen, että suurin osa säteilystä saadaan tyhjennysalueelle. (Perälä, 2017, s. 33–35.)

## 4.2 Invertteri

Alun perin invertteri on tarkoittanut ainoastaan laitetta, joka muuntaa tasasähkön vaihtosähköksi. Nykyään termiä käytetään yleisnimityksenä erilaisille keskuslaitteille, joihin aurinkopaneelit kytketään. Invertteri voi tarkoittaa verkkoonliityntälaitetta, vaihtosuuntaajaa tai akkusäädintä riippuen järjestelmän kokoonpanosta. (ST-käsikirja 40, 2023, s. 70.)

Invertteri muuttaa tasavirran vaihtovirraksi ja säättää paneelien napajännitettä siten, että energiantuotto on mahdollisimman tehokasta. Aurinkosähköjärjestelmään tarvitaan aina invertteri, jos järjestelmä asennetaan kohteeseen, joka on liitetty valtakunnalliseen sähköverkkoon. (Motiva, n.d.-b.) Invertteri ei ainoastaan muunna sähköä, vaan se valvoo ja optimoi koko aurinkosähköjärjestelmän toimintaa (Energiaeki, n.d.).

Aurinkovoimaloissa käytettyjä inverttereitä on kahta eri päätyyppiä: mikroinvertterit ja keskusinvertterit. Perinteisissä aurinkovoimaloissa käytetään keskusinvertteriä, joka muuntaa aurinkopaneeleista tulevan tasavirran vaihtovirraksi koko järjestelmän tasolla. Keskusinvertterin haittana on, että yhden paneelin varjostuminen tai vikaantuminen heikentää koko järjestelmän tuottavuutta. Mikroinverttereissä jokainen paneeli on kytketty omaan invertteriinsä, mikä parantaa järjestelmän kokonaistuottavuutta. (Energiaportti, n.d.)

Paneelikenttien varjostumisen vaikutus riippuu paneelikentän kokonaisjännitteestä suhteessa invertterin minimitoimintajännitteeseen. Jos invertterin minimijännite on lähellä paneelikentän jännitettä, muutamankin paneelin varjostuminen voi katkaista koko tuotannon. Mikäli paneelikentän jännite on kolminkertainen invertterin minimitoimintajännitteeseen verrattuna, jopa kaksi kolmasosaa kentästä voi olla varjostunut, ja järjestelmä tuottaa silti sähköä kolmasosalla teholla. (HSA Oy, n.d.)

## 5 LÄMPÖKUVAUKSESSA KÄYTETTY LAITTEISTO

### 5.1 Drone

Kuvauksissa käytössämme oli DJI Mavic 3T -drone (kuva 8). DJI Mavic 3T on osa DJI Mavic 3 Enterprise -sarjaa, ja se on erityisesti suunniteltu ammattikäyttöön esimerkiksi kartoitus- ja teknisiin kuvaustehtäviin. (Juniper, 2023.)

Mavic 3T tarjoaa jopa 45 minuutin maksimilentoajan, mikä mahdollistaa laajojen alueiden kattamisen yhdellä lennolla (DJI Enterprise, n.d.). DJI Mavic 3T on varustettu kolmella kameralla: 48 megapikselin laajakulmakamera, telekamera ja lämpökamera, jonka resoluutio on 640 x 512 pikseliä. Telekamera tarjoaa jopa 56-kertaisen digitaalisen hybridizoomin. (Juniper, 2023.)



Kuva 8. Kolmella kameralla varustettu DJI Mavic 3T (Juniper, 2023).

## 5.2 Käsikamera

Dronen lisäksi käytössä oli käsikäyttöinen lämpökamera, Flir T530, joka on suunniteltu erityisesti kunnossapidon ja tarkastusten tarpeisiin (kuva 9). Laitteessa yhdistyvät ergonominen muotoilu, tarkka lämpökuvantaminen ja kehittyneet analysointiominaisuudet. (Teledyne Flir, n.d.)

Flir T530:n 180° kääntyvä kamera ja kirkas 4" LCD-näyttö mahdollistavat vaikeasti saavutettavien komponenttien kuvaamisen helposti ja tarkasti. Laservusteinen automaattitarkennus varmistaa tarkan kohdistuksen ja luotettavat lämpötilalukemat kaikissa tilanteissa. Laitteen korkea resoluutio auttaa havaitsemaan pienimmätkin lämpötilaerot. Näiden ominaisuuksien ansiosta laite soveltuu erinomaisesti monipuolisiin kunnossapidon ja tarkastusten tarpeisiin. (Teledyne Flir, n.d.)



Kuva 9. Flir T530 kamera (Teledyne Flir, n.d.).

## 6 LÄMPÖKUVAUS

Lämpökuvauksen nopea ja luotettava menetelmä aurinkopaneelien kunnon tarkastamiseen ilman, että niiden toimintaa tarvitsee keskeyttää. Lämpökuvauksen avulla voidaan havaita viat jo varhaisessa vaiheessa, mikä auttaa

ehkäisemään vaurioiden syntymistä ja ylläpitämään paneelien tehokasta toimintaa. Lämpökameroita käytetään erityisesti vikojen paikantamiseen. (Flir Systems Co, n.d.)

Lämpökuvaustarkastusta voidaan hyödyntää laitoksen käyttöönottotarkastuksissa, ennakoivassa kunnossapidossa tai sen avulla voidaan tutkia järjestelmän energiantuotannon poikkeamien syitä. Lämpökuvausta voidaan soveltaa aurinkosähköpaneelien lisäksi aurinkosähkölaitteiston BOS-komponenttien, kuten kaapeleiden, liittimien ja inverttereiden, tarkastamiseen. (Sesko, 2022.)

Lämpökameratarkastuksen tarkoituksena on tutkia aurinkopaneelien käytön aikana esiintyvät poikkeavat lämpötilavaihtelut. Paneelien pinnalla esiintyvät poikkeavat lämpötilat erottuvat selvästi lämpökuvassa. Muodosta ja sijainnista riippuen nämä kuumat pisteet ja alueet voivat osoittaa useita erilaisia vikoja. (Flir Systems Co, n.d.) Paneelin lämpötilan tulisi olla melko tasainen ilman merkittäviä alueellisia lämpötilaeroja. Kytkentärasian läheisyydessä voi kuitenkin esiintyä hieman korkeampia lämpötiloja, koska lämpö siirtyy siitä ympäristöön huonommin. Paneelin reunoilla sekä merkintä- että kiinnityspisteissä on puolestaan normaalia havaita jonkin verran lämpötilavaihtelua, eikä näitä poikkeamia tulisi virheellisesti tulkita ongelmiksi. (SFS-EN 62446-1:2016, 2016, s. 30.)

Paneeliston keskilämpötila voi vaihdella merkittävästi eri päivinä, joten absoluuttisten vertailulämpötilojen määrittely ei ole kannattavaa. Lisäksi on tärkeää ottaa huomioon, että paneeliston lämpötila vaihtelee säteilyn, tuulen nopeuden ja ympäristön lämpötilan mukaan, ja nämä tekijät voivat muuttua huomattavasti päivän aikana. Olennaista on keskittyä paneeliston kuumien kohtien ja normaalisti toimivien osien välisten lämpötilaerojen havaitsemiseen. (SFS-EN 62446-1:2016, 2016, s. 29.)

## 6.1 Lämpösäteily

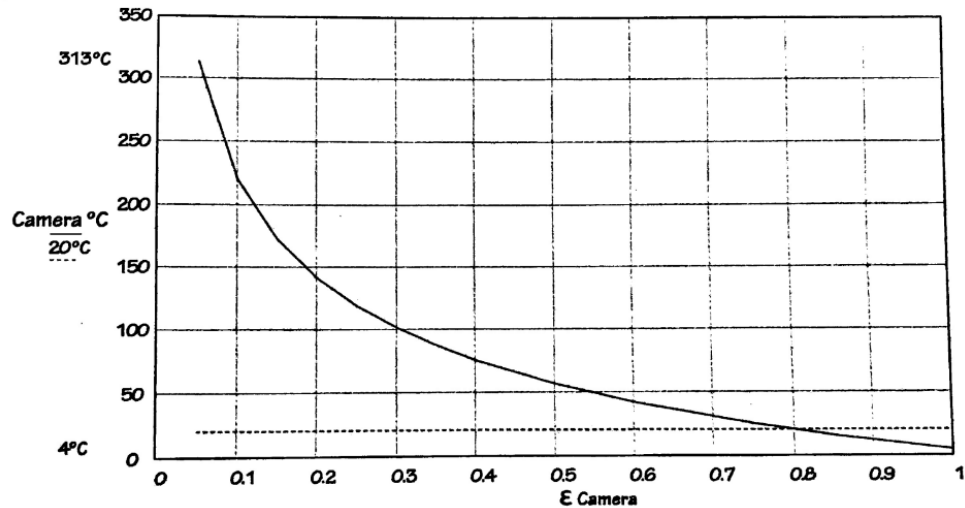
Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on pidempi kuin näkyvän valon. Kaikki esineet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella ( $-273\text{ °C}$ ), säteilevät lämpösäteilyä. Säteilyn voimakkuus korreloi suoraan kappaleen lämpötilaan. (Infradex, n.d.)

Lämpökamera vastaanottaa lämpösäteilyä ja se mittaa kuvauskohteen pinnasta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimien avulla muunnetaan kohteesta säteilevän lämpöenergian lämpötilatiedoksi, jonka perusteella reaaliaikainen digitaalinen lämpökuvakuva muodostetaan. (Infradex, n.d.)

## 6.2 Emissiokerroin

Emissiokerroin kuvaa materiaalin kykyä säteillä lämpöenergiaa ja sen arvo on jokin luku 0 ja 1 väliltä. Täydellisen ”mustan kappaleen”, joka ei heijasta mitään, emissiokerroin on 1 ja vastaavasti täydellisen heijastavan pinnan emissiokerroin 0. Toisin sanoen, mitä vähemmän pinta heijastaa säteilyä, sitä lähempänä sen emissiokerroin on arvoa yksi. (Hietanen ym., 2020, s. 17.)

Emissiokerroin on oleellinen tekijä lämpökuvia tulkittaessa, koska se vaikuttaa lämpökameran näyttämään lämpötilalukemaan. Kuvassa 8 on esitetty emissiokertoimen vaikutus lämpökameran näytöllä näkyvään lämpötilalukemaan. Kohteen todellinen lämpötila on 20 astetta ja sen oikea emissiokerroin 0,8. Väärällä emissiokertoimella mittaustulokset voivat vääristyä merkittävästi. Esimerkiksi emissiokertoimella 0,1 lämpötilalukema muuttuu yli 200 asteiseksi. Ja emissiokertoimella 1 lämpötilalukema on 4 astetta. Tämä osoittaa, kuinka tärkeää on tietää kohteen oikea emissiokerroin, jotta lämpökameran mittaamat arvot ovat luotettavia. (Hietanen ym., 2020, s. 17.)



Kuva 10. Emissiokertoimen vaikutus lämpötilalukemaan (Hietanen ym., 2020, s. 17).

### 6.3 Kuvaamisen valmistelut

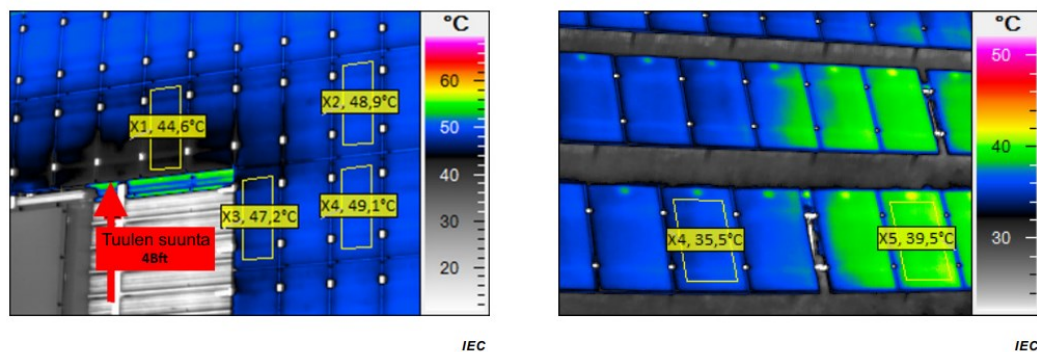
Ennen aurinkosähkövoimalan lämpökuvausta on suositeltavaa suorittaa aistinvarainen tarkastus. Tarkastuksessa dokumentoidaan esimerkiksi lintujen jätökset, likaantuminen sekä näkyvät vauriot aurinkopaneeleissa ja muissa BOS-komponenteissa. Havainnot tulee kirjata tarkasti sijainnin mukaan, ja tarvittaessa paneelit sekä muut osat on puhdistettava. Puhdistuksen jälkeen on tärkeää ottaa uudet valokuvat. Joissakin tapauksissa lämpökuvaus voidaan suorittaa ilman puhdistusta, erityisesti jos tavoitteena on selvittää voimalan toimintahäiriöiden syitä. Paneelien tai voimalan yleinen kunto on hyvä dokumentoida kuvilla, mutta lämpöpoikkeavuuksien osalta valokuvaus on välttämätöntä. (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 11.)

