



# Drone-tekniikan hyödyntäminen aurinkovoimaloiden kunnossapidossa

Teemu Sirniö

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

**Teemu Sirniö**

## **Drone-tekniikan hyödyntäminen aurinkovoimaloiden kunnossapidossa**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 35 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä kehitettiin Enersense International Oyj:lle käyttökelpoisia tarkastusmenetelmiä aurinkovoimaloiden kunnossapitoon hyödyntämällä lämpökameralla varustettua dronea. Tavoitteena oli tehostaa tarkastuksia, parantaa työturvallisuutta ja vastata kasvaviin asiakasvaatimuksiin. Kehittämistyön tuloksena laadittiin käytännönläheinen työohje, joka ohjasi dronen käyttöä osana kunnossapitoprosesseja.

Menetelmien toimivuutta arvioitiin kehittämistutkimuksen keinoin yhdistämällä teoreettinen viitekehys ja käytännön testaus. Lämpökuvauksia ja visuaalisia tarkastuksia suoritettiin neljässä eri aurinkovoimalakohteessa. Tarkastuksissa havaittiin paneelien lämpöpoikkeamia, jotka viittasivat mahdollisiin laitteistovikoihin ja viallisiin johdotuksiin. Drone osoittautui hyödylliseksi tarkastusten kattavuuden, tehokkuuden ja dokumentoinnin parantamisessa.

Tulokset tukivat tietoperustassa esitettyä käsitystä droneteknologian soveltuvuudesta aurinkovoimaloiden kunnossapitoon. Toteutuksen aikana ilmeni myös haasteita, kuten sääolosuhteiden ja lentorajoitusalueiden rajoituksista, jotka korostivat lentojen ennakkosuunnittelun merkitystä. Laadittu työohje sai myönteistä palautetta yrityksen henkilöstöltä, ja sen käyttöä voitiin laajentaa jatkossa työmenetelmien kehittyessä.

Kehitetty menetelmä mahdollisti kunnossapitotoimien tarkemman kohdentamisen ja vikatilanteiden nopeamman havaitsemisen. Tämä vähensi potentiaalisia seisokkiaikoja ja tuki aurinkovoimaloiden tuotantotehokkuuden parantamista. Työohje edisti myös henkilöstön perehdytystä ja yhteinäisti sisäisiä toimintamalleja. Droneteknologian hyödyntäminen edisti siirtymää kohti digitaalisempaa ja turvallisempaa kunnossapitoa. Työn tulokset olivat sovellettavissa myös muiden teollisten kohteiden tarkastustoimintaan, joissa hyödynnettiin lämpö- ja ilmakehuvausta.

### **Avainsanat (asiasanat)**

aurinkovoimalat, kunnossapito, lämpökuvaukset, miehittämättömät ilma-alukset

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Liite 1 on salassa pidettävä ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus ja kohta 21, teknologista tai kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevat tiedot. Salassapitoaika on kaksi (2) vuotta. Salassapito päättyy 30.5.2027.

**Teemu Sirniö**

### **Utilization of drone technology in the maintenance of solar power plants**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 35 pages.

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

This thesis focused on developing practical inspection methods for solar power plant maintenance at Ener-sense International Oyj by utilizing a drone equipped with a thermal camera. The objective was to enhance inspection efficiency, improve occupational safety, and respond to increasing customer demands. As a result of the development work, practical operational guidelines were created to support the use of drones as part of the maintenance process.

The effectiveness of the methods was evaluated using the approach of development research, combining a theoretical framework with practical testing. Thermal imaging and visual inspections were carried out at four different solar power plant sites. The inspections revealed thermal anomalies in the panels, indicating possible equipment malfunctions and faulty wiring. The drone proved to be a useful tool for improving the coverage, efficiency, and quality of documentation in inspections.

The results supported the theoretical understanding of drone technology's suitability for solar power plant maintenance. Challenges such as weather conditions and flight restriction zones emerged during implementation, highlighting the importance of flight planning. The operational guideline received positive feedback from company personnel and can be expanded in the future as work methods evolve.

The developed method enabled more precise targeting of maintenance actions and faster identification of faults. This contributed to reducing potential downtimes and improving the production efficiency of the power plants. The operational guideline also supported staff onboarding and helped unify internal procedures. The utilization of drone technology contributed to the transition toward more digital and safer maintenance practices. The results were also applicable to inspection activities in other industrial environments involving thermal and aerial imaging.

### **Keywords/tags (subjects)**

solar power stations, maintenance, thermography, unmanned aerial devices

### **Miscellaneous (Confidential information)**

Appendix 1 is confidential and has been removed from the public version of the thesis. The basis for confidentiality is the Finnish Act on the Openness of Government Activities (621/1999), Section 24, Subsection 17 (business or professional secrets of a company) and Subsection 21 (information related to technological or development work and its evaluation). The confidentiality period is two (2) years. Confidentiality ends on May 30, 2027.

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>3</b>
1.1	Kehittämisiongelma ja työn tavoitteet .....	3
1.2	Tutkimusmenetelmä ja eettiset periaatteet .....	4
1.3	Tiedonhankinta .....	6
1.4	Toimeksiantaja .....	6
<b>2</b>	<b>Drone</b> .....	<b>7</b>
2.1	Dronen rakenne ja toiminta .....	7
2.2	Dronetyypit ja käyttökohteet .....	8
2.3	Lainsäädäntö ja turvallisuus .....	9
2.4	DJI Mavic 3 Thermal .....	11
<b>3</b>	<b>Aurinkosähköjärjestelmän</b> .....	<b>12</b>
3.1	Aurinkopaneeli .....	13
3.1.1	Aurinkopaneelien toiminta .....	13
3.1.2	Aurinkokennot .....	14
3.1.3	Ohitusdiodit ja estodiodit .....	16
3.2	Verkkoinvertteri .....	18
<b>4</b>	<b>Aurinkovoimaloiden kunnossapito</b> .....	<b>18</b>
4.1	Ehkäisevä .....	19
4.2	Havaintoon perustuva .....	19
4.3	Korjaava .....	20
4.4	Parantava .....	20
4.5	Aikatauluttamaton .....	20
<b>5</b>	<b>Lämpökuvaus</b> .....	<b>21</b>
5.1	Lämpökuvaus dronella .....	22
5.2	Lämpökamerakuvien tulkinta .....	23
5.3	Kuvaolosuhteiden vaikutus .....	24
<b>6</b>	<b>Työn kulku ja lopputulokset</b> .....	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>30</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>32</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>35</b>
	Liite 1. DJI Mavic 3 Thermal – työohje (salassa pidettävä) .....	35

## Kuviot

Kuvio 1 Kehittämistutkimuksen eteneminen.....	5
Kuvio 2 DJI Mavic 3 Thermal drone, ohjain, akut ja latuastelakka. ....	12
Kuvio 3 Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän rakenne. ....	13
Kuvio 4 Esimerkki aurinkopaneelin sisäisestä rakenteesta.....	14
Kuvio 5 Esitettyjen kennotyyppien ominaisuudet vuonna 2023. ....	15
Kuvio 6 Esimerkki eri kennotyypeistä. ....	16
Kuvio 7 Ohitus- ja estodiodit aurinkosähköjärjestelmissä. ....	17
Kuvio 8 Kunnossapidon jaottelu. ....	19
Kuvio 9 Lämpökameran liikenopeuden vaikutus. ....	23
Kuvio 10 Lämpökamerakuva ja kuumien pisteiden mahdollisia syyt. ....	24
Kuvio 11 Likaantuneen paneelin aiheuttamat lämpöpoikkeamat.....	25
Kuvio 12 Irronneen liitoksen aiheuttama paneelin lämpenemä. ....	27
Kuvio 13 Mustavalkoisella paletilla kuvattu paneelin lämpenemä. ....	27
Kuvio 14 Lämpökameralla kuvattu stringivika. ....	28
Kuvio 15 Ilmakuva aurinkovoimalasta. Nurmijärven aurinkopuisto, Helen Oy.....	28
Kuvio 16 Työohjeen sisällysluettelo.....	29

# 1 Johdanto

Aurinkovoimaloiden määrä Suomessa on kasvanut nopeasti osana vihreää siirtymää ja uusiutuvan energian lisääntymistä. Samalla kunnossapitotarpeet ovat monimuotoistuneet ja tarkastusten tehokkuutta sekä turvallisuutta on tarpeen kehittää. Tämä opinnäytetyö keskittyy lämpökameralla varustetun dronen käyttöön aurinkovoimaloiden kunnossapitotarkastuksissa ja vianetsinnässä. Dronen avulla voidaan havaita lämpöpoikkeamia ja muita visuaalisia vikoja ilman työntekijän fyysistä läsnäoloa, mikä lisää työturvallisuutta ja mahdollistaa laajojen alueiden tarkastuksen nopeasti ja tehokkaasti.

Aihe nousi esiin työn toimeksiantajalla, Enersense International Oyj:llä, jossa oli tunnistettu tarve kehittää tarkastusmenetelmiä vastaamaan kasvavaa kunnossapitokohteiden määrää. Droneteknologian hyödyntäminen tarjoaa mahdollisuuksia paitsi tehokkuuden ja turvallisuuden parantamiseen, myös laadukkaamman dokumentaation tuottamiseen kunnossapitotyössä.

Opinnäytetyössä kehitettiin tarkastusmenetelmä, joka perustuu dronen käyttöön osana aurinkovoimaloiden kunnossapitoprosesseja. Työssä yhdistettiin teoreettinen viitekehys ja käytännön koekäyttö. Tuloksena syntyi selkeä työohje, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa kenttätöissä, perehdytyksissä ja sisäisissä koulutuksissa. Tutkimus tuottaa käytännönläheistä tietoa dronekuvauksen hyödyistä aurinkovoimaloiden kunnossapidossa ja tukee näin energiateollisuuden kehittymistä kohti älykkäämpiä huoltokäytäntöjä.

## 1.1 Kehittämisiongelma ja työn tavoitteet

Enersense International Oyj:n kunnossapitokohteiden määrä on kasvanut merkittävästi viime vuosina, ja aurinkovoimaloiden määrä lisääntyy jatkuvasti. Samaan aikaan asiakkaiden vaatimukset ovat kasvaneet ja alan kilpailu kiristynyt, mikä on lisännyt painetta kehittää kunnossapitomenetelmiä vastaamaan muuttuvia tarpeita ja toimintaympäristön vaatimuksia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ja testata tarkastusmenetelmä, jossa dronea hyödynnetään osana aurinkovoimaloiden kunnossapitotyötä. Työssä pyrittiin tunnistamaan ne työteh-

tävät, joissa drone tuo lisäarvoa, sekä arvioimaan dronen käytön vaikutuksia turvallisuuteen, tehokkuuteen ja havaintojen tarkkuuteen. Tuloksena laadittiin selkeä työohje, joka tukee käytännön työtä ja perehdyttämistä.

## 1.2 Tutkimusmenetelmä ja eettiset periaatteet

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena, jossa yhdistyvät käytännön kehittämistyö ja teoreettinen tarkastelu. Kehittämistutkimus on soveltuva lähestymistapa työn tavoitteiden saavuttamiseen, koska sen avulla voidaan vastata konkreettisiin tarpeisiin ja haasteisiin sekä kehittää uusia toimintamalleja ja menetelmiä. (Kananen 2012.)