Lämpökuvauksen aikana aurinkosähkövoimalan tulee olla toiminnassa, ja jos mahdollista, se tulisi olla vapaa osittaisesta varjostuksesta. Paneelien likaantuminen ei saa aiheuttaa merkittävää häviötä – toimintavirran häviön tulisi olla alle 10 %. Koko järjestelmä tulisi puhdistaa, jos niissä havaitaan voimakasta likaantumista tai osittaista varjostumaa, kuten esimerkiksi lintujen jätöksiä. (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 10.)

Ennen lämpökuvausta on tärkeää selvittää olosuhteet, jotka voivat vaikuttaa mittaustuloksiin:

- ulkoilman lämpötila
- tuulen nopeus ja suunta
- säätila (pilvinen, puolipilvinen, aurinkoinen). (Hietanen ym., 2020, s. 77.)

Kuten kuvasta 11 voidaan havaita, säätilalla on merkittävä vaikutus lämpökuviin ja niiden tulkintaan. Sään ollessa pilvinen tai puolipilvinen paneeleihin kohdistuu harhaanjohtavia heijastuksia. (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 12.) Ihanteellisessa tilanteessa taivaan tulisi olla lähes pilvetön, mutta pieni pilvisyys ei estä kuvausta. Sateet ja kosteus voivat jäähdyttää paneeleita, mikä voi johtaa virheellisiin tulkintoihin. Alhaiset ulkolämpötilat voivat puolestaan lisätä lämpökontrastia, mikä parantaa mahdollisten vikojen havaitsemista. (Heijzman, 2018).



Kuva 11. Tuulen (vasemmalla) ja pilvien (oikealla) vaikutuksia lämpökuvioon (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 15).

Lämpökuvauksen onnistuminen edellyttää seuraavien tekijöiden huomiointia:

- oikea tarkennus
- sopiva lämpötila-alue
- asianmukainen kuvausetäisyys
- järkevä väripaletti
- oikein asetettu emissiokerroin. (Hietanen ym., 2020, s. 31.)

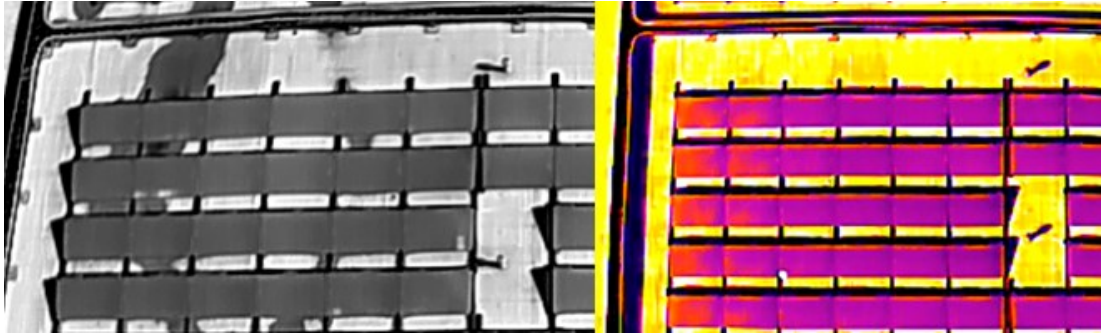
Lämpökuvaamisen tärkein työvaihe on tarkennus, sillä kuvan tarkkuutta ei voi parantaa jälkikäteen. Tarkennuksen laatu vaikuttaa sekä kuvan terävyyteen että lämpötila-arvojen tarkkuuteen. (Hietanen ym., 2020, s. 31.)

Lämpötila-alue kannattaa säätää manuaalisesti, sillä automaattiasaiteikko skaalautuu äärimmäisten lämpötilojen mukaan, mikä voi korostaa pieniä, merkityksettömiä eroja. (Hietanen ym., 2020, s. 33.) Hyväksi todettu lämpötila-alue on tyypillisesti 5–10 asteesta 40–60 asteeseen, riippuen kuvausolosuhteista.

Kuvat tulisi ottaa sopivalta etäisyydeltä niin, että koko aurinkopaneeli näkyy selkeästi kuvassa. Tiiviisti asennettujen paneelirivien kuvaaminen onnistuu parhaiten viereisen rivin välistä. Paneelistoa voidaan tarkastella myös sen taakosasta, jolloin minimoidaan paneelin lasipinnasta heijastuneen valon aiheuttama häiriö, mutta edestä saadaan parempi lämpökuva paneelin lasin lämmönjohtavuuden ansiosta. (SFS-EN 62446-1:2016, 2016, s. 29.)

Lämpökuva tulisi ottaa mahdollisimman kohtisuoraan aurinkopaneelin pintaan nähden tai vähintään 30 asteen kulmassa, mikäli esimerkiksi pienissä asennuksissa kameran nostaminen on rajoitettua. On tärkeää välttää kuvaajan, kameran sekä esimerkiksi auringon, läheisten rakennusten tai puiden aiheuttamia heijastumia. (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 12.) Nimittäin heijastukset voivat häiritä tuloksia. Heijastuman tunnistaminen onnistuu usein siirtymällä hieman ja tarkistamalla, muuttuvatko havaitut kuumat kohdat paikallisesti vai pysyvätkö ne samassa kohdassa paneelia. (Hietanen ym., 2020, s. 87.)

Lämpökuvauksessa käytettävä väripaletti tulisi valita kohteen mukaan. Monisävyinen paletti tekee pienet lämpötilaerot helposti havaittaviksi, kun taas mustavalkoinen paletti korostaa selkeästi suuria lämpötilaeroja. Kuvassa 12 on vasemmalla mustavalkoinen väripaletti ja oikealla monisävyinen paletti.



Kuva 12. Väripaletin merkitys kuvan tulkinnassa.

Aurinkopaneelien lämpökuvauksessa suositellaan käyttämään emissiokerrointa 0,85, koska aurinkopaneelien pinta on lasia, jolla on korkea emissiokerroin. Tämä arvo voi kuitenkin hieman vaihdella lasin laadun ja pinnoitteiden mukaan. (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 16.)

Lämpökuvauksen yleisimpiä virheitä ovat seuraavat:

- huono tarkennus
- väärä tulkinta automaattisen lämpötila-alueen valinnan vuoksi
- kuvan ottaminen liian kaukaa
- heijastumien virheellinen tulkitseminen vioiksi
- väärin asetettu emissiokerroin, joka johtaa epäluotettaviin lämpötilalukemiin. (Hietanen ym., 2020, s. 34.)

#### 6.4 Kuvaaminen

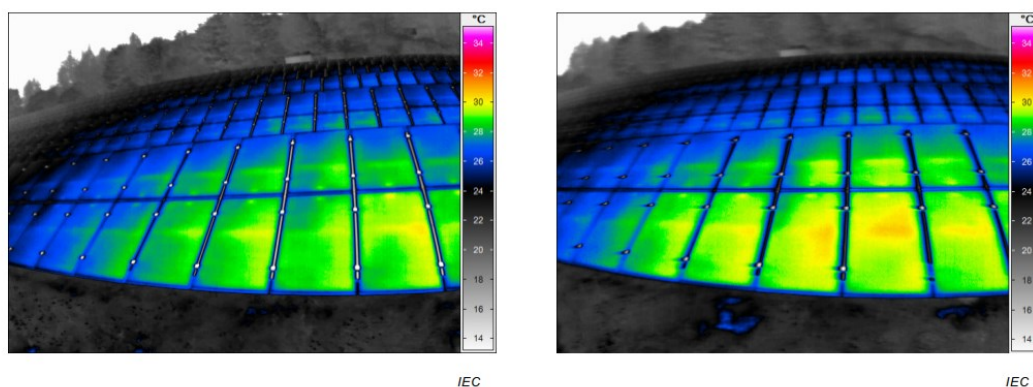
Lämpökuvauksen tulisi suorittaa, kun aurinkopaneelijärjestelmä toimii normaalissa toimintatilassa. Tarkastelun aikana taivaan olosuhteiden on oltava vakaat ja paneelien pinnalle kohdistuvan säteilyintensiteetin tulisi olla vähintään 400 W/m<sup>2</sup>. Ihanteellisessa tilanteessa säteilyn tulisi olla tasainen ja voimakkuudeltaan yli 600 W/m<sup>2</sup>, jotta voidaan varmistaa, että virta on riittävän suuri aiheuttamaan havaittavia lämpötilapoikkeamia. (SFS-EN 62446-1:2016, 2016, s. 29.)

Havaittaessa poikkeuksellisen korkeita lämpötiloja, merkitään paneelit selkeästi dokumentteihin. Jokainen havaittu lämpötilapoikkeama tarkastetaan huolellisesti ja selvitetään sen syy. Tutkimuksessa käytetään sekä aistinvaraisia

menetelmiä että sähköisiä mittauksia, kuten paneeliketjujen ja yksittäisten paneelien tarkastusta. (SFS-EN 62446-1:2016, 2016, s. 30.)

## 6.5 Drone

Dronejen käyttö aurinkosähkövoimaloiden vikojen tunnistamisessa ja paikantamisessa on yleistynyt merkittävästi. Laajan aurinkovoimalan arvioimiseen on suositeltavaa käyttää dronea, koska se mahdollistaa poikkeavien lämpötilojen nopean havaitsemisen ja tarjoaa kattavan yleiskuvan alueen tilanteesta. Dronen liikkumisnopeus tulisi valita suhteessa kameran infrapunailmaisimen aikavakioon sumentumisen välttämiseksi (kuva 13). (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 12–13.)



Kuva 13 Liiallisen nopeuden aiheuttama sumentuminen (oikealla) verrattuna sopivalla nopeudella otettuun kuvaan (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 13).

Vaikka drone tarjoaa kattavan yleiskuvan, yksityiskohtaisempi tutkimus on suositeltavaa suorittaa käsikäyttöisellä kameralla. Käsikäyttöiset kamerrat tarjoavat tarkempaa tietoa ja mahdollistavat vikojen yksityiskohtaisemman tulkinnan.

## 6.6 Pätevyudet

Sähkölaitteiston lämpökuvaajien sertifiointista vastaa Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy. Lämpökuvaajan pätevyys on vapaaehtoinen osoitus

ammattitaidosta, joka varmistaa henkilön kyvyn suorittaa sähkölaitteiden lämpökuvaukset asianmukaisesti ja tehokkaasti. (Hietanen ym., 2020, s. 108.)

Lämpökuvaajan pätevyyttä hakevan henkilön tulee tuntea perusteellisesti lämpökuvauslaitteiston toimintaperiaatteet ja osata käyttää laitteistoa niin, että tulokset ovat luetettavia. Hakijan täytyy osata arvioida laitteiston tekniset ominaisuudet, tunnistaa mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät ja analysoida mahdolliset vaihtelut tuloksissa. Lisäksi hänen tulee osata varmistaa, että laitteisto on kalibroitu oikein ja valita lämpökuvauslaitteisto, joka täyttää asetetut vaatimukset. (Hietanen ym., 2020, s. 109.)

LK 1 -pätevyystodistuksen saannin edellytykset:

- Hakijan tulee osoittaa olevansa sähköalan ammattilainen sähköpätevyystodistuksella tai alan koulutuksella ja työkokemuksella.
- Voimassa oleva SFS002- ja hätäensiapukoulutus.
- Hyväksytysti suoritettu SETI Oy:n kirjallinen koe ja näyttökoe sekä yhden todellisen kohteen lämpökuvausraportti. (Hietanen ym., 2020, s. 109.)

## 6.7 Lämpökuvauslaitteiston vaatimukset

Lämpökuvauslaitteiston on sovelluttava sähkölaitteiden lämpökuvaukseen. Pätevöityneen lämpökuvaajan tulee osata varmistaa, että käytettävä laitteisto täyttää seuraavat vaatimukset:

- Näyttöruudulta on voitava tarkastella vähintään yhden pisteen lämpötilalukemaa.
- Radiometrinen kuva eli lämpötilaerot on mahdollista mitata koko kuva-alueelta tietokoneohjelmistoa käyttäen.
- Kuvamateriaali on tallennettavissa sähköisessä muodossa.
- Mittaustarkkuuden on oltava  $\pm 2$  astetta 100 °C lämpötilaan saakka ja yli 100 °C lämpötiloissa  $\pm 2$  %.
- Laitteistossa on oltava mahdollisuus emissiivisyyden ja heijastuneen taustasäteilyn mukaisten korjausten tekemiseen.

- Lämpökameran resoluution on oltava vähintään 19 200 pikseliä (esimerkiksi 160 x 120). Lisäksi yhden pikselin koon tulee olla alle 30 mm<sup>2</sup>, kun kuvausetäisyys on yksi metri.
- Lämpötilaerojen mittaus vähintään 0,1 asteen portain. (Hietanen ym., 2020, s. 113.)

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

Sähkölaitteistojen lämpeneminen mielletään usein negatiiviseksi asiaksi, vaikka monien komponenttien on tarkoituskin tuottaa lämpöä normaalin toiminnan aikana. Lämpökuvaajan tulee erottaa, kuinka suuri lämpeneminen on komponentille normaalia ja milloin se on haitallista. Haitallinen lämpeneminen voi lyhentää laitteiston suunniteltua käyttöikää, kasvattaa vikaantumisriskiä ja aiheuttaa turvallisuusuhkia. (Hietanen ym., 2020, s. 52–53.)

Tyypillisimpiä lämpökuvauksessa havaittavia ongelmia ovat niin sanotut hot spotit eli kuumat pisteet, joita aiheuttavat muun muassa paneelin lasin rikkoutuminen, sisäiset ongelmat, varjostukset ja likaantuminen. Lisäksi lämpökuvauksella voidaan havaita ongelmia liittimissä ja ohitusdiodeissa. Nämä ovat yleisimpiä havaittavia vikoja, lämpökuvauksella voidaan havaita myös monia muita mahdollisia ongelmia aurinkosähköjärjestelmässä.

### 7.1 Hot spot

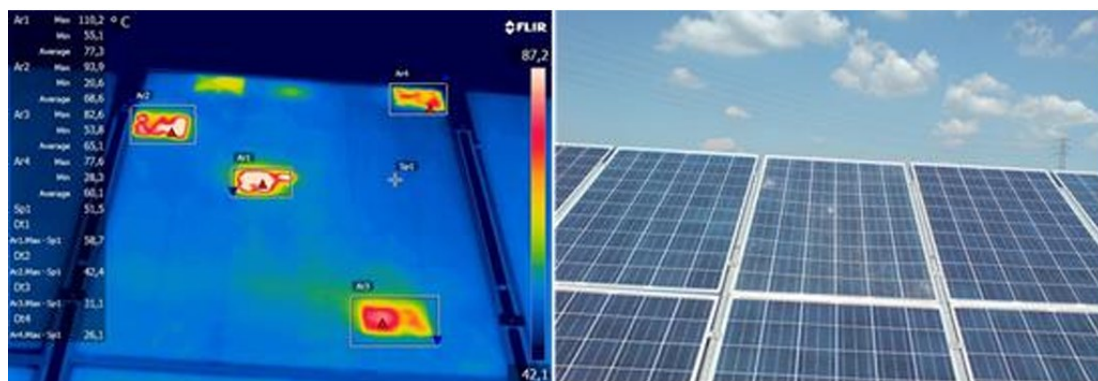
Yleisin aurinkopaneelien vikojen aiheuttaja on hot spot -ilmiö, joka heikentää paitsi paneelin tehokkuutta myös sen turvallisuutta. Hot spot, eli aurinkopaneelin kuuma piste, on alue, jonka lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin muualla paneelissa. Kuumien pisteiden kohdalla kennon lämpötila voi nousta jopa 150 asteeseen, mikä voi aiheuttaa pysyviä vaurioita, kuten lasin halkeilua. Yleensä kuumia pisteitä ei voi havaita paljaalla silmällä, mutta joissain

tapauksissa paneelin pinnalle voi ilmestyä ruskeita täpliä tai muita näkyviä vaurioita. (Maysun Solar, n.d.)

Kuumia pisteitä voivat aiheuttaa muun muassa varjot, lika, sisäiset suunnitteluvirheet, rakenteelliset vauriot ja ulkoiset tekijät. Kuumien pisteiden muodostumista voidaan ehkäistä asentamalla paneelit varjottomaan paikkaan, varmistamalla riittävä ilmankierto sekä huolehtimalla paneelien säännöllisestä puhdistuksesta ja huollosta. (Maysun Solar, n.d.)

### 7.1.1 Rikkoutunut lasi

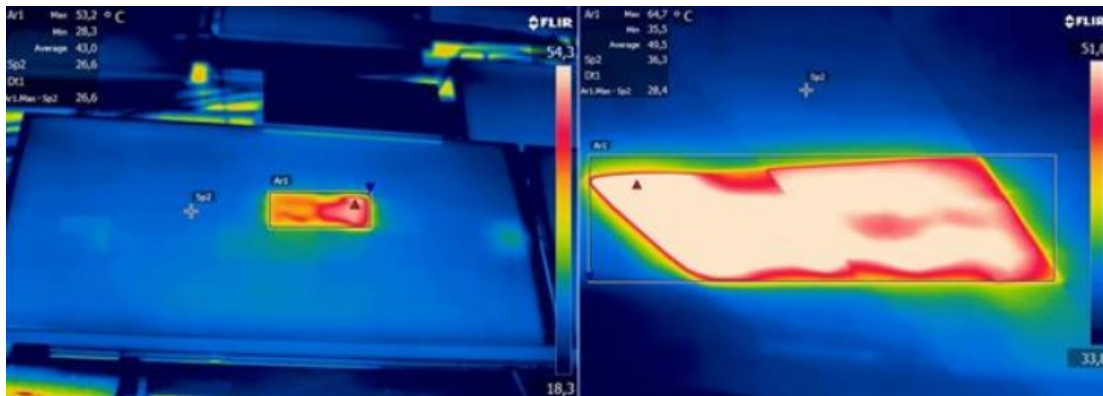
Paneelin etulasi voi rikkoutua voimakkaan iskun, kuten rakeen, seurauksena. Etulasin vaurio voi aiheuttaa kennon ylikuumenemisen vauriokohtassa, mikä johtaa niin sanotun kuumien pisteiden muodostumiseen. (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 36.)



Kuva 14. Rakeiden aiheuttamiin vauriokohtiin on muodostunut kuumia pisteitä (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 36).

### 7.1.2 Sisäiset ongelmat

Paneelin sisäiset ongelmat voivat aiheuttaa kuumia kohtia. Kennot voivat ylikuumentua esimerkiksi valmistusprosessin virheiden, paikallisten oikosulkujen tai riittämättömän sähköisen kontaktin seurauksena. (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 37.)



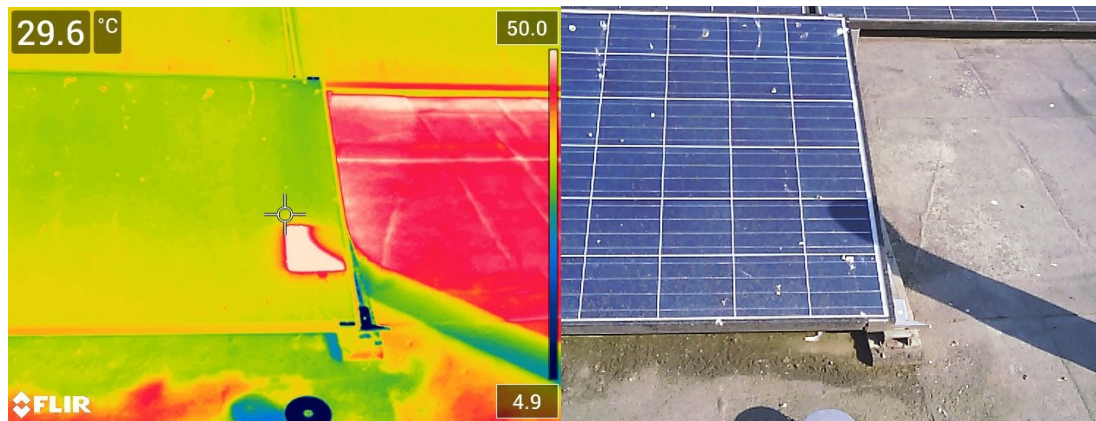
Kuva 15. Sisäisen ongelman aiheuttama kuuma kohta tarkasteltuna edestä (vasemmalla) ja takaa (oikealla) (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 37).

### 7.1.3 Varjostukset

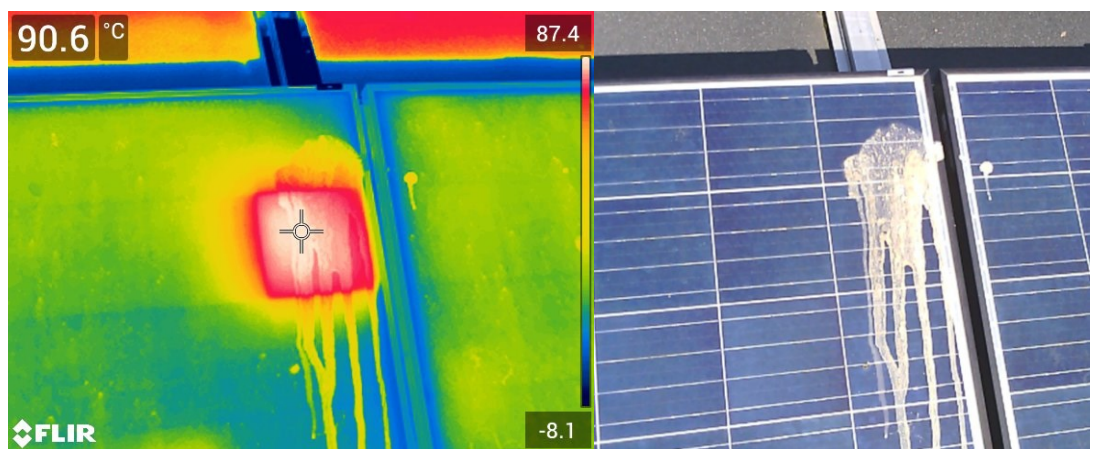
Lämpökuvissa havaittavat kuviot riippuvat varjostuksen lähteestä, jotka jaetaan paikalliseen ja laajamittaiseen varjostukseen. Paikallinen varjostus tarkoittaa esimerkiksi lintujen jätöstä tai pientä puuta, kun taas laajamittainen varjostus tarkoittaa esimerkiksi rakennusta tai suurta puuta. (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 38.)

Aurinkokennot on kytketty sarjaan, joten yhden kennon varjostuminen rajoittaa koko sarjan virran heikoimman kennon tasolle. Varjostus voi aiheuttaa sen, että varjostetun kennon jännitteen suunta muuttuu, ja auringossa olevien kennojen tuottama energia purkautuu varjostetussa kennossa. Tämä johtaa paikalliseen ylikuumentumiseen eli kuumiin kohtiin. (PVEducation, n.d.)

Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon mahdolliset varjot, sillä varjostukset vaikuttavat tuotantoon, paneelien kuntoon sekä paneelien käyttöikään, koska ne aiheuttavat hot spotteja (kuva 16). Paneelien puhtaudesta on myös huolehdittava, sillä lintujen jätökset eivät välttämättä lähde pois pelkällä sadevedellä. Kuten kuvasta 17 näkyy, lintujen jätökset voivat aiheuttaa paneeliin erittäin kuumia kohtia.