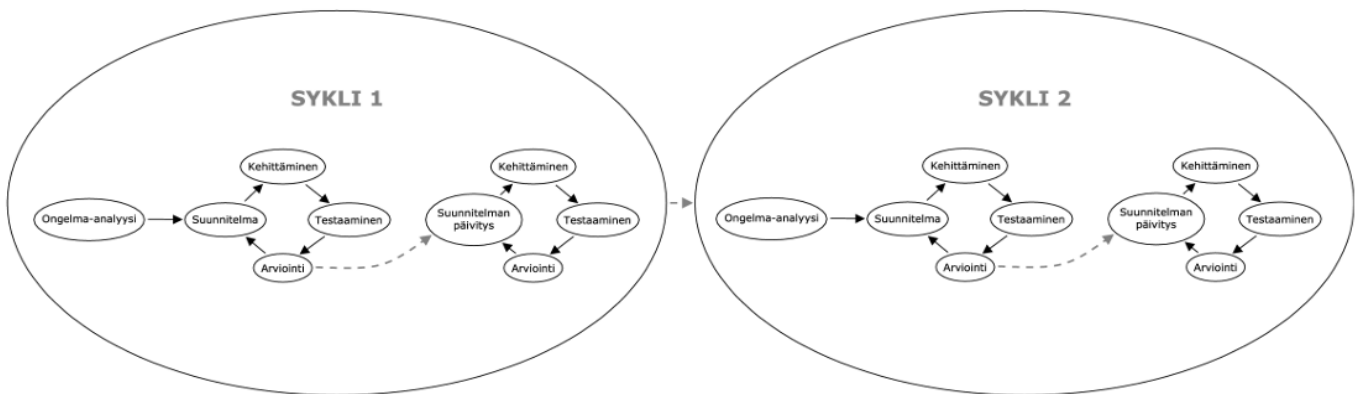
Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

Mitkä kunnossapitotehtävät olisi hyvä suorittaa dronella?

Miten nykyisiä työskentelymenetelmiä voidaan parantaa dronen avulla?

Miten dronen käyttö voidaan toteuttaa turvallisesti?

Kehittämistutkimus käynnistyy ongelma-analyysillä, jossa tunnistetaan kehittämistarpeet ja määritellään tutkimuskysymykset. Tämän jälkeen kehitetään ja testataan käytännön ratkaisuja, arvioidaan niiden toimivuutta ja tehdään tarvittavat parannukset. Tämä sykli toistuu, kunnes kehitetty ratkaisu täyttää asetetut tavoitteet. (Pernaa 2013, 7.) Kehittämistutkimuksen etenemistä kuvataan tarkemmin kuviossa 1.



Kuvio 1 Kehittämistutkimuksen eteneminen. (Pernaa 2013, 8.)

Opinnäytetyössä noudatetaan hyvää tieteellistä käytäntöä ja tutkimuseettisiä periaatteita, joiden tavoitteena on varmistaa työn luotettavuus, objektiivisuus ja läpinäkyvyys. Koska kyseessä on kehittämistutkimus, jossa tarkastellaan dronejen käyttöä kunnossapitotyössä, eettiset näkökohdat liittyvät erityisesti tietosuojaan, turvallisuuteen ja tutkimuksen rehellisyyteen.

Tutkimuksessa varmistetaan, että kaikki käytetty aineisto on luotettavaa ja perustuu joko aiempaan tutkimustietoon tai käytännön havaintoihin. Tulosten raportoinnissa pyritään objektiivisyyteen, eikä havaintoja tai johtopäätöksiä vääristellä ennakkokäsitysten perusteella. Mikäli tutkimuksessa hyödynnetään haastatteluja, kyselyitä tai muuta aineistoa, jossa käsitellään henkilö- tai organisaatitietoja, varmistetaan anonymiteetti ja tietosuoja. Kaikki osallistujat ovat tietoisia tietojensa käytöstä, ja mahdolliset luvanvaraiset tiedot hankitaan eettisesti kestäväällä tavalla.

Koska työssä kehitetään menetelmiä dronejen käyttöön, turvallisuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. Kaikki kehitysehdotukset pohjautuvat voimassa oleviin turvallisuusmääräyksiin ja alan parhaisiin käytäntöihin, jotta työskentely dronella on vastuullista ja riskit minimoidaan. Lisäksi työssä noudatetaan miehittämättömien ilma-alusten käyttöä koskevaa lainsäädäntöä, erityisesti Euroopan unionin droneasetusta (EU 2019/947) sekä Suomen kansallisia ilmailumääräyksiä.

Avoimuus ja rehellisyys ovat keskeisiä periaatteita työn toteutuksessa. Kaikki tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja tulokset esitetään läpinäkyvästi, jotta työn luotettavuutta voidaan arvioida. Näiden periaatteiden mukaisesti varmistetaan, että tutkimus täyttää sekä tieteelliset että käytännön vaatimukset ja tuottaa hyödyllistä tietoa dronejen käytöstä työympäristöissä.

### 1.3 Tiedonhankinta

Tiedonhankinnassa hyödynnettiin monipuolisesti erilaisia lähteitä, kuten verkkolähteitä, alan kirjallisuutta, standardeja ja ST-kortteja. Lisäksi työn tueksi haastateltiin yrityksen työntekijöitä, mikä toi tutkimukseen käytännön näkökulmaa ja mahdollisti tiedon soveltamisen suoraan yrityksen tarpeisiin. Monipuolinen tiedonkeruu auttoi varmistamaan, että työ perustuu luotettavaan ja ajantasaiseen tietoon sekä sisältää eri näkökulmia aiheeseen.

Standardit ja ST-kortit toimivat tärkeinä lähteinä, sillä ne tarjoavat luotettavaa ja asiantuntevaa tietoa alan suosituksista ja vaatimuksista. Haastatteluiden avulla saatiin arvokasta käytännön tietoa, jota ei välttämättä löydy kirjallisista lähteistä. Tämä yhdistelmä tieteellistä tietoa ja käytännön kokemusta mahdollisti kattavan ja sovellettavan lopputuloksen.

Opinnäytetyössä käytetty tutkimusaineisto koostui lämpökamerakuvauksista, jotka tehtiin kahdessa kattoasenteisessa aurinkovoimalassa sekä kahdessa maa-asenteisessa aurinkosähköpuistossa. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin aurinkovoimaloista ja -puistoista saatavilla olevia jännite- ja virtatietoja. Näitä tietoja käytettiin lämpökuvauksen tulosten tukemiseen ja järjestelmien suorituskyvyn arviointiin. Tämä aineisto mahdollisti analyysin, jossa tarkasteltiin aurinkosähköjärjestelmien toimintaa ja mahdollisia kehityskohteita.

Tiedon ja lähteiden luotettavuutta arvioitiin koko tutkimuksen ajan, ja tiedonkeruussa pyrittiin varmistamaan, että käytetyt materiaalit ovat ajantasaisia, relevantteja ja sovellettavissa tutkimuksen aihepiiriin. Tämä lähestymistapa tukee tutkimuksen luotettavuutta ja varmistaa, että sen tulokset ovat hyödyllisiä sekä yritykselle että laajemmin alan kehittämiseksi.

### 1.4 Toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Enersense International Oyj, suomalainen pörssilistattu yhtiö, joka tarjoaa vihreän siirtymän palveluita teollisuuden ja energiamarkkinoiden tarpeisiin. Enersense toteuttaa päästöttömiä energiaratkaisuja ja toimii aktiivisesti ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tarjoamalla asiakkailleen kestäviä, älykkäitä ja digitaalisia palveluita. (Enersense Oyj 2025a.)

Enersensen liiketoiminta-alueet kattavat kolme osa-aluetta. Connectivity-liiketoiminta keskittyy tietoliikenneverkkoratkaisuihin. Power-liiketoiminta palvelee energiarakentamisen ja kunnossapidon tarpeita, sisältäen esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoimaloiden palvelut. Industry-liiketoiminta tarjoaa teollisuuden kunnossapito- ja projektipalveluita. (Enersense Oyj 2025a.)

Yritys palvelee sekä Suomessa että kansainvälisesti suuria energia- ja teollisuusalan asiakkaita. Enersensen palveluihin kuuluvat esimerkiksi uusiutuvan energian hankkeet, sähköverkkojen rakentaminen ja ylläpito, tehdas- ja teollisuusympäristöjen kunnossapito sekä ICT-verkkoratkaisut. (Enersense Oyj 2025a.)

Enersense työllistää yli 2000 asiantuntijaa ja työntekijää, ja sillä on useita toimipisteitä Suomessa ja muissa Euroopan maissa. Yhtiön tavoitteena on kasvaa kestäväen kehityksen mukaisissa projekteissa ja olla avainkumppani vihreän siirtymän edistämiseksi. Enersensen strategiana on tukea asiakkaita energiamurroksessa tarjoamalla kokonaisvaltaisia ratkaisuja, joissa yhdistyvät tehokkuus, vastuullisuus ja innovatiivisuus. (Enersense Oyj 2025b.)

## **2 Drone**

Drone on yleisnimitys miehittämättömälle ilma-alukselle tai ilma-alusjärjestelmälle. Ne voivat toimia itsenäisesti ennalta ohjelmoidun lennon mukaisesti, käyttää automaattisia ohjausjärjestelmiä tai olla kauko-ohjaajan hallinnassa. Dronejen koko ja paino vaihtelevat muutamista grammoista useisiin tuhansiin kilogrammoihin. Droneteknologiaa hyödynnetään laajasti eri aloilla, kuten yksityiskäytössä, kaupallisissa sovelluksissa sekä viranomaistehtävissä, joissa niitä käytetään esimerkiksi valvontaan, tiedusteluun, kartoitukseen ja logistiikkaan. (Traficom 2025.)

### **2.1 Dronen rakenne ja toiminta**

Dronen toiminta perustuu useiden eri komponenttien saumattomaan yhteistyöhön, mikä mahdollistaa laitteen vakaan lennon, tarkan ohjattavuuden ja monipuolisen käyttökelpoisuuden. Chanin (2025) mukaan dronen runko muodostaa ensisijaisen tukirakenteen, joka yhdistää kaikki osat toisiinsa. Dronen runko valmistetaan yleensä kevyistä ja kestävästä materiaaleista, kuten alumiini-seoksista tai hiilikuidusta, mikä mahdollistaa hyvän tasapainon keveyden ja kestävyuden välillä.

Moottorit ovat olennainen osa dronea, sillä ne muuttavat sähköenergian mekaaniseksi työntövoimaksi, joka välittyy potkureille. Harjattomien tasavirtamoottoreiden ansiosta drone saavuttaa korkean tehokkuuden ja pitkäikäisyyden. Potkurit, jotka valmistetaan usein muovista tai hiilikuidusta, muuttavat moottorin pyörimisliikkeen nostovoimaksi, mikä on ratkaisevaa laitteen lennon kannalta. (Chan 2025.)

Elektroniset nopeudensäätimet (ESC) säätelevät moottorien kierrosnopeuksia lennonohjaimen käskyjen mukaisesti, mahdollistaen tasaisen lennon ja nopean reagoinnin ohjausliikkeisiin. Dronen sydämenä toimii lennonohjain, joka käsittelee antureiden tuottamaa tietoa ja säättää moottorien toimintaa siten, että laite pysyy vakaana ja ohjattavana. Useimmiten käytettyjä antureita ovat GPS, gyroskooppi, kiihtyvyydsmittari, magnetometri ja barometri, jotka yhdessä mahdollistavat tarkan paikannuksen, suunnistuksen ja korkeuden hallinnan. (Chan 2025.)

Virtalähteenä droneissa käytetään yleensä litiumpolymeeriakkuja (LiPo), jotka tarjoavat suuren energiatason suhteessa laitteen painoon. Langattoman yhteyden mahdollistavat lähetin ja vastaanotin, jotka välittävät reaaliaikaisesti pilotin komentoja lennonohjaimelle, mikä on olennaista laitteen etäohjauksessa. Lisäksi droneihin voidaan integroida erilaisia hyötykuormia ja lämpökameroita, riippuen laitteen käyttötarkoituksesta. Laskutelineet puolestaan suojaavat laitetta laskeutumisen aikana vaimentaen iskuja ja parantaen käyttöturvallisuutta. Näiden komponenttien yhteistoiminta muodostaa perustan dronen toiminnalle, mahdollistaen tehokkaan, vakaan ja monipuolisen käytön eri sovellusalueilla. (Chan 2025.)

## **2.2 Dronetyypit ja käyttökohteet**

Dronet eli miehittämättömät ilma-alukset voidaan luokitella rakenteensa ja käyttötarkoitustensa perusteella pääasiassa kahteen tyyppiin: moniroottoriin droneihin ja kiinteäsiipisiin droneihin. Näiden lisäksi on olemassa hybridimalleja, jotka yhdistävät molempien tyyppien ominaisuuksia. (Traficom 2025.)

Moniroottoriset dronet ovat yleisimpiä harrastajien ja ammattilaisten keskuudessa. Ne käyttävät useita vaakasuoria roottoreita nostovoiman ja ohjauksen tuottamiseen. Yleisimpiä malleja ovat

neliroottoriset (quadkopterit), mutta myös kuusi- (heksakopterit) ja kahdeksanroottorisia (oktokopterit) malleja on saatavilla. Moniroottoridronet ovat helppokäyttöisiä ja vakaita, mikä tekee niistä suosittuja ilmakehu- ja videotuotannossa. (Traficom 2025.)

Kiinteäsiipiset dronet muistuttavat perinteisiä lentokoneita, joissa on kiinteät siivet. Ne liitävät ilmassa moottorin tuottaman eteenpäin suuntautuvan voiman avulla. Kiinteäsiipiset dronet soveltuvat pitkän matkan lentoihin ja voivat pysyä ilmassa pidempää aikojä kuin moniroottoridronet. Ne ovat yleisiä esimerkiksi kartoitus- ja valvontatehtävissä, joissa tarvitaan laajojen alueiden kattavuutta ja tehokkuutta. Kiinteäsiipisten dronejen etuna on niiden energiatehokkuus ja suurempi kantama, mutta ne vaativat enemmän tilaa nousuun ja laskuun sekä jatkuvan liikkeen pysyäkseen ilmassa. (Traficom 2025.)

Hybrididronet yhdistävät moniroottoristen ja kiinteäsiipisten dronejen ominaisuuksia. Ne nousevat ja laskeutuvat pystysuoraan kuten moniroottoridronet, mutta pystyvät siirtymään vaakalento kiinteiden siipien avulla. Tämä yhdistelmä mahdollistaa sekä tarkan paikallaan leijumisen että pitkän matkan lennot, mikä tekee hybrididroneista monipuolisia työkaluja erilaisiin tehtäviin, kuten ympäristön monitorointiin ja toimituspalveluihin. (Traficom 2025.)

Dronetyypin valinta riippuu pitkälti käyttötarkoituksesta ja operatiivisista vaatimuksista. Moniroottoridronet ovat ihanteellisia tarkkuutta vaativiin tehtäviin ja rajoitettuihin tiloihin, kun taas kiinteäsiipiset dronet sopivat paremmin laajojen alueiden kattamiseen ja pidempiin lentoihin. Hybrididronet tarjoavat molempien maailmojen parhaat puolet, mutta niiden rakenne on usein monimutkaisempi ja kustannukset korkeammat. (Traficom 2025.)

Droneteknologian kehittyessä uusia tyyppjä ja sovelluksia syntyy jatkuvasti, mikä laajentaa niiden käyttömahdollisuuksia entisestään. On tärkeää valita oikea dronetyyppi kunkin tehtävän vaatimusten mukaan optimaalisen suorituskyvyn ja tehokkuuden saavuttamiseksi. (Traficom 2025.)

## **2.3 Lainsäädäntö ja turvallisuus**

Dronetoimintaa säädellään sekä kansallisella että EU:n tasolla, ja säädösten tavoitteena on varmistaa turvallinen ja vastuullinen lennättäminen. Euroopan unionin drone-lainsäädäntö tuli voimaan 31.12.2020, ja sen mukaisesti kaikkien yli 250 grammaa painavien tai kameralla varustettujen

dronejen käyttäjien on perehdyttävä lennättämistä koskeviin sääntöihin, rekisteröidyttävä drone-operaattoriksi ja pääsääntöisesti suoritettava verkkoteoriakoe. (Traficom n.d.)

Vuoden 2024 alusta lähtien uusien, markkinoille tuotavien dronejen on täytettävä C-luokituksen vaatimukset, jotta niitä voidaan käyttää avoimessa kategoriassa. Tämä tarkoittaa, että drone on varustettava tietyillä turvallisuusominaisuuksilla ja valmistajan on saatava sille virallinen hyväksyntä. Jo käytössä olevia tai ennen säädöksen voimaantuloa myytyjä droneja voi käyttää edelleen, mutta niiden käyttömahdollisuudet ovat rajoitetumpia. Esimerkiksi ilman C-merkintää olevan, yli 250 grammaa painavan dronen lennättäminen on sallittua vain A3-alakategoriassa, mikä edellyttää vähintään 150 metrin etäisyyttä asuin-, liike-, teollisuus- ja virkistysalueista sekä verkkoteoriakokeen suorittamista. (Traficom 2023.)

Suomessa dronejen lennättämiseen vaikuttavat myös alueelliset rajoitukset, erityisesti lentoasemien läheisyydessä. Lennättäminen lentoaseman lähialueella (CTR) tai lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä (FIZ) edellyttää erillistä lupaa, jos lennätys tapahtuu kyseisellä lentoaseman rajoittavalla UAS-vyöhykkeellä. Nämä alueet on määritelty tarkasti, ja niihin liittyvät säännöt on julkaistu Traficomien droneinfo-palvelussa. (Fintraffic 2023.)

Turvallisuus on keskeinen osa dronetoimintaa, ja siihen liittyvät säännöt on laadittu minimoimaan riskit sekä lennättäjälle että muille ihmisille. Turvallisen lennättämisen peruseriaatteisiin kuuluu muun muassa dronen pitäminen jatkuvasti näköyhteydessä, lennättäminen enintään 120 metrin korkeudessa maan tai veden pinnasta sekä ihmisten yläpuolella lentämisen välttäminen. (Fintraffic 2023.)

Dronetoiminnan lainsäädännön ja turvallisuusvaatimusten tavoitteena on varmistaa, että sekä harrastajat että ammattikäyttäjät voivat operoida droneja vastuullisesti ja riskit minimoiden. Lainsäädäntö kehittyy jatkuvasti vastaamaan alan teknologista kehitystä, ja siksi dronelennättäjien on tärkeää pysyä ajan tasalla voimassa olevista säännöksistä.

## 2.4 DJI Mavic 3 Thermal

Kehitystyössä käytössä ollut DJI Mavic 3 Thermal -sarjan drone soveltuu ammatillisiin tarkastus- ja kartoitustehtäviin. Sen rakenne on kokoontaitettava ja kompakti, mikä helpottaa laitteen kuljettamista ja käyttöönottoa vaihtelevissa työympäristöissä. Tämän kaltaiset ominaisuudet tukevat erityisesti aurinkovoimaloiden huolto- ja tarkastustoimintaa.

Laitteessa on kolme kameraa: pääkamera, zoom-kamera ja lämpökamera. Pääkamera sisältää 48 megapikselin 4/3 tuuman CMOS-kennon, joka mahdollistaa tarkkojen kuvien ottamisen myös heikossa valaistuksessa. Zoom-kamerassa on jopa 56-kertainen hybridi zoomi, jonka avulla voidaan tarkastella yksityiskohtia etäältä ilman tarvetta lähestyä kohdetta fyysisesti. Lämpökameran resoluutio on 640 × 512 pikseliä, mikä riittää lämpöpoikkeamien havaitsemiseen esimerkiksi aurinkopaneeleissa. (DJI n.d.)

Drone kykenee noin 45 minuutin lentoaikaan yhdellä akulla, mikä mahdollistaa laajojen alueiden tarkastamisen yhdellä lennolla. Laitteessa on tuki RTK-tekniikalle (Real-Time Kinematic), jonka avulla voidaan saavuttaa senttimetriluokan sijaintitarkkuus. Lisäksi laitteessa on monisuuntainen esteentunnistusjärjestelmä, joka lisää turvallisuutta lennon aikana. (DJI n.d.)

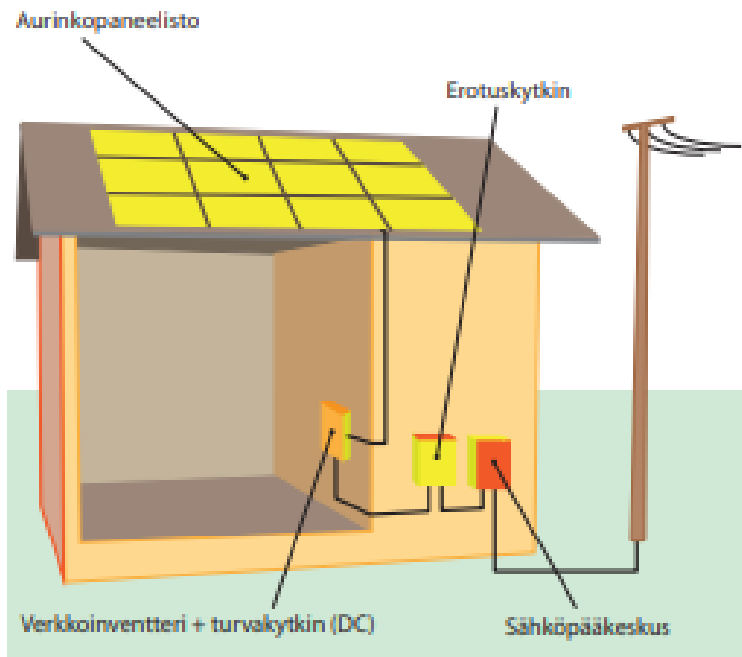
Ohjaus tapahtuu erillisellä ohjaimella, jossa on sisäänrakennettu näyttö ja tuki lentotehtävien suunnittelulle. Laitteessa voidaan käyttää useita ohjelmistoja, kuten DJI Pilot 2 ja FlightHub 2, joiden avulla lennot voidaan suunnitella ja kerättyä aineistoa hallinnoida. Lisäksi drone on yhteensopiva kolmannen osapuolen ohjelmistojen, kuten Pix4D:n kanssa, mikä mahdollistaa esimerkiksi lämpökuvien tarkemman analyysin. (DJI n.d.)



Kuvio 2 DJI Mavic 3 Thermal drone, ohjain, akut ja latuastelakka. (Teemu Sirniö 2025.)

### 3 Aurinkosähköjärjestelmän

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, verkkoinvertteri, kaapelointi, erotuskytkin ja kiinnitysjärjestelmä, joka varmistaa paneelien turvallisen asennuksen. Aurinkopaneelit muuntavat auringon säteilyenergian tasasähköksi, joka muunnetaan verkkoinvertterin avulla vaihtosähköksi ja voidaan hyödyntää kiinteistöjen sähkölaitteissa tai siirtää sähköverkkoon. (ST 55.32 2019, 4.) Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmän rakenne kuviossa 3.



Kuvio 3 Verkkoon kytketyn aurinkosähkijärjestelmän rakenne. (ST 55.32 2019, 4.)