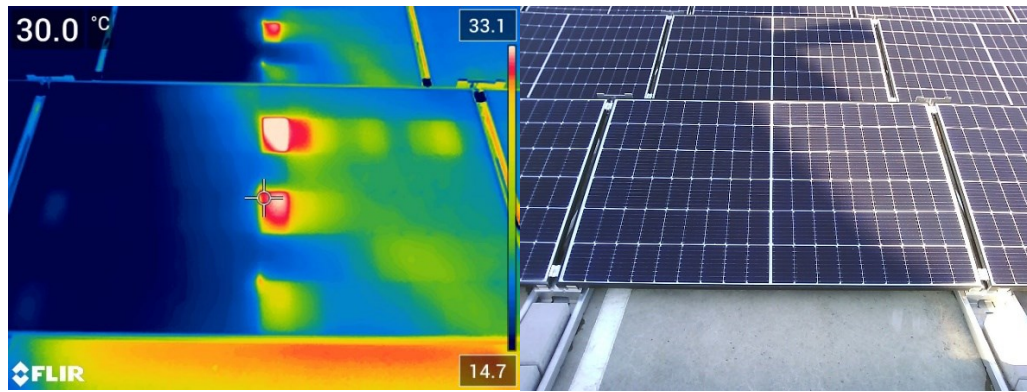
Kuva 16. Tuuletusputken varjo nosti kennon lämpötilan 60-asteiseksi, kun muun paneelin lämpötila oli 30 astetta.



Kuva 17. Linnunjätös nosti kennon lämpötilaa yli 40 astetta korkeammaksi kuin muun paneelin lämpötila.

## 7.2 Ohitusdiodit

Kuuman kohdan vaikutusten vähentämiseksi ohitusdiodit kytketään rinnakkain ja vastakkaiseen napaisuuteen aurinkokennojen sarjaan. Kennojen normaalin toiminnan aikana ohitusdiodi ei ole aktiivinen. Kennomäärien epätasapainon tai osittaisen varjostuksen vuoksi ohitusdiodi voi olla aktiivinen ja antaa virran kulkea sen läpi varjostetun kennon sijaan. Tämän seurauksena aktiivisen ohitusdiodin lämpötila on korkeampi kuin passiivisen diodin lämpötila (kuva 18). (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 40.)



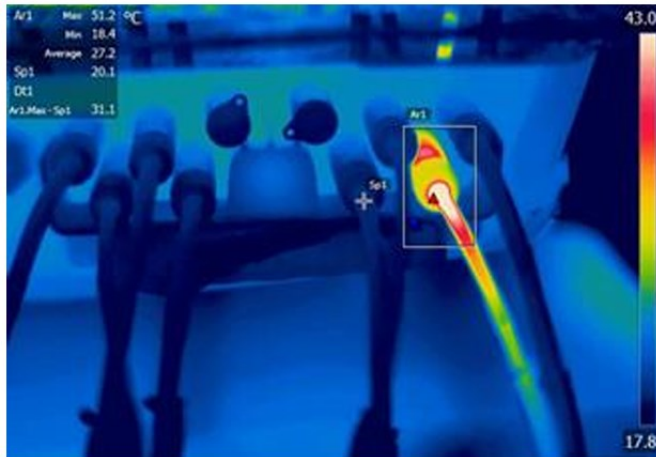
Kuva 18. Varjostuksen takia ohitusdiodit ovat aktiivisena.

Ohitusdiodien ollessa aktiivisia, tarkastetaan mahdolliset syyt, kuten varjot. Pysyvästi aktivoitunut ohitusdiodi vähentää kyseisen aurinkokennojen sarjan tuottamaa tehoa, mikä johtaa koko voimalan kokonaistuotannon vähenemiseen. Paneelit, joissa on pysyvästi aktiivisia ohitusdiodeja, on vaihdettava. (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 50.)

### 7.3 Liittimet

Liitoksen vikaantumiseen voivat vaikuttaa useat tekijät, kuten ulkoiset voimat, ilman koostumus, epäpuhtaudet liitoksen valmistusvaiheessa sekä sähkövirran ja lämmön aiheuttamat kemialliset muutokset johdin- ja liitinmateriaaleissa. Mikäli liitoksen eristerakenne vaurioituu tai sen pinnalle muodostuu osittain tai kokonaan johtava virtareitti, siitä voi aiheutua tulipaloriski. (Hietanen ym., 2020, s. 55.)

Paneelin johtimien liitäntäkohtien lämpötilan ei tulisi olla merkittävästi korkeampi kuin itse johtimen lämpötila. Mikäli liitännät ovat huomattavan kuumia, on tärkeää tarkastaa mahdolliset korroosion merkit sekä varmistaa, etteivät liitokset ole löystyneet. Löysän liitoksen vuoksi ylikuumentunut liitos on yleensä helposti havaittavissa, sillä sen lämpötila poikkeaa sekä johtimen että muiden liitosten lämpötilasta (kuva 19 ja 20). (SFS-EN 62446-1:2016, 2016, s. 30.)



Kuva 19. Invertteri, jossa on havaittavissa lämpenemistä löysän liitoksen vuoksi (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 44).



Kuva 20. Invertteri, jossa liitokset ovat kunnossa.

Mikäli yksi tai useampi sarjaan kytketty paneeli on huomattavasti lämpimämpi kuin muut, se voi viitata ongelmiin liitoksessa (kuva 21). Tällöin johtojen kunto tulisi tarkistaa. (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 50.) Vaikka aurinkopaneeli ei olisikaan kytkettynä, se tuottaa edelleen sähköä. Tämä voi johtaa kennojen lämpötilan nousuun, mutta yleensä tämä ei ole haitallista paneelille, sillä kennot on suunniteltu kestävämmän korkeita lämpötiloja. (Akshay VR, 2022.)



Kuva 21. Irronnut liitos aiheuttaa paneelien kuumentumisen (kuva: Teemu Simiö).

## 7.4 Tulkinta

Kaikista lämpöhavainnoista on otettava sekä lämpökuva että valokuva samasta alueesta. Lisäksi on dokumentoitava havaintojen sijainti sekä toimintaolosuhteet, kuten ympäristöolosuhteet ja paikallinen tasasähkökuorma. (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 12.)

Yksittäisen aurinkokennon lämpötilaero, joka on alle 10 °C, pidetään yleensä ongelmattomana eikä vaadi erillistä kirjausta. Lämpötilaerot, jotka vaihtelevat 10 °C ja 20 °C välillä, eivät tässä vaiheessa aiheuta välitöntä huolta, vaikka ne voivat kasvaa ajan myötä. Näitä paneeleja tulisi kuitenkin seurata säännöllisesti. Yli 20 °C lämpötilaerot voivat heikentää paneelien tuotantotehoa. Äärimmäisissä tapauksissa tämä voi johtaa materiaalien heikkenemiseen, mikä saattaa aiheuttaa turvallisuusriskejä. Mikäli paneeleja ei vaihdeta ajoissa, lämpötilaerojen kasvaminen ajan myötä on odotettavissa. (Report IEA-PVPS T13-10:2018, 2018, s. 49–50.)

BOS-komponenttitarkastus kattaa muun muassa kaapelit, liittimet, sulakkeet, kytkimet, vaihtosuuntaajat ja akut. Poikkeavuuksien luokittelu riippuu BOS-komponentista. Toistaiseksi ei ole kehitetty erityisiä vaatimuksia aurinkosähkölle, joten on tukeuduttava sovellettaviin tuotestandardeihin ja yleisiin sähkökomponenttien lämpökuvaustekniikoihin ja niiden vaatimuksiin. (IEC/TS 62446-3:2017:fi, 2017, s. 17.)

## 8 PALOTURVALLISUUS

Aurinkosähköjärjestelmien kehitys on edennyt nopeasti, ja niiden toteuttamiseen on nykyään tarjolla monia erilaisia tapoja. Näihin liittyy uusia riskejä, jotka vaativat erityistä huomiota. Nykyiset viranomaismääräykset ja standardit eivät kuitenkaan täysin kata aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuuteen liittyviä näkökohtia. Tämä puute voi johtaa siihen, että järjestelmien suunnittelussa,

asennuksessa ja huollossa ei aina oteta riittävästi huomioon paloturvallisuuden vaatimuksia. Varsinkin suomenkielinen ohjeistus aurinkopaneelien paloturvallisuudesta on ollut hajanaista, mikä on ongelmallista erityisesti, kun järjestelmät yleistyvät ja niitä asennetaan monenlaisiin ympäristöihin ja rakenteisiin. (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, 2023, s. 3–4.)

Oikein asennetut, käytetyt ja huolletut aurinkosähköjärjestelmät ovat pääsääntöisesti erittäin turvallisia. Kuitenkin jokainen virheellisesti asennettu tai vaurioitunut komponentti voi lisätä palovaaraa. Viime vuosien tilastot osoittavat, että aurinkosähköjärjestelmät ovat aiheuttaneet Suomessa vuosittain enintään kymmenkunta tulipaloa. Tulipalojen syinä ovat olleet muun muassa komponenttivauriot. (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, 2023, s. 7–8.)

Saksassa vuosina 2011–2013 tehdyn tutkimuksen mukaan aurinkosähköjärjestelmien paloista kolmasosa johtui järjestelmän komponenteista, toinen kolmasosa suunnitteluvirheistä ja loput asennusvirheistä. Tutkimus osoitti myös, että tulipalot tapahtuivat usein keskipäivällä tai varhain iltapäivällä, jolloin aurinko säteily ja paneelien sähkön tuotanto ovat huipussaan. Näissä tilanteissa vialliset tai vaurioituneet komponentit ylikuumentuvat, mikä johti tulipalojen syttymiseen. (Prume & Viehweg 2018, s. 246.)

## 9 YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin Porin Puuvillan aurinkopaneelien kunto lämpökuvauksen avulla. Paneelit todettiin hyväkuntoisiksi, niissä havaittiin ainoastaan likaantumisen ja varjostuksien aiheuttamia kuumia pisteitä. Tulokset vahvistavat käsitystä siitä, että lämpökuvauksen on tehokas menetelmä aurinkopaneelien kunnon arviointiin, sillä se voi paljastaa vikoja ja ongelmia, joita ei paljaalla silmällä näe.

Aurinkosähköjärjestelmien säännöllinen huolto ja ylläpito on tärkeää niiden pitkän, keskimäärin noin 30 vuoden käyttöiän vuoksi. Järjestelmät altistuvat jatkuvasti erilaisille sääolosuhteille, kuten UV-säteilylle, sateelle, lumelle ja tuulelle, mikä voi ajan myötä vaikuttaa paneelien ja muiden järjestelmän komponenttien toimintaan ja tehokkuuteen. Säännöllinen huolto ja tarkastukset ovat välttämättömiä järjestelmän toimintakunnon ja turvallisuuden varmistamiseksi. (Motiva, n.d.-e.)

Aurinkopaneelien vuosihuoltosuunnitelmaan sisältyy paneelien visuaalinen tarkastus, paneelien puhdistus, liitosten silmämääräinen tarkastus ja DC-kytkimen toimintakunnon testaus. Suositeltavaa on lisätä paneelien lämpökuvaus vuosihuoltoon. (Motiva, n.d.-e.)

Tämän työn tavoitteena oli tutkia, miten aurinkopaneelien lämpökuvaus tulisi toteuttaa sekä millaisia vikoja lämpökuvat voivat paljastaa. Työn tuloksia voidaan hyödyntää ohjeistuksena aurinkopaneelien lämpökuvauksessa ja ne tukevat ajatusta siitä, että lämpökuvaus on erinomainen työkalu aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidossa. Työn pohjalta olisi mielenkiintoista laajentaa tutkimusta esimerkiksi automaattiseen lämpökuvauksen analytiikkaan tai vertailla eri kameratekniikoiden tehokkuutta ja tarkkuutta.