### 3.1 Aurinkopaneeli

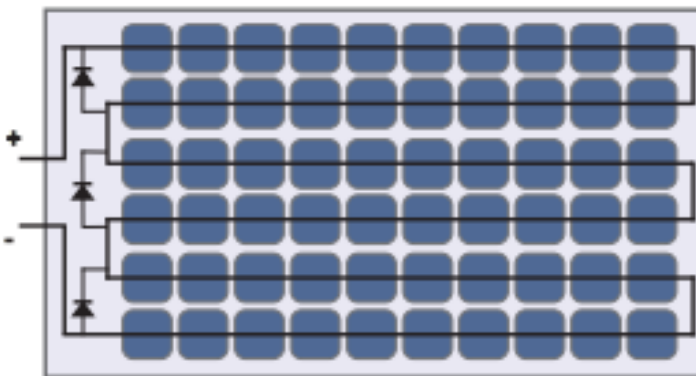
Aurinkopaneelit ovat keskeinen osa aurinkosähkijärjestelmää, ja niiden pääasiallisena tehtävänä on muuntaa auringon säteilyenergia sähköenergiaksi. Paneelien toimintaperiaate pohjautuu valosähköiseen ilmiöön, jossa puolijohdemateriaalin avulla syntyy sähkövirta auringon fotonien vaikutuksesta. Paneelit koostuvat useista aurinkokennoista, jotka yhdistetään sarjaan ja ryhmiksi halutun tehon ja jännitteen saavuttamiseksi. Paneelien rakenteeseen ja toimintaan liittyy myös muita tärkeitä komponentteja, kuten ohitus- ja estodiodit, joiden avulla järjestelmän tehokkuus ja turvallisuus paranevat. Tässä luvussa tarkastellaan aurinkopaneelien rakennetta, toimintaa ja siihen liittyviä teknisiä ratkaisuja. (ST-käsikirja 40 2023, 38.)

#### 3.1.1 Aurinkopaneelien toiminta

Aurinkopaneelien toiminta perustuu auringon säteilyn hyödyntämiseen ja valosähköiseen ilmiöön, jossa puolijohdeella muutetaan valo sähköenergiaksi. Aurinkopaneelit pystyvät hyödyntämään auringon säteilyn eri aallonpituuksia, erityisesti ultravioletialueen ja lähi-infrapunan välillä. Tämä säteily muuntuu paneeleissa sähköksi, jota voidaan käyttää kodin tai muun kohteen energianlähteenä. (ST-käsikirja 40 2023, 38.)

Valosähköisessä ilmiössä auringon säteilyn tuomat fotonit osuvat aurinkopaneelin materiaaliin, useimmiten piihin (Si). Kun fotoni törmää piihin, se luovuttaa energiansa elektronille, mikä antaa elektronille riittävästi energiaa irtautuakseen piin atomista. Tämä elektronien liike synnyttää sähkövirran, jota aurinkopaneeli hyödyntää sähköä tuottamiseen. (ST-käsikirja 40 2023, 39.)

Aurinkopaneeli muodostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Yhden paneelin tuotto on yleensä muutamia satoja watteja, joten tarvittavan ulostulotehon saavuttamiseksi useita paneeleita kytketään toisiinsa. Varjossa olevat kennot voidaan ohittaa ohitusdiodin avulla, mikä vähentää tehohävikkiä. (ST 55.32 2019, 4.) Kuviossa 4 on Esimerkki aurinkopaneelin sisäisestä rakenteesta.



Kuvio 4 Esimerkki aurinkopaneelin sisäisestä rakenteesta. (ST 55.32 2019, 4.)

Kiinteistöissä käytettävät aurinkopaneelit tuottavat yleensä 30–40 V tasajännitettä. Koska matalaa jännitettä ei ole tehokasta muuttaa 230 V vaihtojännitteeksi, paneelit kytketään sarjaan. Näin paneeliketjun (stringin) jännite nousee tasolle, joka on edullisempi vaihtosuuntauksen kannalta. Yksittäisen ketjun jännite ei saa kuitenkaan ylittää verkkoinvertterin sisääntulon enimmäisjännitettä. (ST 55.32 2019, 4)

### 3.1.2 Aurinkokennot

Aurinkokennojen tehtävänä on muuntaa auringon säteilyenergia sähköenergiaksi puolijohdetekniikan avulla (ST 55.32 2019, 4). Kaupallisissa aurinkopaneeleissa yleisimmin käytetty materiaali on pii (Si), jota on saatavilla sekä yksikiteisenä että monikiteisenä versiona. Lisäksi markkinoilla hyö-

dynnetään ohutkalvotekniikkaa, jossa käytetään amorfista piitä sekä yhdisteitä, kuten CIGS:ää (kupari-indium-gallium-diselenidi) ja CdTe:tä (kadmiumtelluridi). Viime vuosina on lisäksi kehitetty kolmannen sukupolven paneeleita, jotka pohjautuvat uusiin materiaaliratkaisuihin. Eri valmistusmateriaalit tarjoavat erilaisia hyötyjä, kuten parempaa hyötysuhdetta, joustavuutta tai parempaa suorituskykyä varjostetuissa olosuhteissa, mikä mahdollistaa paneelien soveltamisen monenlaisiin käyttökohteisiin ja tarpeisiin. (ST-käsikirja 40 2023, 40.) Kennotyyppien ominaisuudet kuviossa 5.

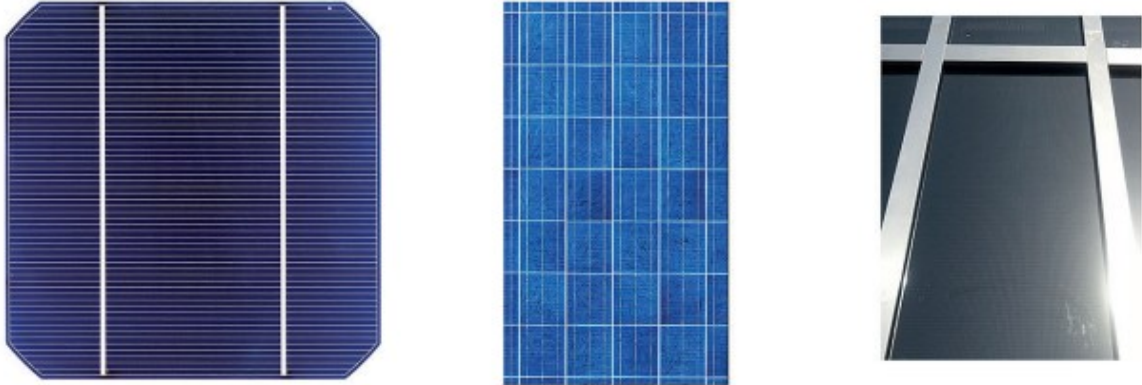
Ominaisuudet	Kiteinen pii			Ohutkalvo		3. sukupolvi
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Kennon hyötysuhde, 2023 (%)	23,3 %	26,8 %	14 %	23,6 %	22,3 %	26 % (Perovskite)
Paneelin hyötysuhde, 2023 (%)	20,4 %	24,7 %	9,8 %	20,3 %	19,5 %	17,9 % (Perovskite)
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (% / +1 °C)	-0,4...-0,5	-0,3...-0,5	-0,1...-0,3	-0,25...-0,35	-0,25...-0,35	...
Mekaaninen rakenne	hauras	hauras	joustava	joustava	joustava	joustava
Varjostus	herkkä	herkkä	sietää	sietää	sietää	sietää
Käyttöikä (vuotta)	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	0,5-3
Hinta	€€	€€€-	€€€	€€€	€€€	€

Kuvio 5 Esitettyjen kennotyyppien ominaisuudet vuonna 2023. (ST-käsikirja 40 2023, 41.)

Piipohjaisessa kennossa käytetään kiteistä piitä. Tämän teknologian alatyyppejä ovat yksikiteinen ja monikiteinen pii. Kiteinen piikenno on 160–240 µm paksu ja hauras, joten se tarvitsee suojarakenteen. Piikennot ja kytkentälangat laminoidaan tyhjiössä lasilevyn ja taustakalvon väliin ja suojataan alumiinikehyksellä. Paneeli voidaan myös valmistaa laminoimalla se kahden lasilevyn väliin ilman reunakehystä. (ST 55.32 2019, 4.)

Ohutkalvotekniikka sisältää monia alatyyppejä, kuten amorfinen pii, CdTe (kadmiumtelluridi) ja CIGS (kupari-indium-gallium-diselenidi). Ohutkalvopaneeleja voidaan valmistaa lasipaneelien lisäksi myös joustavina, jolloin ne eivät ole yhtä herkkiä kuljetus- ja asennusvaurioille kuin kiteisestä

piistä valmistetut paneelit. Lisäksi ohutkalvopaneelit eivät menetä tuottoaan yhtä paljon varjossa kuin piipohjaiset paneelit. (ST 55.32 2019, 4.) Kennotyypit kuviossa 6. Kuvassa vasemmalta oikealle: yksikiteinen-, monikiteinen- ja ohutkalvopaneeli. Paneelit ovat tunnistettavissa ulkonäön perusteella toisistaan helposti.



Kuvio 6 Esimerkki eri kennotyypeistä. (ST-käsikirja 40 2023, 41.)

Kolmannen sukupolven aurinkokennomateriaaleihin kuuluvat perovskiitti-kennot, väriaineherkistetyt kennot, orgaaniset kennot (OPV), kuparisinkkitinasulfidi-kennot (CZTS) ja kvanttipisteaurinkokennot (QDSC). Näillä kaikilla on erityispiirteitä, jotka tekevät niistä potentiaalisia vaihtoehtoja tulevaisuuden aurinkoenergiateknologioille. Kennojen tutkimus keskittyy erityisesti tehokkuuden parantamiseen ja tuotantokustannusten laskemiseen. (ST-käsikirja 40 2023, 44.)

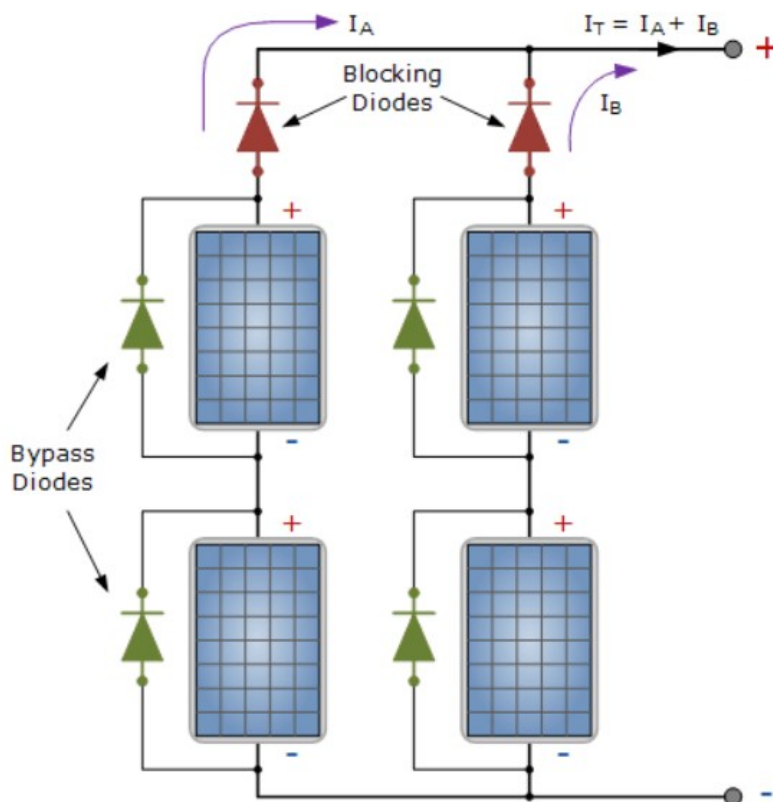
### 3.1.3 Ohitusdiodit ja estodiodit

Aurinkopaneeleissa käytetään ohitus- ja estodiodia parantamaan järjestelmän toimintavarmuutta ja suojaamaan yksittäisiä kennoja vaurioilta. Ohitusdiodit (bypass diodes) asennetaan rinnakkain aurinkokennojen tai -paneelien kanssa. Niiden tehtävänä on tarjota vaihtoehtoinen reitti sähkövirralle, jos jokin kenno tai paneeli varjostuu, vioittuu tai muuten lakkaa tuottamasta sähköä normaalisti. Tämä mahdollistaa sarjaan kytketyn kennoryhmän tai paneeliketjun jatkavan sähkönsyöttöä, vaikkakin alentuneella jännitteellä, sen sijaan että tuotanto katkeaisi kokonaan. (Electronics Tutorials n.d.)