Tämän prosessin aikana olen kehittänyt merkittävästi omaa asiantuntemustani aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidosta ja lämpökuvauksen soveltamisesta. Lähtötilanteeni oli, että en ollut aikaisemmin perehtynyt aurinkopaneelien toimintaan tai lämpökuvaukseen, mutta tämän työn myötä olen saanut syvällisemmän käsityksen sekä aurinkosähköjärjestelmien toiminnasta että lämpökuvauksen menetelmistä. Prosessi on vaatinut monipuolisten lähteiden etsimistä ja niihin syventymistä, minkä myötä olen oppinut kriittisesti arvioimaan saamaani tietoa ja soveltamaan sitä käytännön työssäni. Koen kehittyneeni myös itsenäisenä asiantuntijana, joka osaa arvioida ja soveltaa uutta tietoa eri käytännön haasteiden ratkaisemiseksi.

Työn aikana olen oppinut hyödyntämään ohjausta tehokkaasti ja soveltamaan saamaani palautetta työn laadun parantamiseksi. Erityisesti asiantuntijaesitykseni antoi minulle kokemusta oman osaamisen esille tuomisesta ja työn merkityksen perustelemisesta alan ammattilaisille. Sain esityksestä positiivista palautetta sekä ohjaajaltani että esityksen kohderyhmän asiantuntijoilta. Tämän lisäksi olen pitänyt aiheesta esitelmän oman työnantajani, Enersensen, asiantuntijoille.

## LÄHTEET

Aurinkopaneeli. (n.d.). Aurinkopaneelin rakenne. Haettu 01.09.2024 osoitteesta <https://aurinkopaneeli.fi/rakenne/>

DJI Enterprise. (n.d.). Specs: Aircraft. Haettu 14.1.2025 osoitteesta <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise/specs>

Ecoprogetti. (2014). What is the raw material that composes a photovoltaic module? <https://ecoprogetti.com/the-structure-of-photovoltaic-module/>

Energiaeki. (n.d.). Miten invertteri toimii. Haettu 08.09.2024 osoitteesta <https://www.energiaeki.fi/aurinkopaneelit/invertteri/>

Energiaportti. (n.d.). Mikroinvertterin ja perinteisen keskusinvertterin eroavaisuudet aurinkovoimaloissa. Haettu 06.01.2025 osoitteesta <https://energia-portti.fi/mikroinvertteri-vs-keskusinvertteri-aurinkovoimaloissa/>

Energiateollisuus. (n.d.). Aurinkovoima. Haettu 01.01.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima/#kuinka-paljon-metsaa-kaadetaan-aurinkovoiman-vuoksi>

Finder. (n.d.). Porin Puuvilla Oy. Haettu 13.1.2025 osoitteesta <https://www.finder.fi/Toimitilav%C3%A4litys+toimitilamyynti+toimitilavuokraus/Porin+Puuvilla+Oy/Pori/yhteystiedot/264512>

Flir Systems Co. (n.d.). Thermal imaging cameras: a fast and reliable tool for testing solar panels. Haettu 01.08.2024 osoitteesta <https://www.instrumart.com/assets/Thermal-imaging-cameras-testing-solar-panels.pdf>

Heijsman, R. (26.2.2018). Testing Solar Panels with Thermal Imaging Cameras. [https://www.novuslight.com/testing-solar-panels-with-thermal-imaging-cameras\\_N7799.html](https://www.novuslight.com/testing-solar-panels-with-thermal-imaging-cameras_N7799.html)

Hietanen, M., Tiainen E., Alhainen J., Rousku H., Kari A. (2020). Sähkölaitteiston lämpökuvaus (2., uudistettu painos). Sähköinfo.

HSA Oy. (n.d.). Varjostumat aurinkopaneeleissa. Haettu 19.9.2024 osoitteesta <https://hsaoy.com/apua/pv-varjot/>

IEC/TS 62446-3:2017:fi. (2017). Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset testaamiselle, dokumentaatiolle ja kunnossapidolle. Osa 3: Aurinkosähköpaneelit ja -voimalat. Lämpökuvaus ulkotilassa. Suomen Standardisoimisliitto. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/IEC/ID5/6/1124900.html.stx>

Infradex. (n.d.) Lämpösäteily & infrapuna. Haettu 15.08.2024 osoitteesta <https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>

Juniper, A. (15.5.2023). DJI Mavic 3T Enterprise Thermal review. Digital Camera World. [DJI Mavic 3T Enterprise Thermal review | Digital Camera World](#)

Lumme Energia. (n.d.). Half-cut -aurinkopaneeli tuottaa sähköä myös osittain varjostettuna. Haettu 01.09.2024 osoitteesta <https://www.lumme-energia.fi/blogi/half-cut-aurinkopaneeli-tuottaa-sahkoa-mynos-osittain-varjostettuna>

Läderberg, V. (2017). Aurinkosähköjärjestelmien riskit pelastustoimelle. [AMK-opinnäytetyö, Savonia ammattikorkeakoulu]. Theseus. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/124696/Laderberg\\_Vesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/124696/Laderberg_Vesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Marsh, J. (6.12.2023). Energysage. Which type of solar panel is best for you? <https://www.energysage.com/solar/types-of-solar-panels/>

Mattila, V. (16.11.2022). Henkilökohtainen keskustelu Puuvillan kiinteistö-päällikön, Ville Mattilan, kanssa.

Maysun Solar. (n.d.). Miksi meidän pitäisi varoa kuumapistevaikutusta aurinkopaneeleissa? Haettu 03.09.2024 osoitteesta <https://www.solarpanelfi.com/blog/miksi-meidan-pitaisi-varoa-kuumapistevaikutusta-aurinkopaneeleissa>

Motiva. (n.d.-a). Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Haettu 12.11.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)

Motiva. (n.d.-b). Auringosta sähköä. Haettu 01.12.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)

Motiva. (n.d.-c). Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus. Haettu 01.01.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/ennen\\_jarjestelman\\_hankintaa/jarjestelman\\_kannattavuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/jarjestelman_kannattavuus)

Motiva. (n.d.-d). Aurinkosähköteknologiat. Haettu 01.12.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)

Motiva. (n.d.-e). Aurinkosähkön paloturvallisuus. Haettu 01.12.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_paloturvallisuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_paloturvallisuus)

Motiva. (n.d.-f). Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. Haettu 06.01.2025 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_kytke-maton\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytke-maton_aurinkosahkojarjestelma)

Motiva. (n.d.-g). Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Haettu 06.01.2025 osoitteesta

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestel-man\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-man_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)

Neva, T. (3.3.2023). Kauppakeskus Puuvillan katolle uusi aurinkovoimala – noin 150 pysäköintipaikkaa poistuu asiakkaiden käytöstä. Satakunnan Kansa. <https://www.satakunnankansa.fi/porilaine/art-2000009415559.html>

Omavoima. (31.12.2024). Aurinkopaneelien kannattavuus Suomen olosuh-teissa. <https://omavoima.fi/aurinkopaneelien-kannattavuus-suomen-olosuh-teissa/>

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. (2023). Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje: Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuus -työryhmä. [https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurin-kos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien\\_paloturvallisuus-ohje\\_S\\_18012023.pdf](https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurin-kos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuus-ohje_S_18012023.pdf)

Perälä R. (2017). Aurinkosähköä. Alfamer.

Prume, K. & Viehweg, J. (2018). Assessing Fire Risks in Photovoltaic Sys-tems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/10/f56/PV%20Fire%20Sa-fety%20Fire%20Guideline\\_Translation\\_V04%2020180614\\_FINAL.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/10/f56/PV%20Fire%20Sa-fety%20Fire%20Guideline_Translation_V04%2020180614_FINAL.pdf)

Puuvilla. (n.d.). Aurinko- ja geoenergia. Haettu 13.1.2025 osoitteesta <https://porinpuuvilla.fi/aurinko-ja-geoenergia/>

PVEducation. (n.d.) Hot spot heating. Haettu 02.09.2024 osoitteesta <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules-and-arrays/hot-spot-heating>

Report IEA-PVPS T13-10:2018. (2018). Review on IR and EL imaging for PV field applications. International Energy Agency. [https://iea-pvps.org/wp-con-tent/uploads/2020/01/Review\\_on\\_IR\\_and\\_EL\\_Imaging\\_for\\_PV\\_Field\\_Appli-cations\\_by\\_Task\\_13.pdf](https://iea-pvps.org/wp-con-tent/uploads/2020/01/Review_on_IR_and_EL_Imaging_for_PV_Field_Appli-cations_by_Task_13.pdf)

Sesko. (2022). Standardijulkaisu aurinkosähkölaitteiston lämpökuvaukseen. <https://sesko.fi/standardijulkaisu-aurinkosahkolaitteiston-lampokuvaukseen/>

SFS-EN 62446-1:2016. (2016). Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset doku-mentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytke-tyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottotestit ja tarkastus. Suomen Stan-dardisoimisliitto. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuot-teet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/422615.html.stx>

Skystore. (n.d.). Dji Mavic 3 Enterprise Universal. Haettu 23.09.2024 osoit-teesta <https://www.skystore.fi/tuote/dji-mavic-3-enterprise-universal>

ST-käsikirja 40. (2023). Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Sähköinfo. <https://severi.sahkoinfo.fi>

Svarc, J. (2.2.2022). Solar Panel Construction, <https://www.cleanener-gyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>

Tahkokorpi, M. (2016). Aurinkoenergia Suomessa. Into Kustannus.

Teledyne Flir. (n.d.). Professional Thermal Camera: FLIR T530. Haettu 23.09.2024 osoitteesta <https://www.flir.eu/products/t530/?vertical=condition+monitoring&segment=solutions&srsltid=AfmBOoql82AT1jp4oxRic9Ikq9xefie1uHCc39IER-ByEZ9TIU6zJ3toi>

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2012). Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. [https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK\\_ohje\\_2012.pdf](https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf)

Vattenfall. (n.d.). Aurinkovoima. Haettu 22.08.2024 osoitteesta <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/>

VR, A. (12.9.2022). What Happens If A Solar Panel Is Not Connected To Anything? Republic Of Solar. <https://arka360.com/ros/disconnecting-your-solar-panel/>

Väre. (23.4.2020). Miten aurinkopaneelit toimivat? <https://vare.fi/yrityksille/aurinkopaneelit/miten-aurinkopaneelit-toimivat/>

## LIITE 1: SÄHKÖINFON ESITYS 26.9.2024



# Aurinkopaneelien lämpökuvaus

Essi Veräväinen

SAMK

26.09.2024

Satakunta University of Applied Sciences



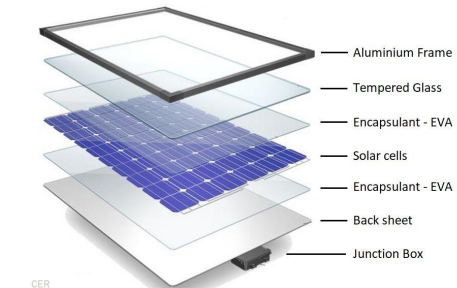
## Aurinkovoima

- Aurinko on kaasupallo, jonka ulkokuori koostuu pääasiassa vedystä ja heliumista. Auringon säteilemä energia syntyy ydinfuusioreaktioissa, joissa vetyatomit yhdistyvät heliumatomeiksi, vapauttaen valtavan määrän energiaa. Auringon kokonaisteho on noin  $3,8 \times 10^{26}$  W, josta Maahan saapuu noin  $1,7 \times 10^{17}$  W.
- Maan ilmakehän ulkopuolella kohtisuoraan neliömetrin kokoiselle pinnalle osuvan auringonsäteilyn teho on keskimäärin 1,368 kW, tätä arvoa kutsutaan **aurinkovakioksi**. Kun säteily kulkee ilmakehän läpi, siitä menetetään jopa noin 40 %, jolloin maanpinnalle saapuva säteilyteho on noin 1 kW/m<sup>2</sup>.
- Auringon säteilyteho on aamulla ja illalla pienempi kuin keskipäivällä ja talvella heikompi kuin kesällä. Tämä johtuu siitä, että ilmakehä sisältää erilaisia kaasumolekyylejä, vesihöyryä ja epäpuhtauksia, jotka heikentävät auringonsäteiden pääsyä maanpinnalle.