Ohitusdiodit estävät virran kohdistumisen vaurioituneeseen kennoon, mikä voi muutoin johtaa kennojen ylikuumenemiseen ja vaurioitumiseen. Ne kytketään käänteiseen suuntaan aurinkoken-

nojen positiivisen ja negatiivisen napojen väliin, eikä niillä normaalisti ole vaikutusta paneelin tuottamaan virtaan. Ihanteellisessa tapauksessa jokaisella kennolla olisi oma ohitusdiodi, mutta kustannussyistä niitä asennetaan usein usean sarjaan kytketyn kennon yhteyteen. (Electronics Tutorials n.d.)

Estodiodit (blocking diodes) puolestaan kytketään sarjaan paneelien tai paneeliryhmien kanssa. Niiden pääasiallinen tehtävä on estää sähkövirran palaaminen takaisin aurinkopaneeleihin erityisesti tilanteissa, joissa osa paneeleista on varjossa tai kun akustot ovat täyteen ladattuja. Estodiodit estävät myös akuston purkautumisen takaisin paneelijärjestelmään yöaikaan ja parantavat järjestelmän hyötysuhdetta estämällä energiavuodot. (Electronics Tutorials n.d.) Ohitus- ja estodiodin käyttö havainnollistettu kuviossa 7.



Kuvio 7 Ohitus- ja estodiodit aurinkosähköjärjestelmissä. (Electronics Tutorials n.d.)

### 3.2 Verkkoinvertteri

Aurinkosähköjärjestelmässä aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, joka täytyy muuntaa kiinteistön ja sähköverkon käyttöön soveltuvaksi vaihtosähköksi. Tämän muunnoksen tehtävä kuuluu verkkoinvertterille, jota kutsutaan myös vaihtosuuntaajaksi. Verkkoinvertteri liittyy aurinkosähköjärjestelmän rakennuksen sähköjärjestelmään ja sähköverkkoon siten, että syötettävä sähkö täyttää sähköverkon taajuus- ja jännitevaatimukset. (ST-käsikirja 40 2023, 57–58.)

Invertteri hallitsee tasasähkön ja vaihtosähkön välistä siirtymää sekä synkronoi tuotetun sähkön olemassa olevan verkon kanssa. Lisäksi invertterillä on tärkeä rooli järjestelmän suojaustoiminoissa, kuten ylivirta- ja ylijännitesuojien hallinnassa. Verkkoinvertteri optimoi myös tehontuottoa ja mahdollistaa järjestelmän seurannan, mikä tukee aurinkosähköjärjestelmän tehokasta ja turvallista toimintaa. (ST-käsikirja 40 2023, 70–71)

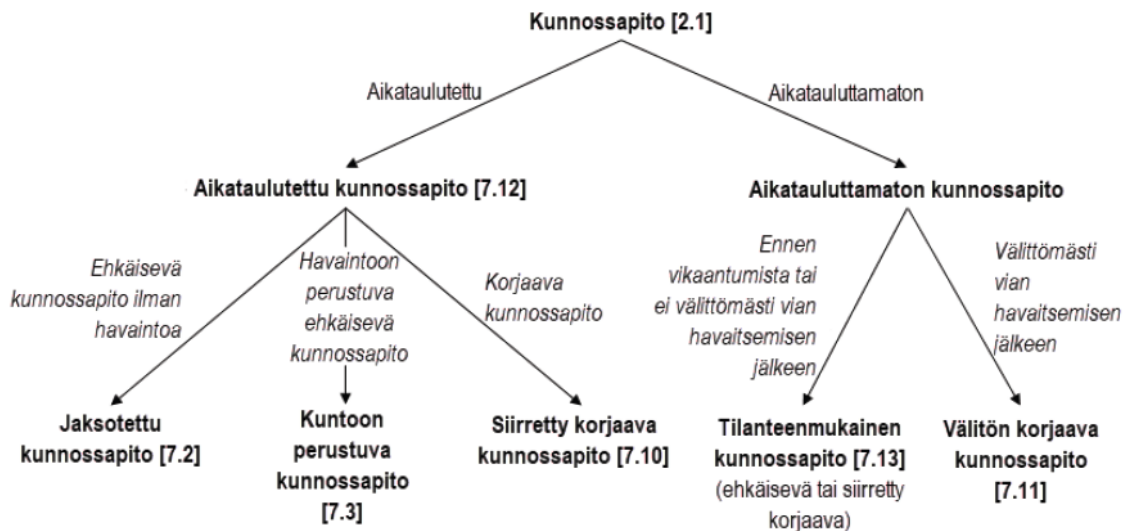
Monet invertterit tarjoavat lisäominaisuuksia, kuten mahdollisuuden kerätä ja analysoida tietoa järjestelmän energiantuotannosta. Jotkin mallit mahdollistavat myös etävalvonnan ja -hallinnan älypuhelinsovelluksella, mikä helpottaa käyttäjää seuraamaan järjestelmän toimintaa reaaliajassa ja tekemään tarvittaessa säätöjä. Näin ollen invertteri ei ole vain muunnoslaite, vaan myös järjestelmän hallinnan ja optimoinnin keskus. (EnergiaEki n.d.)

## 4 Aurinkovoimaloiden kunnossapito

Aurinkovoimaloiden kunnossapito on keskeinen osa järjestelmän pitkäikäisyyttä, tuottavuutta ja turvallista toimintaa. Sen avulla voidaan minimoida tuotannon katkoksia, pienentää elinkaarikustannuksia ja varmistaa sähköntuotannon luotettavuus. Kunnossapito kattaa kaikki tekniset, hallinnolliset ja johtamiseen liittyvät toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa aurinkovoimalan laitteet toimintakuntoon niin, että ne pystyvät suorittamaan vaaditut tehtävänsä koko elinkaarensa ajan. Kunnossapidon tavoitteina voidaan pitää esimerkiksi käyttövarmuuden säilyttämistä, tuotantotehokkuutta, turvallisuutta ja tuotanto-omaisuuden arvon säilyttämistä. (SFS-EN 13306:2017, 5; PSK 6201 2004, 3.)

Aurinkovoimaloiden kunnossapito voidaan jaotella eri tyyppeihin sen perusteella, milloin ja millä tavoin toimenpiteet suoritetaan. Nämä kunnossapitotavat täydentävät toisiaan ja muodostavat

yhdessä kattavan strategian järjestelmän käytettävyyden ja toimintavarmuuden varmistamiseksi. Yhdessä nämä kunnossapidon muodot muodostavat kokonaisuuden, jonka avulla aurinkovoimalan toimintavarmuus voidaan turvata koko sen elinkaaren ajan. Kunnossapidon eri muodot on esitetty kuvassa 10, joka pohjautuu standardin SFS-EN 13306 mukaiseen jaotteluun.



Kuvio 8 Kunnossapidon jaottelu. (SFS-EN 13306:2017, 23.)

#### 4.1 Ehkäisevä

Ehkäisevällä kunnossapidolla pyritään estämään vikaantumista ja hidastamaan laitteiden toiminnallista heikkenemistä. Tämä voi tapahtua esimerkiksi kalenteriin perustuvana jaksotettuna huoltona tai käyttömäärään perustuen. Aurinkovoimaloissa ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu esimerkiksi paneelien puhdistus, rakenteellisten kiinnitysten tarkastus, liitäntöjen kiristys ja invertterien jäähdytysjärjestelmien huolto. (PSK 6201 2004, 10.)

#### 4.2 Havaintoon perustuva

Havaintoon perustuva kunnossapito nojaa järjestelmän tilan mittaamiseen, havainnointiin ja analysointiin. Aurinkovoimaloissa tämä voi tarkoittaa esimerkiksi lämpökuvausta, sähköisten suureiden mittaamista tai reaaliaikaista etävalvontaa. Kunnan seurannan avulla voidaan havaita poikkeamia, jotka viittaavat alkavaan vikaantumiseen, ja kohdistaa huoltotoimenpiteet oikea-aikaisesti. Kehittyneissä sovelluksissa havaintoon perustuva kunnossapito voi hyödyntää analytiikkaa, kuten historiallisen mittausdatan tarkastelua, trendien tunnistamista tai koneoppimista, mikä

mahdollistaa entistä tarkemman vikaantumisen ennakoinnin ja huollon optimoinnin. (SFS-EN 13306:2017 2017, 14; PSK 6201 2004, 10.)

### **4.3 Korjaava**

Korjaavaa kunnossapitoa tarvitaan, kun järjestelmässä on jo havaittu vika tai poikkeama, joka estää normaalin toiminnan. Korjaustoimenpiteet voivat olla välittömiä tai siirrettyjä. Aurinkovoimaloissa korjaavaa kunnossapitoa tarvitaan esimerkiksi rikkoutuneiden paneelien, liitántärsioiden tai inverttereiden vikojen yhteydessä. Välittömällä toiminnalla voidaan estää laajempia vaurioita ja tuotantokatkoksia. (SFS-EN 13306:2017 2017, 15.)

### **4.4 Parantava**

Parantava kunnossapito tähtää järjestelmän käytettävyyden, turvallisuuden tai huollettavuuden parantamiseen muuttamatta sen alkuperäistä toimintoa. Esimerkiksi johdotusten lisäsuojaukset, rakenteiden vahvistaminen tai aurinkopaneelien telineiden parannukset voivat kuulua tähän kategoriaan. Tällaiset toimenpiteet voivat pidentää järjestelmän käyttöikää ja vähentää häiriöiden määrää. (PSK 6201 2004, 11.)

### **4.5 Aikatauluttamaton**

Aikatauluttamaton kunnossapito tarkoittaa kunnossapitotoimia, jotka tehdään ilman ennalta määritettyä aikataulua. Se kattaa sekä välittömän että tilanteenmukaisen kunnossapidon. (SFS-EN 13306:2017 2017, 15; PSK 6201 2004, 11.) Nämä toimenpiteet aktivoituvat tarpeen mukaan, usein reaktiona havaittuun vikaan tai muun työn yhteydessä ilmenneeseen puutteeseen.

Välitön korjaava kunnossapito toteutetaan heti, kun vika tai häiriö havaitaan, esimerkiksi akuutin laiteviankorjauksen yhteydessä. (SFS-EN 13306:2017 2017, 15.) Esimerkiksi aurinkovoimalassa invertterin äkillinen vikaantuminen tuotannon aikana voi vaatia välittömän korjauksen järjestelmän käyttövarmuuden palauttamiseksi. Tämä toimintatapa on tyypillinen akuuteissa tilanteissa, joissa vika voi aiheuttaa merkittäviä tuotantotappioita tai turvallisuusriskejä.

Tilanteenmukainen kunnossapito puolestaan tehdään muun työn, tarkastuksen tai muun huoltokäynnin yhteydessä ilman erillistä aikataulua (PSK 6201 2004, 11). Aurinkovoimalassa tämä voi tarkoittaa esimerkiksi tarkastuskierroksella havaittujen löystyneiden kiinnikkeiden tai vaurioituneiden kaapelisuojiin korjaamista samalla käynnillä. Tilanteenmukainen kunnossapito voi olla luonteeltaan sekä ehkäisevää että korjaavaa. Aikatauluttamattoman kunnossapidon etuna on sen joustavuus ja mahdollisuus reagoida nopeasti havaittuihin poikkeamiin, mutta riskinä on, että ilman järjestelmällistä seuranta-aikataulua vikoja ei havaita ajoissa. (SFS-EN 13306:2017 2017, 15; PSK 6201 2004, 11.)

## 5 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on tehokas ja nopea menetelmä aurinkosähköjärjestelmien tarkastuksissa, kunnossapidossa ja vianetsinnässä. Sen avulla voidaan havaita lämpötilaeroja, jotka viittaavat mahdollisiin toimintahäiriöihin tai tehonmenetyksiin. Lämpökuvauksen avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi ylikuumenneita aurinkopaneeleja, viallisia liittimiä tai kaapeleiden heikkoja kohtia. Tämä on erityisen tärkeää aurinkovoimaloiden kunnossapidossa, sillä pienetkin poikkeamat voivat johtaa energian tuotannon heikkenemiseen tai jopa järjestelmän vaurioitumiseen. (Sesko 2022.)