Satakunta University of Applied Sciences

## Aurinkopaneeli

Paneelin ylin kerros on karkaistua lasia, joka suojaa sisällä olevia aurinkokennoja sääolosuhteilta samalla mahdollistaen auringonsäteilyn pääsyn kennoihin. Karkaistun lasin alla on ensimmäinen kapselointikalvo, joka pitää aurinkokennot paikoillaan ja suojaa niitä. Aurinkokennot ovat sarjaan kytkettyjä piikiekkoja. Kennojen alla on toinen kapselointikalvo. Paneelin pohjalla on taustalevy, joka tukee ja suojaa. Koko rakenne kehystetään alumiiniprofiililla. Paneelin takana on kytkentärasiat.



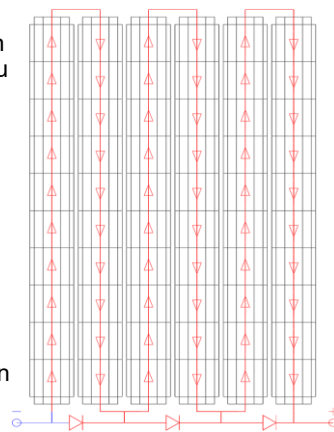
Kuva: <https://aurinkopaneeli.fi/rakenne/>

Satakunta University of Applied Sciences

## Aurinkopaneeli

Nykyisissä aurinkopaneeleissa on usein käytössä **ohitusdiodit**, jotka mahdollistavat osittain varjostettujen paneelien toiminnan. Esimerkiksi jos yksi kenno varjostu ohitusdioidien avulla varjo ei estä koko paneelin sähköntuotantoa, vaan vaikutus rajoittuu vain osaan paneelista.

Suuremmissa järjestelmissä varjostumisen vaikutus riippuu paneelikentän kokonaisjännitteestä suhteessa invertterin minimijännitteeseen. Jos kentän jännite on lähellä invertterin minimijännitettä, muutaman paneelin varjostuminen voi pysäyttää tuotannon. Kuitenkin, jos kentän jännite on esimerkiksi kolminkertainen minimijännitteeseen nähden, jopa kaksi kolmasosaa kentästä voi olla varjossa, ja järjestelmä tuottaa edelleen sähköä kolmanneksella teholla.

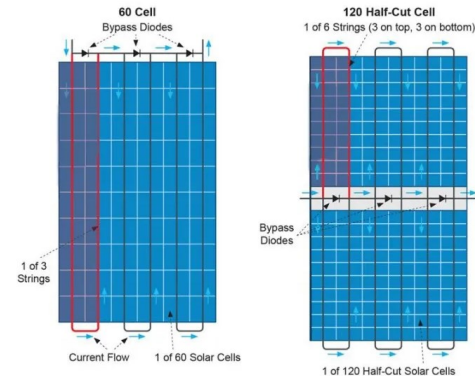


Kuva: <https://hsaoy.com/apua/pv-varjot/>

Satakunta University of Applied Sciences

## Half-cut-teknologia

Half-Cut-teknologialla parannetaan paneelin kestävyttä ja sähköntuotantotehokkuutta. Kennot leikataan puoliksi, jolloin paneeli voidaan jakaa useampaan osaan. Tämä mahdollistaa sen, että varjostus vaikuttaa vain pieneen osaan paneelin tuotantotehosta, eikä koko paneelin toiminta lakkaa. Lisäksi pienemmäksi leikatut kennot kestävät paremmin mikrohalkeamia ja tuottavat vähemmän hukkalämpöä, mikä lisää paneelin käyttöikää ja kokonaishyötysuhdetta.



Kuva: <https://www.novergysolar.com/half-cut-solar-cells-improve-solar-module-performance/>

Satakunta University of Applied Sciences

## Porin Puuvilla Oy

- Työn toimeksiantaja vuonna 2010 perustettu kauppakeskus Porin Puuvilla Oy. Avattiin yleisölle 2014.
- Kiinteistöosakeyhtiö, jonka päätoimiala on toimitilojen välitys, myynti ja vuokraus
- Vuonna 2017 Puuvillan katolle asennettiin aurinkosähköjärjestelmä, joka koostuu 2226 aurinkopaneelista.
- Vuonna 2023 katolla sijaitsevalle pysäköintialueelle lisättiin uusi aurinkovoimala, johon kuuluu 772 paneelia.

### PORIN PUUVILLA - AURINKOSÄHKÖN KOKONAISTUOTANTO

	January		February		March		April		May		June		July		August		September		October		November		December		Total [MWh]
	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	AV1	AV2	
2017							23,31	23,31	90,55	90,55	89,65	89,65	84,40	84,40	59,16	59,16	36,87	36,87	10,57	10,57	3,36	3,36	0,59	0,59	398 MWh
2018	0,88	0,88	0,97	0,97	24,85	24,85	61,51	61,51	99,78	99,78	88,78	88,78	85,72	85,72	65,99	65,99	36,67	36,67	14,91	14,91	2,29	2,29	0,70	0,70	483 MWh
2019	0,04	0,04	4,00	4,00	30,85	30,85	64,28	64,28	83,95	83,95	91,21	91,21	94,43	94,43	70,14	70,14	38,29	38,29	13,32	13,32	2,03	2,03	0,68	0,68	493 MWh
2020	1,87	1,87	6,52	6,52	30,60	30,60	67,34	67,34	95,78	95,78	94,84	94,84	75,87	75,87	74,08	74,08	40,17	40,17	12,59	12,59	2,46	2,46	0,52	0,52	503 MWh
2021	0,13	0,13	2,32	2,32	31,54	31,54	65,36	65,36	79,50	79,50	93,47	93,47	91,88	91,88	62,36	62,36	37,61	37,61	11,15	11,15	2,08	2,08	0,02	0,02	477 MWh
2022	0,06	0,06	2,89	2,89	40,17	40,17	64,54	64,54	84,46	84,46	83,48	83,48	76,58	76,58	61,19	61,19	38,73	38,73	12,84	12,84	1,38	1,38	0,04	0,04	466 MWh
2023	0,73	0,73	0,14	0,14	14,17	14,17	66,52	66,52	90,30	90,30	87,05	87,05	30,34	30,34	64,53	64,53	44,63	44,63	47,57	47,57	32,90	32,90	31,17	31,17	556 MWh
2024	0,03	0,03	0,15	0,15	1,14	1,14	2,38	2,38	18,58	18,58	14,86	14,86	38,19	38,19	26,91	26,91	87,22	87,22	60,49	60,49	78,90	78,90	51,61	51,61	584 MWh
	0,18	0,18	3,52	3,52	33,44	33,44	65,10	65,10	147,71	147,71	170,51	170,51	106,19	106,19	58,63	58,63	33,87	33,87	97,50	97,50					3 961 MWh

Kuva: Ville Mattila, Porin Puuvilla Satakunta University of Applied Sciences



## Vanha aurinkosähköjärjestelmä

601,02 kWp

### Naps Saana 270W P3 MAW

- Aurinkopaneelissa on 60 kpl monikiteisiä piikkenoja.
- Aurinkokennot käsitelty vähentämään heijastusta ja tehostamaan sekä suoran että hajavalon muuntamista energiaksi.
- 3kpl sisäänrakennettuja ohitusdiodeja



Kuva: <https://porinpuuvilla.fi/aurinko-ja-geoenergia/>  
Satakunta University of Applied Sciences

## Uusi aurinkosähköjärjestelmä

320,6 kWp

### Hitouch 5 CP18-54H, 410W

- Aurinkopaneelissa on 108 kpl yksikiteisiä piikkenoja.

#### Mono Perc:

- Mono: yksikidepaneeli, mahdollistaa yksittäisen paneelin suuremman tehon.
- Perc (Passivated Emitter and Rear Cell): Aurinkokennorakenne, jossa kennon taustalla passiivinen kerros, joka passivoi säteilyä pääsemästä kennon taustan läpi hukkaan.

#### MBB tekniikka:

- Perinteisten leveiden kiskojen sijaan käytetään useita ohuempia kiskoja paneelin virran keräämiseen. Parantaa paneelin kokonaissuorituskykyä ja kestävyyttä.

#### Anti-pid (Potential Induced Degradation):

- Suojaa aurinkopaneeleja suorituskyvyn heikkenemiseltä, joka voi johtua sähköisestä potentiaalierosta paneelin ja maadoituksen välillä.



Kuva: Juha Veräväinen, Porin Puuvilla

Satakunta University of Applied Sciences



## Lämpökuvaamisen pätevyudet



- Sähkölaitteiston lämpökuvaajien sertifiointista vastaa Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy.
- Lämpökuvaajan pätevyys on vapaaehtoinen osoitus ammattitaidosta, joka varmistaa henkilön kyvyn suorittaa sähkölaitteiden lämpökuvaukset asianmukaisesti ja tehokkaasti
- Sertifioidulla lämpökuvaajalla tulee olla LK 1 pätevyys ja perusteellinen tieto lämpökuvauslaitteistosta sekä sähkö- ja lämpöopinperusteista.
- Aurinkopaneelien kuvaamiseen ei vaadita pätevyyttä, mutta se on suositeltavaa.

Satakunta University of Applied Sciences

## Laitteiston vaatimukset



Mittauslaitteiston tulee olla sähkölaitteiden kuvaamiseen soveltuva. Pätevöityneellä lämpökuvaajalla tulee olla taito tarkistaa, että lämpökuvauslaitteistolla on seuraavat luetellut ominaisuudet ja valmiudet:

- Ainakin yhden pisteen suora lämpötila nähtävissä näyttöruudulta.
- Radiometrinen kuva eli lämpötila-arvot on mahdollista mitata koko kuva-alueelta tietokoneohjelmistoa käyttäen.
- Kuva-aineisto voidaan säilyttää sähköisessä muodossa.
- Lämpötilan mittaaminen  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  tarkkuudella  $100^{\circ}\text{C}$  lämpötilaan saakka ja yli  $100^{\circ}\text{C} \pm 2\%$ .
- Emissiivisyydestä ja heijastuksesta johtuneen taustasäteilyn aiheuttamien vääristymien korjaaminen jälkeenkäynnin jälkeen.
- Lämpökameran pikselimäärä vähintään 19200, esim.  $160 \times 120$ . Yhden pikselin koon tulee olla alle  $30 \text{ mm}^2$  yhden metrin etäisyydeltä kuvattaessa.
- Lämpötilaerojen mittaaminen vähintään  $0,1^{\circ}\text{C}$  portain.

Satakunta University of Applied Sciences

## Aurinkopaneelien lämpökuvaus



- Lämpökuvauksella tarkastetaan aurinkopaneelien kunto ilman, että niiden toiminta keskeytetään. Lämpökuvauksella voidaan havaita vauriot, joita ei näe paljaalla silmällä.
- Dronet ovat hyödyllisiä laajojen aurinkosähkövoimaloiden tarkastuksessa, koska ne mahdollistavat nopean ja tehokkaan tarkastelun laajalta alueelta. Tarkemmat yksityiskohtaiset tutkimukset voidaan tehdä käsikäyttöisellä lämpökameralla.
- Lämpökuvauksella voidaan parantaa järjestelmän turvallisuutta ja ehkäistä palovaaroja. Samalla se auttaa ylläpitämään aurinkosähköjärjestelmän tuottavuutta ja tehokkuutta pitkällä aikavälillä, koska mahdolliset viat voidaan havaita ja korjata ajoissa.
- Aurinkopaneelien vuosihuoltosuunnitelmaan sisältyy paneelien visuaalinen tarkastus, paneelien puhdistus, liitosten silmämääräinen tarkastus ja DC-kytkimen toimintakunnon testaus. On suositeltavaa yhdistää vuosihuoltoon myös paneelien lämpökuvaus.

Satakunta University of Applied Sciences

## Lämpökuvauksessa käytetty laitteisto: Mavic 3T



- Paino 920g, maksimilentoalähtöpaino: 1,05kg
- -10° to 40° C
- 4/3 CMOS laajakulmakamera
- 56x hybridizoom
- 640 × 512 px lämpökamera
- 45 min maksimilentoaika

*Perehdy sääntöihin, rekisteröidy ja suorita Traficom:n koe*

- 250 g ja painavamman dronen lennättäminen edellyttää A1/A3-verkkoteoriakokeen suorittamista.
- Kaikki kameralliset dronet täytyy rekisteröidä.
- Flyk Drone Map -sivustolta voidaan tarkistaa sallitut lentoalueet ja -korkeudet.