Yksi lämpökuvauksen merkittävimmistä eduista on sen kyky havaita ongelmat nopeasti ja ilman, että järjestelmä täytyy pysäyttää. Tämä tekee lämpökuvauksesta erinomaisen työkalun ennaltaehkäisevässä kunnossapidossa, jossa pyritään tunnistamaan ja estämään vakavammat viat jo ennen kuin ne ehtivät vaikuttaa voimalan tuotantoon. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 12–13.) Lämpökuvaus voi lisäksi auttaa paikallistamaan vikojen sijainnit tarkasti, mikä nopeuttaa korjaustoimia ja vähentää järjestelmän seisokkeja. (Sesko 2022.)

Lämpökuvauksella voidaan myös parantaa järjestelmän kokonaishyötysuhdetta ja toimintavarmuutta. Aurinkopaneelien optimointi, kuten viallisten paneelien korjaaminen tai vaihtaminen, edistää koko järjestelmän suorituskykyä ja voi samalla pidentää sen käyttöikää. Lämpökuvaus mahdollistaa myös sellaisten lämpötilapoikkeamien havaitsemisen, jotka saattavat aiheuttaa pitkäaikaisia vaurioita, mikäli niitä ei korjata ajoissa. (Sesko 2022.)

Lämpökuvauksen merkitystä korostaa sen tarkkaan määritelty standardointi. IEC/TS 62446-3 -standardi määrittelee tarkasti, millaisia mittauslaitteita ja olosuhteita lämpökuvauksessa tulee käyttää,

sekä tarkastus- ja raportointimenettelyt. Standardien noudattaminen takaa, että tarkastukset suoritetaan luotettavasti ja ammattitaitoisesti. Tämä on erityisen tärkeää pitkäaikaisessa ylläpidossa, jossa järjestelmän suorituskyvyn varmistaminen on keskeistä. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017.)

Lämpökuvausta ei käytetä ainoastaan paneelien tarkastukseen, vaan sitä sovelletaan myös muihin järjestelmäkomponentteihin. Näihin kuuluvat muun muassa liittimet, kaapelit, varokkeet, kytkimet ja invertterit – kokonaisuus, jota kutsutaan nimellä BOS-komponentit (Balance of System). Näidenkin osien toiminta on kriittistä aurinkosähköjärjestelmän kokonaisluotettavuuden ja turvallisuuden kannalta. (Sesko 2022.)

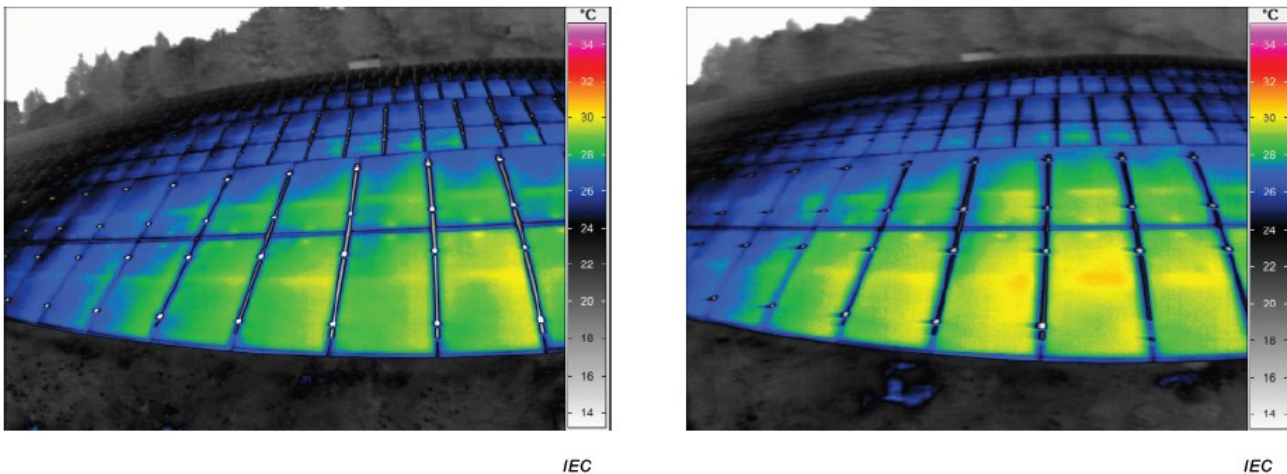
## 5.1 Lämpökuvaus dronella

Droneteknologia on yleistynyt aurinkovoimaloiden kunnossapidossa erityisesti laajojen alueiden lämpökuvaukseen. Dronella suoritettava lämpökuvaus mahdollistaa nopean ja tehokkaan tavan havaita aurinkopaneelijärjestelmissä esiintyviä poikkeavuuksia, kuten ylikuumentuneita kennoja, viallisia liitäntöjä tai epätasaisesti toimivia paneeliosia. Tällainen tarkastusmenetelmä luokitellaan yksinkertaistetuksi lämpökuvaustarkastukseksi, jonka tavoitteena on paikantaa järjestelmän ne osat, joissa esiintyy selkeitä toimintahäiriöitä tai muita lämpötekniisiä ongelmia. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 12–13.)

Dronen avulla toteutettu lämpökuvaus ei kuitenkaan aina kykene havaitsemaan hienovaraisia tai paikallisia komponenttivikoja. Tämä johtuu muun muassa lämpökameran resoluution rajoituksista sekä kameran ja kohteen välisestä etäisyydestä. Mikäli tarkkuusvaatimuksia ei saavuteta, ei tarkastusmenettely vastaa standardissa määriteltyä suoritustasoa. Tästä syystä yksinkertaistettua tarkastusta suositellaan käytettäväksi osana kaksivaiheista tarkastusprosessia, jossa alustavien havaintojen perusteella suoritetaan tarvittaessa yksityiskohtaisempi ja tarkemmin kohdennettu tarkastus. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 12–13.)

Lämpökameran käyttöä dronissa säätelevät myös tekniset vaatimukset liittyen laitteen liikeno-  
peuteen ja kuvantamisen laatuun. Kameran liikkeen tulee olla linjassa infrapunailmaisimen vas-  
teajan kanssa, jotta vältetään sumentumista, joka voi heikentää lämpökuvien luettavuutta ja tark-  
kuutta. Esimerkiksi bolometri-ilmaisimia sisältävissä kameroissa on havaittu merkittävää kuvan

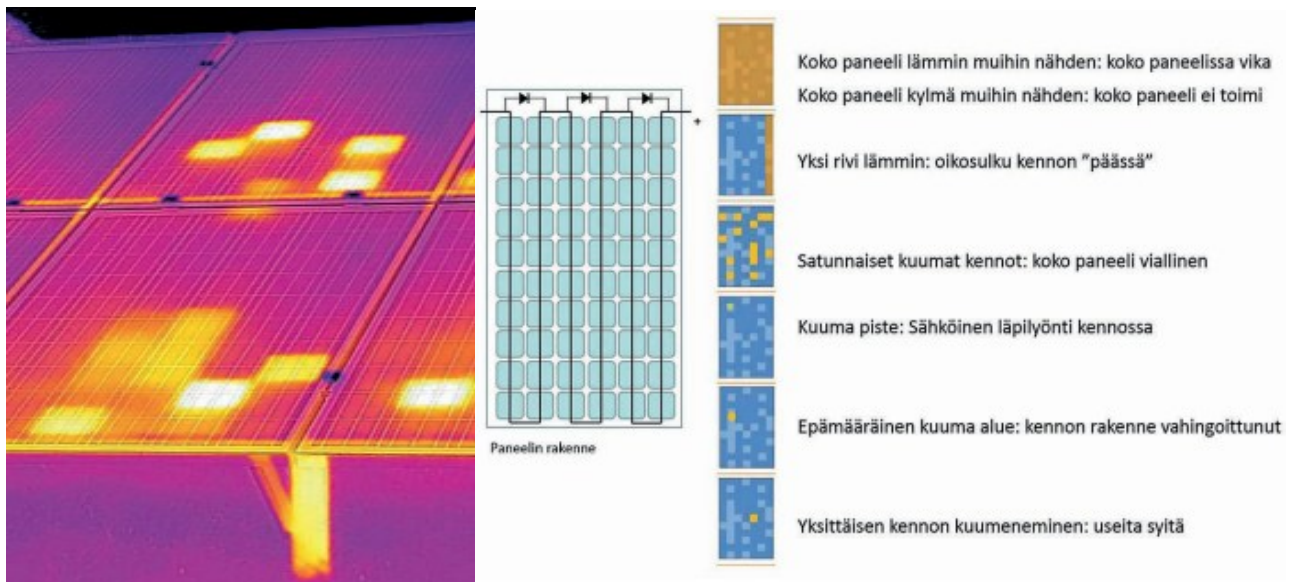
sumentumista, kun kuvausnopeus ylittää 3 m/s. Tällaiset häiriötekijät voivat vaikuttaa sekä visuaaliseen havainnointiin että lämpötilamittausten luotettavuuteen. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 12–13.) Lämpökameran liikenopeuden vaikutus esitetty kuviossa 9. Oikealla olevassa kuvassa sumentumista, joka johtuu kameran liian nopeasta liikkeestä. Vasemmalla otettu kuva hitaalla nopeudella.



Kuvio 9 Lämpökameran liikenopeuden vaikutus. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 13.)

## 5.2 Lämpökamerakuvien tulkinta

Tulosten tulkinta perustuu lämpötilaerojen analysointiin. Esimerkiksi viallinen kenno näkyy usein lämpökuvassa ympäristöään kuumempana, mikä voi viitata sisäisiin vaurioihin, oikosulkuihin tai heikkoihin sähköliitoksiin. Tällaiset poikkeamat voivat näkyä myös visuaalisina muutoksina, kuten värimuutoksina tai pintavaurioina. Lämpökuvien avulla havaittujen poikkeamien perusteella voidaan tarvittaessa suorittaa tarkempia mittauksia, kuten avoimen piirin jännitteen ( $U_{oc}$ ), oikosulkuvirran ( $I_{sc}$ ) tai eristysresistanssin mittauksia. Näin voidaan varmistaa paneelin kunto ja paikantaa vian tarkempi sijainti (ST-käsikirja 2022, s. 167). Kuviossa 10 vasemmalla lämpökamerakuva, jossa näkyy lämpöpoikkeamia aurinkopaneeleissa. Oikealla on esitetty lämpökuvissa näkyvien kuumien pisteiden mahdollisia syitä.



Kuvio 10 Lämpökamerakuva ja kuumien pisteiden mahdollisia syyt. (ST-käsikirja 40 2023, 167.)