Kuva:  
<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/845845/DJI-Mavic-3-Thermal-nelikopteri>

Satakunta University of Applied Sciences

## Lämpökuvauksessa käytetty laitteisto: Flir T530



- Ammattilaistason lämpökamera.
- Lämpötilamittaus: -20°C - 120°C
- IR-resoluutio: 320 x 240
- Resoluutio: 640 x 480
- Tarkkuus:  $\pm 2^\circ\text{C}$  100°C lämpötilaan saakka ja yli 100°C  $\pm 2\%$
- Kallistettava 4" LCD-näyttö helpottaa käyttöä vaikeasti saavutettavissa paikoissa, ja automaattitarkennus varmistaa tarkan kuvantamisen.
- Ottaa sekä lämpökuvia että tavallisia digitaalikuvia.



Kuva: <https://www.yeint.fi/mittaus-ja-testaus/lampokamerat/flir-t530-24-ast-linssi-20c-650c>

Satakunta University of Applied Sciences

## Kuvaamisen valmistelut



Ennen kuvauksen aloittamista on hyvä selvittää kuvattavan kohteen olosuhteet:

- Ulkoilman lämpötila
- Tuulen nopeus ja suunta
- Säätila

Tämän lisäksi tulee tarkastaa ohjain ja drone sekä laatia lentosuunnitelma.

Hyvän lämpökuvan perusedellytyksiä ovat seuraavat:

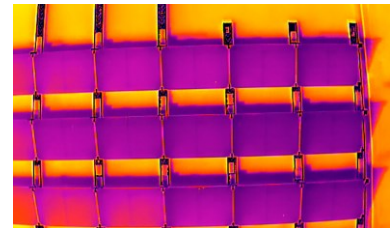
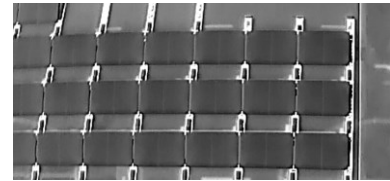
- Oikea tarkennus
- Oikea lämpötila-alue
- Oikea kuvausetäisyys ja -kulma
- Oikea emissiokerroin
- Järkevä väripaletti

Satakunta University of Applied Sciences

## Kuvaamisen valmistelut



- Kuvat tulisi ottaa sopivalla etäisyydellä paneelista niin, että koko paneeli on selkeästi näkyvässä. Jos paneelirivit on asennettu tiiviisti, paras tapa kuvata paneelit on seuraavan rivin välistä.
- Dronella ei kannata yrittää saada koko kenttää kerralla kuvaan, vaan kuvata kenttä järjestelmällisesti läpi. Dronen kameran kulma asetetaan samaan kulmaan kuin aurinkopaneelien kulma. Lisäksi lentonopeus on pidettävä riittävän alhaisena, jotta kuvaustulos on tarkka.
- Järkevin väripaletti riippuu kuvauskohteesta. Monisävyinen väripaletti tekee lämpötilaeroista selkeästi havaittavia, sillä eri värit korostavat pieniäkin lämpötilaeroja. Mustavalkoinen väripaletti korostaa kuumat kohdat selkeästi, mutta ei välttämättä tuo esiin pieniä lämpötilaeroja hyvin.

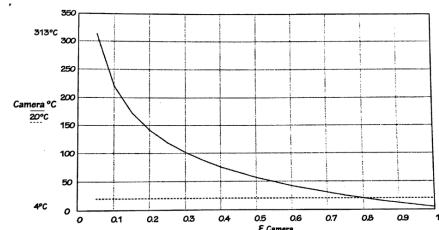


Satakunta University of Applied Sciences

## Kuvaamisen valmistelut



- Lämpötila-alueen valinnassa voidaan käyttää manuaalista- tai automaattialuevalintaa.
  - Kuvauksissa hyväksi koettu lämpötila-alue alkoi 5–10 asteesta ja päättyi 40–60 asteeseen riippuen kuvausolosuhteista.
- Emissiokerroin 0,85–0,95
  - Emissiokerroin on oleellinen tekijä lämpökuvia tulkittaessa, koska se vaikuttaa lämpökameran näyttämään lämpötilalukemaan.
- Lämpökamerakuva on otettava niin kohtisuoraan paneelin pintaa kohti kuin on mahdollista.
  - Mikäli kuvaa ei voida ottaa kohtisuoraan paneelin pintaa kohden, tulisi kameran ja paneelin pinnan välisen kulman olla suurempi kuin 30 astetta.



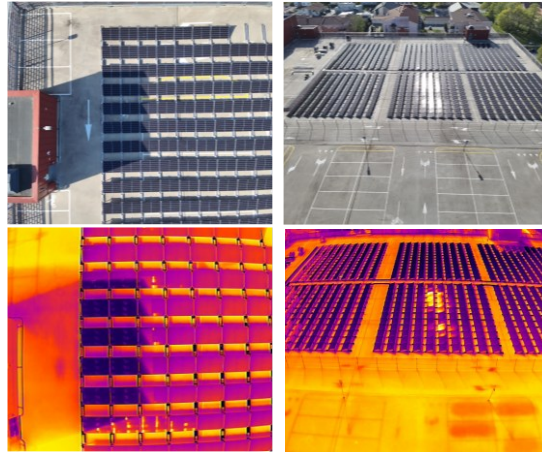
Kohteen todellinen lämpötila on 20 astetta ja sen oikea emissiokerroin 0,8. Väärällä emissiokertoimella, mittaustulokset voivat vääristyä merkittävästi.

Taulukko: Sähkölaitteiden lämpökuvaus

Satakunta University of Applied Sciences

## Kuvaamisen valmistelut

- Vältettävä kuvaajan ja lämpökameralaitteen itsensä heijastumista sekä heijastuksia kuumista kohteista kuten aurinko, läheiset rakennukset ja puut.
- Yleisimpiä virheitä lämpökuvauksessa ovat huono tarkennus, väärä tulkinta automaattisen lämpötila-alueenvalinnan vuoksi, kuvan ottaminen liian kaukaa, heijastumien virheellinen tulkitseminen vioiksi ja väärä emissioerroin.



Satakunta University of Applied Sciences

## Kuvaaminen

- Lämpökuvauus tulisi suorittaa, kun aurinkopaneelijärjestelmä toimii normaalissa toimintatilassa. Tarkastelun aikana paneelien pinnalle kohdistuvan säteilyintensiteetin tulisi olla vähintään  $400 \text{ W/m}^2$ , ja taivaan olosuhteiden on oltava vakaat. Ihanteellisesti säteily tulisi olla tasainen ja voimakkuudeltaan yli  $600 \text{ W/m}^2$ , jotta voidaan varmistaa, että paneelien tuottama virta on riittävä aiheuttamaan havaittavia lämpötilapoikkeamia.
- Paneelistoa voidaan tarkastella myös sen takaosasta, minimoiden paneelin lasipinnasta heijastuneen valon aiheuttama häiriö, mutta edestä saadaan parempi lämpökuva paneelin lasin lämmönjohtavuuden ansiosta.
- Kun havaitaan poikkeuksellisen korkeita lämpötiloja, merkitään paneelit selkeästi dokumentteihin. Jokainen havaittu lämpötilapoikkeama tarkastetaan huolellisesti ja selvitetään sen syy. Tutkimuksessa käytetään sekä aistinvaraisia menetelmiä että paneeliketjun ja yksittäisten paneelien sähköisiä mittauksia.

Satakunta University of Applied Sciences

## Tulosten tarkastelu



- Lämpökuvaajan tulee erottaa, kuinka suuri lämpeneminen on normaalia, ja millainen lämpeneminen on haitallista. On hyvä muistaa lämpökuvia tulkitessa, että lämpö pyrkii aina siirtymään kuumasta kylmempään sekä se, että myös kylmyys voi merkitä vikaa, eikä tarkastella vain kuumia kohtia.
- Aurinkopaneelin lämpötilan tulisi olla tasainen, mutta reunoilla ja kytkentäkoteloiden lähellä voi esiintyä lievää vaihtelua.
- Jos ohitusdiodit ovat kuumia, eli toiminnassa, tarkistetaan paneelisto ja selvitetään mahdolliset syyt, kuten varjot tai jätteet, joiden vaikutuksia diodi pyrkii ehkäisemään. Jos selkeää syytä ei löydy, paneeli saattaa olla viallinen.
- Paneelin johtimien liitännäskohtien lämpötilan ei pitäisi olla merkittävästi korkeampi kuin itse johtimen. Jos liitännät ovat kuumia, tarkistetaan mahdolliset korroosion merkit tai löysät liitokset.
- Tyypillisimpiä lämpökuvauksessa havaittavia ongelmia ovat kuumat pisteet (hot spot), lämpötilan nousu ohitusdiodissa paneelin liitännärasiaassa sekä kaapeleiden ja liitännäkohtien ylikuumeneminen.

Satakunta University of Applied Sciences

## Hot spotit, kuumat kohdat



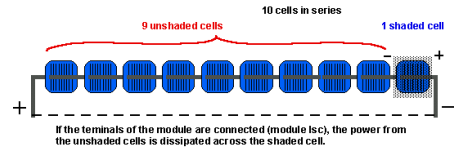
- Yleisin vikojen aiheuttaja on hot spot –ilmiö, joka heikentää paitsi paneelin tehokkuutta myös sen turvallisuutta.
- Hot spot, eli aurinkopaneelin kuuma piste, on alue, jonka lämpötila on reilusti korkeampi kuin muu paneeli. Kennon lämpötila voi nousta jopa 150 asteeseen, mikä voi johtaa pysyviin vaurioihin, kuten lasin halkeilemiseen.
- Yleensä kuumat pisteet eivät näy paljaalla silmällä, mutta on myös mahdollista, että paneeliin pintaan ilmestyy ruskeita täpliä tai muita ilmeisiä vaurioita.
- Kuumia pisteitä aiheuttavat varjot, lika, sisäiset suunnitteluvirheet, rakenteelliset vauriot ja ulkoiset tekijät. Kuumien pisteiden muodostumista voidaan ehkäistä asentamalla paneelit oikeaan kulmaan ja varjottomaan paikkaan, varmistamalla riittävä ilmankierto sekä huolehtimalla paneelien puhdistuksesta ja huollosta.

Satakunta University of Applied Sciences

## Hot spotit, kuumat kohdat

Lämpökuvissa havaittavat kuviot riippuvat varjostuksen lähteestä, jotka jaetaan paikalliseen ja laajamittaiseen varjostukseen. Paikallinen varjostus tarkoittaa esimerkiksi lintujen jätöstä tai pientä puuta. Laajamittainen varjostus tarkoittaa esim. rakennusta tai suurta puuta.

Kuuma kohta syntyy, kun sarjaan kytketyt kennot aiheuttavat suuren käänteisen jännitteen varjostetulle kennolle, mikä johtaa energian hajautumiseen varjostetussa kennossa. Käytännössä hyvin toimivien kennojen tuottama energia purkautuu varjoisassa kennossa. Tämä valtava energian hajautuminen pienellä alueella johtaa paikalliseen ylikuumentumiseen, mikä voi puolestaan aiheuttaa tuhoisia vaikutuksia, kuten kennon tai lasin halkeamista, juotoksen sulamista tai aurinkokennon heikkenemistä.

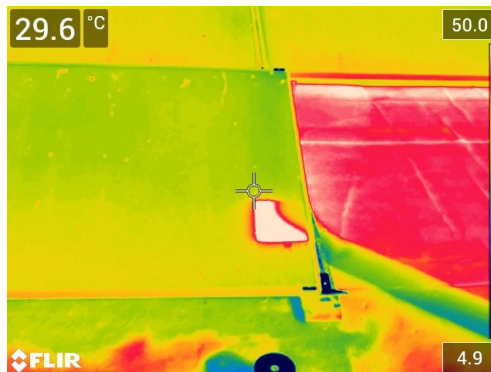


Kuva:  
<https://www.solarpanelsfi.com/blog/miksi-meidan-pitaisi-varoa-kuumapistevaikutusta-aurinkopaneeleissa>

Satakunta University of Applied Sciences

## Hot spot: Varjot

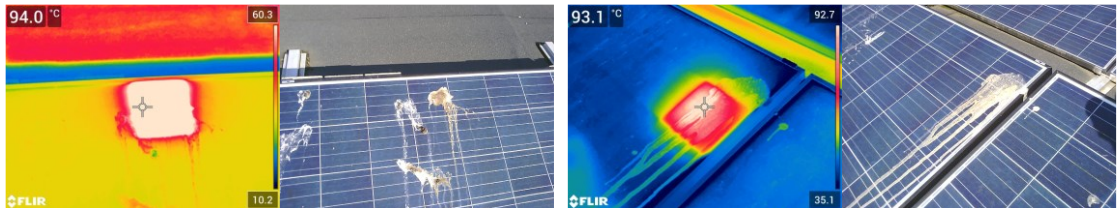
Tuuletusputken varjo nosti kennon lämpötilan 60-asteiseksi, kun muu paneeli oli noin 30 astainen.



Satakunta University of Applied Sciences

## Hot spot: Lintujen jätökset

Lintujen jätökset nostivat kennojen lämpötilan yli 90 asteiseksi, kun muu paneeli oli noin 30-40 asteinen.

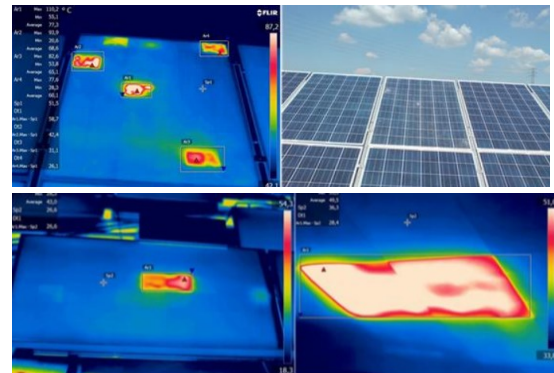


Satakunta University of Applied Sciences

## Hot spot: Rikkoutunut lasi ja sisäiset ongelmat

Paneelin etulasi voi rikkoutua voimakkaan iskun, kuten rakeen, seurauksena. Etulasin vaurio voi aiheuttaa kennon ylikuumentumisen vauriokohdassa.

Paneelin sisäiset ongelmat voivat aiheuttaa kuumia kohtia. Kennot voivat ylikuumentua valmistusprosessin virheiden, kuten epätarkan kennojajittelun, paikallisten oikosulkujen tai riittämättömän sähköisen kontaktin seurauksena.



Kuvat: Report IEAPVPS T13-10:2018

Satakunta University of Applied Sciences

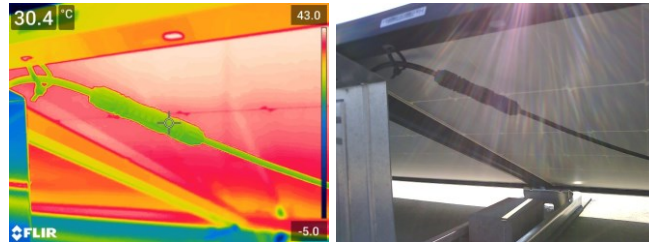


## Vialliset liitokset



Liitoksen vikaantumiseen vaikuttavat ulkoiset voimat, ilman koostumus, epäpuhtaudet liitoksen tekovaiheessa sekä sähkövirran ja lämmön aiheuttamat kemialliset muutokset johdin- ja liitinmateriaaleissa.

Jos liitoksen eristerakenne vaurioituu tai sen pinnalle muodostuu osittain tai kokonaan johtava virtareitti, siitä voi syntyä tulipaloriski.

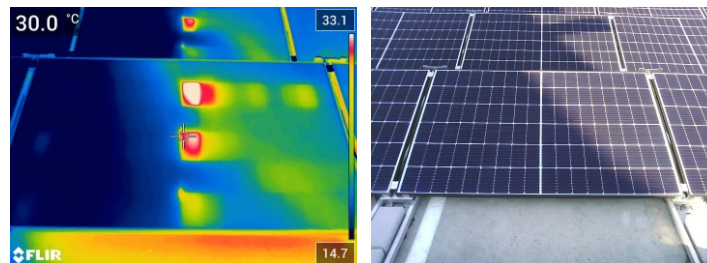


Satakunta University of Applied Sciences

## Ohitusdioidit



Normaalin toiminnan aikana ohitusdioidit eivät ole aktiivisia. Epätasapainon tai osittaisen varjostuksen seurauksena virta kulkee ohitusdiodin kautta sen sijaan, että se kulkisi varjostetun kennon läpi. Tämän vuoksi aktiivisen ohitusdiodin lämpötila on korkeampi kuin passiivisten diodien.



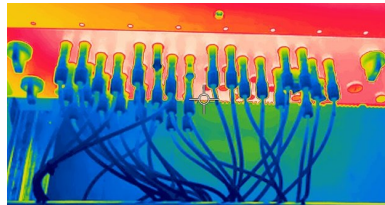
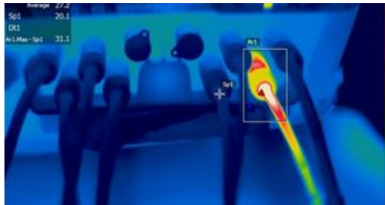
Satakunta University of Applied Sciences

## Invertteri



Keskusinvertteri seuraa jatkuvasti aurinkopaneelien tuottamaa sähkötehoa ja muuttaa aurinkopaneelien tasasähkön vaihtosähköksi.

Johtimien ja liittimien tulisi olla tasalämpöisiä.  
Lämpenemistä aiheuttavat virheelliset/löysät liitokset.



Kuva: Report IEAPVPS T13-10:2018

Satakunta University of Applied Sciences

## Tulkinta



- Yksittäisen aurinkokennon lämpötilaero, joka on alle 10 °C, pidetään yleensä ongelmattomana eikä vaadi erillistä kirjausta.
- Lämpötilaerot, jotka vaihtelevat 10 °C ja 20 °C välillä, eivät tässä vaiheessa aiheuta välitöntä huolta, vaikka ne voivat kasvaa ajan myötä. Näitä paneeleja tulisi kuitenkin seurata säännöllisesti.
- Yli 20 °C lämpötilaerot voivat heikentää paneelien tuotantotehoa. Äärimmäisissä tapauksissa tämä voi johtaa materiaalien heikkenemiseen, mikä saattaa aiheuttaa turvallisuusriskejä. Jos paneeleja ei vaihdeta ajoissa, lämpötilaerojen kasvaminen ajan myötä on odotettavissa.
- Pysyvästi aktivoitunut ohitusdiodi vähentää kyseisen paneelin tuottamaa tehoa, mikä johtaa koko voimalan kokonaistuotannon vähenemiseen. Paneelit, joissa on pysyvästi aktivoituja ohitusdiodeja, on vaihdettava tuotannon heikkenemisen estämiseksi.
- Jos yksi tai useampi sarjaan kytketty paneeli on huomattavasti lämpimämpi kuin muut, se voi viitata siihen, että paneelit eivät ole kunnolla kytketty järjestelmään. Tässä tapauksessa johtojen kunto ja liitännät tulisi tarkistaa.

Satakunta University of Applied Sciences

## Paloturvallisuus

Aurinkosähköjärjestelmät, vaativat säännöllistä huoltoa ja ylläpitoa. Aurinkopaneelien käyttöikä on keskimäärin noin 30 vuotta. Tämän aikana järjestelmät altistuvat erilaisille sääolosuhteille, kuten UV-säteilylle, sateelle, lumelle ja tuulelle. Nämä voivat ajan myötä vaikuttaa paneelien ja muiden järjestelmän komponenttien toimintaan ja tehokkuuteen.

Oikein asennetut, käytetyt ja huolletut aurinkosähköjärjestelmät ovat pääsääntöisesti erittäin turvallisia. Kuitenkin jokainen virheellisesti asennettu tai vaurioitunut komponentti voi lisätä palovaaraa. Vuosien 2017-2021 tilastot osoittavat, että aurinkosähköjärjestelmät ovat aiheuttaneet Suomessa vuosittain enintään kymmenkunta tulipaloo. Tulipalojen syinä ovat olleet muun muassa komponenttivauriot.

Saksassa vuosina 2011-2013 tehdyn tutkimuksen mukaan aurinkosähköjärjestelmien paloista kolmasosa johtui järjestelmän komponenteista, toinen kolmasosa suunnitteluvirheistä ja loput asennusvirheistä. Tutkimus osoitti myös, että tulipalot tapahtuivat usein keskipäivällä tai varhain iltapäivällä, jolloin auringon säteily ja paneelien sähkön tuotanto ovat huipussaan. Näissä tilanteissa vialliset tai vaurioituneet komponentit ylikuumentuvat, mikä johti tulipalojen syttymiseen.



Kuva: [https://www.linkedin.com/posts/david-villalobos-55a99353\\_incendios-en-paneles-solares-la-energ%C3%ADa-activity-7127331799545864192-dMZk/](https://www.linkedin.com/posts/david-villalobos-55a99353_incendios-en-paneles-solares-la-energ%C3%ADa-activity-7127331799545864192-dMZk/)

Satakunta University of Applied Sciences

## Lähteet

- Amboya. (n.d.). What is PID (Potential-induced degradation)?. <https://amboya.com/anti-pid-potential-induced-degradation/>
- Aurinkopaneelin rakenne. (n.d.). <https://aurinkopaneeli.fi/rakenne/>
- DJI Mavic 3 Thermal drone. <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/845845/DJI-Mavic-3-Thermal-nelikopteri>
- FLIR T500-Series: Professional Thermal Imaging Cameras. (n.d.). [https://www.yeint.fi/media/akeneo\\_connector/asset\\_files/T/5/T500\\_SERIES\\_DATASHEET\\_bec5.pdf](https://www.yeint.fi/media/akeneo_connector/asset_files/T/5/T500_SERIES_DATASHEET_bec5.pdf)
- Hietanen, M., Tiainen E., Alhainen J., Rousku H., Kari A. (2020). Sähkölaitteiston lämpökuvaus (2., uudistettu painos). Sähköinfo.
- HSA Oy. (n.d.). Varjostumat aurinkopaneelissa. <https://hsaoy.com/apua/pv-varjot/>
- IEC/TS 62446-3:2017:fi. (2017). Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset tes-taamiselle, dokumentaatiolle ja kunnossapidolle. Osa 3: Aurinkosähköpaneelit ja -voimalat. Lämpökuvaus ulkotilassa. Suomen Standardisointiliitto. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/IEC/ID5/6/1124900.html.stx>
- Maysun Solar. (n.d.). Miksi meidän pitäisi varoa kuumapistevaikutusta aurinkopaneelissa? <https://www.solarpanelsfi.com/blog/miksi-meidan-pitaisi-varoa-kuumapistevaikutusta-aurinkopaneelissa>

Satakunta University of Applied Sciences

## Lähteet

- Navitas Solar. (18.6.2022). What is MBB Technology in a solar panel? LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/what-mbb-technology-solar-panel-navitassolar/>
- Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. (2023). Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje: Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuus -työryhmä. [https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien\\_paloturvallisuusohje\\_S\\_18012023.pdf](https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf)
- Report IEA-PVPS T13-10:2018. (2018). Review on IR and EL imaging for PV field applications. International Energy Agency. [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/Review\\_on\\_IR\\_and\\_EL\\_Imaging\\_for\\_PV\\_Field\\_Applications\\_by\\_Task\\_13.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/Review_on_IR_and_EL_Imaging_for_PV_Field_Applications_by_Task_13.pdf)
- Robertsson, V. (25.6.2023). Aurinkopaneeliteknologian lyhyt oppimäärä. Energio Finland Oy. <https://energio.fi/blogs/uutiset/paneelijargon?srsid=AfmBOopHWf0iCBx4uxUjBbF4uFiUruz08XUAWrSer0cZ5mFWLO1QeaG>
- SETI. (5.11.2021). Sähkölaitteistojen lämpökuvaajan pätevyysvaatimukset ja lämpökuvausyrityksen hyväksyntä, <https://seti.fi/wp-content/uploads/2021/11/LK-Patevyys-SETI-5.11.2021.pdf>
- Tahkokorpi, M. (2016). Aurinkoenergia Suomessa. Into Kustannus.

Satakunta University of Applied Sciences