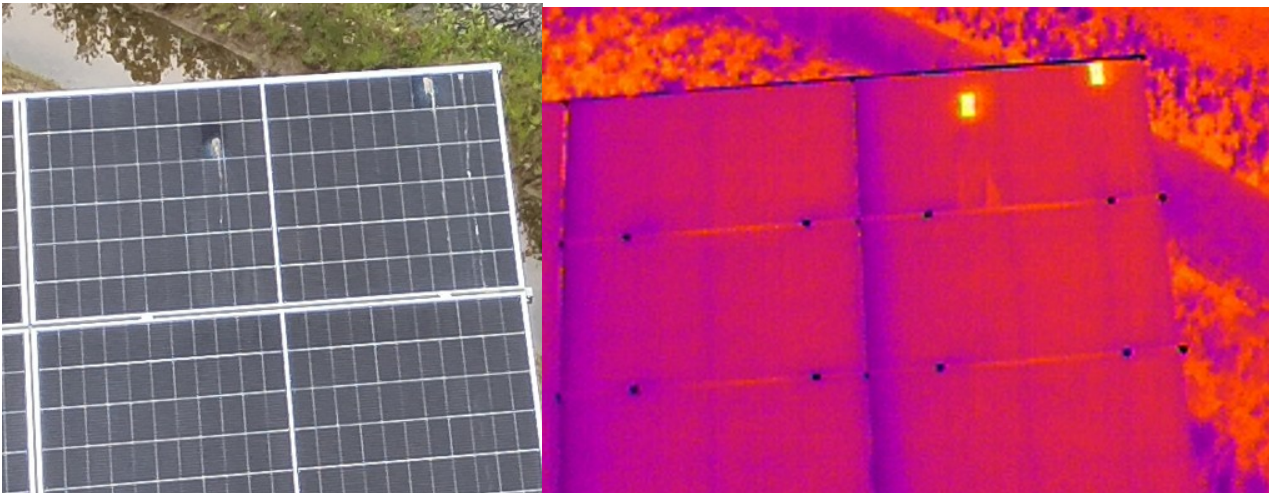
E erityisen tärkeä tulkinnallinen huomio on niin sanottu kuumapistevaikutus (hot spot), jossa yksittäinen kenno tai sen osa kuumenee merkittävästi enemmän kuin muut paneelin osat. Tällaiset kuumapisteteet erottuvat lämpökuvissa selkeinä poikkeamina ja voivat johtua esimerkiksi varjostuksista, likaantumisesta, mekaanisista vaurioista tai valmistusvirheistä. Kuumapisteteet eivät ainoastaan heikennä aurinkopaneelin sähköntuotantoa, vaan voivat ajan myötä aiheuttaa pysyviä vaurioita, kuten kennon ylikuumentumista, lasin halkeamia tai laminaatin delaminoitumista. Tämän vuoksi lämpökuvauksen on tärkeä työkalu paitsi vianetsinnässä myös ennaltaehkäisevässä kunnossapidossa. Sen avulla voidaan tunnistaa kriittiset poikkeamat ajoissa ja toteuttaa toimenpiteet ennen kuin ne johtavat merkittäviin tuotantohäviöihin tai rakenteellisiin ongelmiin. (Maysun Solar 2023.)

### 5.3 Kuvausolosuhteiden vaikutus

Lämpökuvauksen luotettavuus ja tarkkuus riippuvat olennaisesti kuvausolosuhteista, ja siksi tietyt ulkoiset tekijät on huomioitava tarkasti. Yksi keskeisimmistä haasteista liittyy säteilyn tehotiheyteen. Aurinkopaneelin tasopinnalle kohdistuvan säteilytehon tulee olla riittävän korkea, vähintään  $600 \text{ W/m}^2$ , jotta lämpötilaerot paneelissa erottuvat selkeästi. Alhaisempi säteilytaso voi heikentää lämpökontrastia, mikä vaikeuttaa vikojen havaitsemista. Lisäksi tarkastettavan järjestelmän toimintavirran on oltava riittävä, vähintään 30 % mitoitusvirrasta, jotta komponenttien lämpökuvat ovat tulkittavissa luotettavasti. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 11–12.)

Tuuliolosuhteet muodostavat toisen merkittävän rajoitteen. Mikäli tuulen nopeus ylittää noin 28 km/h, se voi jäädyttää paneelien pintaa ja näin tasoittaa lämpötilaeroja, mikä saattaa peittää todellisia vikoja tai aiheuttaa virheellisiä tulkintoja. Myös pilvipeite vaikuttaa merkittävästi kuvaustuloksiin. Tarkastukset tulisi suorittaa, kun taivas on pääosin selkeä, sillä laajempi pilvipeite vähentää auringonsäteilyn määrää ja voi estää riittävän lämpökuvan muodostumisen. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 11–12.)

Likaantuminen on usein aliarvioitu mutta merkittävä ongelma. Esimerkiksi lintujen jätökset tai pöly voivat aiheuttaa paikallisia varjostuksia, jotka johtavat kuumapisteisiin. Nämä voivat joko peittää todellisia vikoja tai antaa virheellisen kuvan paneelin kunnosta. Tämän vuoksi paneelien tulisi olla puhtaita ennen lämpökuvauksen suorittamista, jotta havaittavat poikkeamat todella kuvastavat sähköisiä tai rakenteellisia ongelmia. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 11–12.) Kuviossa 11 havainnollistettu, kuinka likaantuminen näkyy lämpökuvassa ja miten se vastaa todellisuutta visuaalisessa tarkastelussa.



Kuvio 11 Likaantuneen paneelin aiheuttamat lämpöpoikkeamat. (Teemu Sirniö 2024.)

Dronelämpökuvauksen osalta sääolosuhteet asettavat lisäksi omat tekniset ja turvalliset rajoitteensa. Tuulen nopeus vaikuttaa suoraan dronen lentovakauteen sekä lämpökamerakuvan laatuun. Kun tuulen nopeus ylittää noin 15–28 km/h, saattaa droneen kohdistua epävakautta, mikä voi heikentää lämpökuvien terävyyttä ja aiheuttaa virheitä kohteiden lämpötilahavainnoissa. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 12–13; The Drone Life 2024.)

Nopea tai epätasainen liike ilmassa voi johtaa kuvien sumentumiseen, erityisesti lämpökameroissa, joissa käytetään bolometrityyppisiä ilmaisimia. Näillä ilmaisimilla on rajallinen vasteaika, eikä ne kykene tarkkaan mittaukseen, jos kuvausnopeus ylittää noin 3 m/s. (IEC/TS 62446-3:2017:fi 2017, 13.)

## 6 Työn kulku ja lopputulokset

Työssä kehitettiin ja testattiin lämpökameralla varustetun dronekaluston käyttöä aurinkovoimaloiden kunnossapidon tarkastuksissa. Käytännön toteutusvaiheessa suoritettiin dronekuvaukset neljässä eri aurinkovoimalassa, joista kaksi oli maa-asenteisia ja kaksi kattoasenteisia kohteita. Kohteet erosivat toisistaan niin pinta-alan, rakenteen kuin tarkastusolosuhteidenkin osalta.

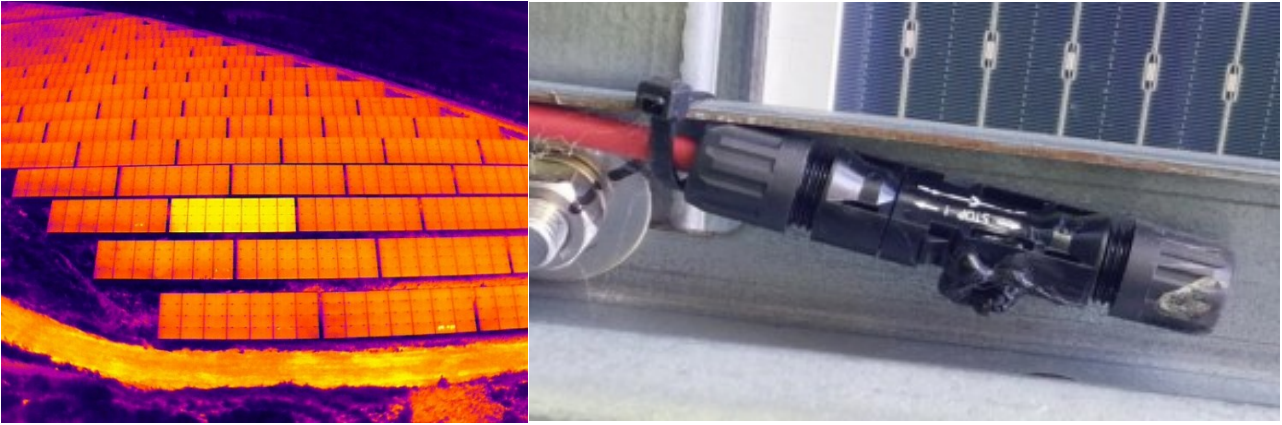
Suuremmat maa-asenteiset kohteet vaativat 2–3 lentoa kattavan tarkastuksen suorittamiseksi, kun taas pienemmät kattokohteet voitiin kuvata yhdellä lennolla. Yhden lennon kesto oli noin 45 minuuttia, joka vastaa akun maksimikestoa.

Dronea käytettiin ensisijaisesti lämpökuvauksiin, joiden avulla pyrittiin havaitsemaan paneelien lämpöpoikkeamia ja mahdollisia sähköisiä vikoja. Lisäksi dronea hyödynnettiin visuaalisiin tarkastuksiin, kuten paneelirivien suoruuden ja kiinnitysten arviointiin sekä kasvillisuuden tai muiden esteiden havainnointiin paneelien ympäristössä. Lennot toteutettiin ohjaimen DJI Pilot 2 -sovelluksen avulla, ja lentokorkeudet valittiin tarkastelun tarkkuuden perusteella. Tarkastukset toteutettiin kahdessa vaiheessa: ensin lämpökuvauksella dronella, jonka jälkeen mahdolliset vikakohtat tarkastettiin fyysisesti lähietäisyydeltä.

Yhdessä maa-asenteisessa kohteessa havaittiin kaksi samantyyppistä liitinvikaa, jotka pystyttiin paikallistamaan lämpökameran avulla. Molemmissa tapauksissa johdin oli irronnut liittimestä mikä aiheutti paneelien lämpenemisen. Nämä viat todennettiin kaksivaiheisella tarkastuksella. Havainnot vahvistivat lämpökuvauksen käytännön hyödyn tarkastustoiminnassa.

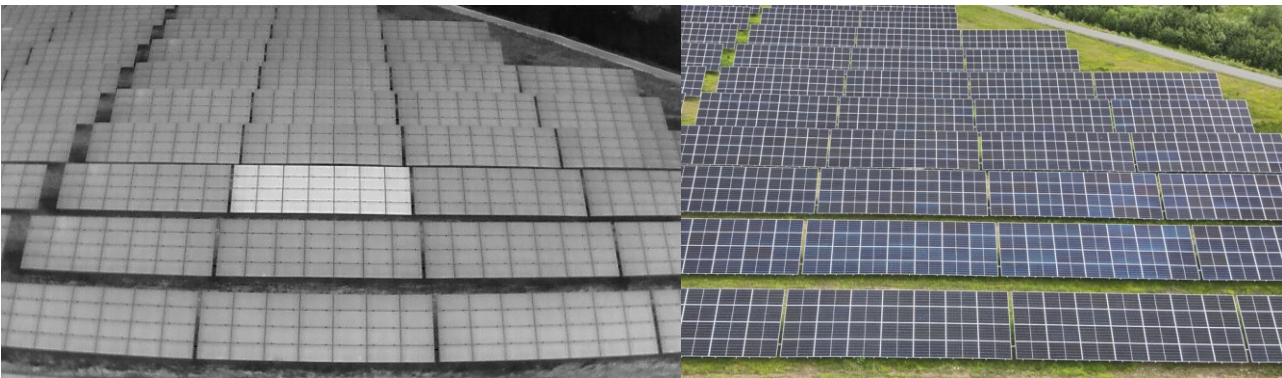
Alla olevassa kuvassa vasemmalla näkyy ylikuumentunut paneeli ja oikealla liitos, josta johdin on irronnut. Liittimessä on tapahtunut todennäköisesti läpilyönti, jonka seurauksena irtoaminen on

tapahtunut. Kuvauksessa on käytetty monisävyistä väripalettia lämpötilaerojen havainnollistamiseksi.



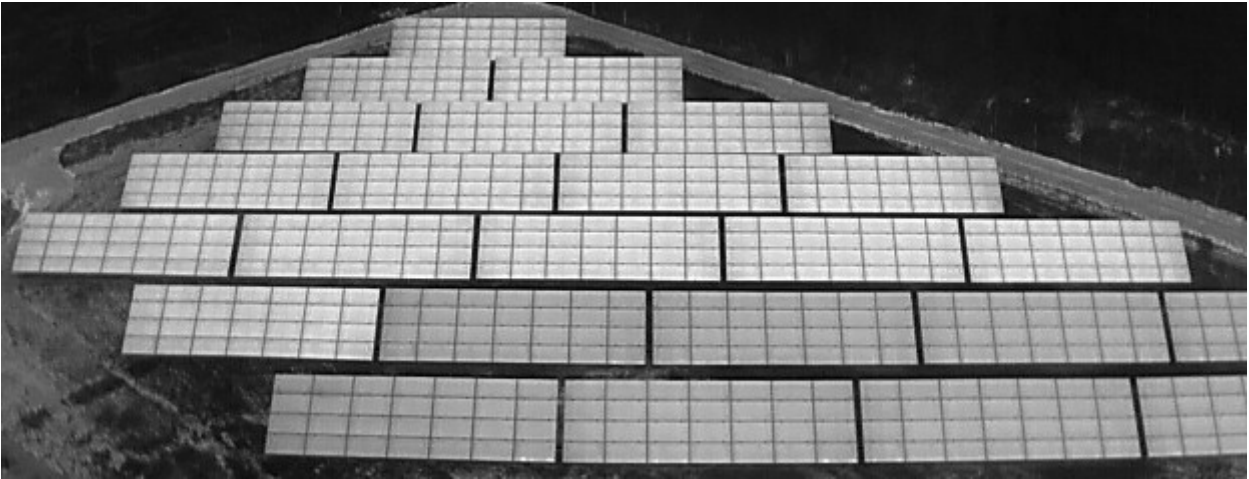
Kuvio 12 Irronneen liitoksen aiheuttama paneelin lämpenemä. (Teemu Sirniö 2024.)

Alla olevassa kuvassa toinen liitinviasta johtunut paneelin lämpenemä. Kuvauksessa käytetty mustavalkoisista väripalettia. Mustavalkoinen väripaletti korostaa selkeästi suuria lämpötilaeroja, mutta pienet lämpötilaerot on vaikeampi havaita. Pienet lämpötilaerot näkyvät paremmin monivärisellä paletilla.



Kuvio 13 Mustavalkoisella paletilla kuvattu paneelin lämpenemä. (Teemu Sirniö 2024.)

Kuviossa 14 on esitetty lämpökameran kuvaustulos tilanteesta, jossa kokonainen paneeliketju (stringi) oli pois käytöstä invertterivian vuoksi. Kyseinen vika oli ennestään tiedossa, mutta tilanne tarjosi mahdollisuuden testata lämpökameran toimivuutta isommassa vikatilanteessa. Vikaantunut paneeliketju näkyi lämpökamerakuvassa selvästi lämpimämpänä kuin muut paneelit, ja havainto vahvisti, että lämpökamera soveltuu myös laajempien toimintahäiriöiden tunnistamiseen aurinkovoimaloissa. Kuvauksessa käytettiin mustavalkoisista väripalettia.



Kuvio 14 Lämpökameralla kuvattu stringivika. (Teemu Sirniö 2024.)

Dronea hyödynnettiin myös visuaalisessa tarkastuksessa, jonka avulla voitiin havaita paneelirivien mahdollisia poikkeamia, kuten vinoutta tai epäyhtenäistä kallistuskulmaa. Lisäksi kuvamateriaalista pystyttiin arvioimaan paneelien edustalla olevan kasvillisuuden määrää ja sen mahdollista varjostavaa vaikutusta. Visuaaliset havainnot täydensivät lämpökuvauksen tuottamaa tietoa ja osoittivat, että drone on hyödyllinen väline aurinkovoimalan rakenteellisen ja ympäristön kunnon tarkastelussa. Ilmakuvien avulla saatiin muodostettua selkeä kokonaiskuva voimalan visuaalisesta tilasta, ja ne voitiin liittää osaksi tarkastusraporttia dokumentointia ja jatkotoimia varten.



Kuvio 15 Ilmakuva aurinkovoimalasta. Nurmijärven aurinkopuisto, Helen Oy. (Teemu Sirniö 2024.)

Toteutusvaiheen jälkeen laadittiin yritykselle työohje dronen käytöstä aurinkovoimaloiden kunnossapidossa. Työohje sisältää muun muassa turvallisuusohjeet, työn valmistelun vaiheet, lennätysohjeet, lämpökuvauksen suorittamisen, käytettävät kuvauskorkeudet ja -suunnat, sekä tarkastusdokumenttien raportoinnin. Lisäksi ohjeessa huomioidaan ulkoiset tekijät, kuten sääolosuhteet ja ilmatilan rajoitukset. Työohje tehtiin Enersensen omaan ohjepohjaan, ja sen sisältö noudattaa yrityksen turvallisuus- ja raportointikäytäntöjä.

Työohje toimitettiin kommentoitavaksi muutamalle yrityksen työntekijälle, jotka antoivat palautetta sen sisällöstä. Kommenttien perusteella ohjetta täydennettiin käytännönläheisillä havainnoilla. Näin varmistettiin, että lopullinen ohje palvelee käytännön työssä aidosti kenttähenkilöstön tarpeita. Kuviossa 16 on esitetty tuotetun työohjeen sisällysluettelo.



## SISÄLLYSLUETTELO

1. Yleistä.....	3
2. Turvallisuusvastuut .....	3
2.1. Turvallisuusilmoitus .....	3
3. Käytettävät suojavaälineet sekä tarvittavat pätevyudet.....	4
3.1. Henkilökohtaiset suojaimet.....	4
3.2. Tarvittavat pätevyudet .....	5
3.3. Työryhmän vaatimukset .....	5
3.4. Operaattoritunnus.....	5
4. Työnkuvaus .....	5
4.1. Työnvalmistelu .....	6
4.1.1. Lentotyösuunnitelma ja lentoonlähtötarkastus .....	6
4.1.2. Rajoitusalueet.....	6
4.1.3. Dronen silmämääräinen tarkastus .....	7
4.1.4. Akku .....	7
4.1.5. Sääolosuhteiden vaikutus lennättämiseen.....	7
4.2. Vaarojen tunnistaminen ja riskienarviointi.....	8
4.3. Työn toteutus .....	9
4.3.1. Ulkoiset tekijät lämpökuvauksessa .....	9
4.3.2. Ohjaimen käyttö ja toiminnot.....	9
4.3.2.1. Ohjaimen käynnistys .....	9
4.3.2.2. Akku.....	10
4.3.2.3. Ohjaimen CNS-nappi ja lentotilat .....	10
4.3.2.4. Muita ohjaimen toimintoja.....	10
4.3.3. DJI Pilot 2 -sovellus .....	10
4.3.3.1. Lennätysvalmistelun sovelluksessa.....	10
4.3.3.2. Kameran ja lämpökuvauksen hallinta.....	11
4.3.3.3. Automaattiset tehtävät.....	11
4.3.3.4. Lennon jälkeiset toimet.....	11
4.3.4. Lennon suorittaminen ja lämpökuvauksen.....	11
4.3.4.1. Dronen lentoonlähtö.....	11
4.3.4.2. Lennon suorittaminen.....	12
4.3.4.3. Lennätysohjeita aurinkovoimalan lämpökuvaukseen .....	12
4.3.4.4. Lennon lopettaminen .....	12
5. Suojaetäisyydet.....	13
6. Raportointi .....	13
7. Tarvittavat työvälineet .....	13

Kuvio 16 Työohjeen sisällysluettelo. (Teemu Sirniö 2025.)

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi selkeät ja käyttökelpoiset tarkastusmenetelmät, joita voidaan hyödyntää suoraan kunnossapitotyössä aurinkovoimaloilla. Dronen käyttö osoittautui tehokkaaksi tavaksi havaita vikoja, parantaa työturvallisuutta sekä tuottaa visuaalista dokumentaatiota kunnossapidon tueksi. Työohje vakiinnuttaa dronen käytön osaksi kunnossapitoprosesseja ja toimii jatkossa myös uusien työntekijöiden perehdytyksen ja sisäisten koulutusten tukimateriaalina.

Työn tulokset lisäävät yrityksen osaamista aurinkovoimaloiden kunnossapidossa ja yrityksellä on kattava pohjan toiminnan kehittämiseksi tulevaisuudessa. Työohjeen sisältöä voidaan jatkossa laajentaa sekä mukauttaa sen sisältöä uusien laitteistojen ja ohjelmistojen myötä. Dokumenttia on tarkoitus kehittää tulevaisuudessa käytännön kokemusten karttuessa.

## **7 Pohdinta**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Enersense International Oyj:lle käyttökelpoisia tarkastusmenetelmiä aurinkovoimaloiden kunnossapitoon hyödyntäen lämpökameralla varustettua dronea. Työn aikana laadittiin selkeä työohje, joka integroi droneteknologian osaksi kunnossapitoprosesseja.

Kehitetyt menetelmät osoittautuivat tehokkaaksi käytännön tarkastuksissa. Lämpökuvauksella pystyttiin havaitsemaan aurinkopaneelien ja muiden komponenttien lämpöpoikkeamia ja vikoja ilman fyysistä läsnäoloa, mikä paransi työturvallisuutta ja tarkastusten tehokkuutta. Lisäksi dronea hyödynnettiin visuaalisissa tarkastuksissa, kuten paneelien kiinnitysten, rivisuoruuden ja ympäristön kasvillisuuden havainnoinnissa.

Työn tulokset ovat hyvin linjassa tietoperustassa esitettyjen näkökulmien kanssa. Tietoperusta toi esiin lämpökuvauksen tehokkuuden vikojen havaitsemisessa sekä droneteknologian mahdollisuudet vaikeapääsyisten kohteiden tarkastamisessa. Käytännön toteutuksessa havaittiin, että drone mahdollistaa nopean ja turvallisen tarkastuksen sekä laadukkaan visuaalisen dokumentaation. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että drone soveltuu erityisen hyvin aurinkovoimaloiden kunnossapitototehtäviin ja tukee entistä ennakoivampaa kunnossapitoa.

Työn aikana ilmeni kuitenkin myös haasteita. Yhdessä kohteessa sääolosuhteet olivat heikot, ja aurinko pysyi pilvessä koko tarkastuksen ajan, mikä vaikeutti lämpökuvien tulkintaa. Tämä osoittaa, että sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi lämpökuvauksen luotettavuuteen, ja ne on otettava huomioon tarkastuksia suunniteltaessa.

Toisessa kohteessa dronella tehtävä tarkastus jouduttiin perumaan, koska alue kuului lentorajoitusalueeseen, jota ei ollut huomioitu ennakkoon. Tämä korostaa lentosuunnittelun huolellisuuden tärkeyttä ja ilmatilarajoitusten tarkistamisen merkitystä ennen lennätystä.

Työn luotettavuutta vahvistettiin keräämällä palautetta Enersensen kenttätöitä tekevältä henkilöstöltä. Kommenttien perusteella työhjeeseen tehtiin tarkennuksia. Tällä varmistettiin, että kehitetyt menetelmät vastaavat käytännön tarpeita ja on sovellettavissa yrityksen toimintaympäristössä.

Eettiset näkökohdat huomioitiin noudattamalla voimassa olevia turvallisuusmääräyksiä ja miehittämättömien ilma-alusten käyttöä koskevaa lainsäädäntöä, erityisesti Euroopan unionin droneasetusta (EU 2019/947) sekä Suomen kansallisia ilmailumääräyksiä. Kaikki kehitysehdotukset pohjautuvat alan parhaisiin käytäntöihin, jotta työskentely dronella on vastuullista ja riskit minimoidaan.

Kehitetty tarkastusmenetelmä tarjoaa Enersense International Oyj:lle konkreettisen työkalun aurinkovoimaloiden kunnossapidon tehostamiseen. Menetelmä parantaa tarkastusten tehokkuutta ja turvallisuutta sekä mahdollistaa laadukkaamman dokumentaation tuottamisen. Tulevaisuudessa menetelmää voidaan kehittää edelleen hyödyntämällä uusia teknologioita ja laajentamalla sen soveltamista muihin teollisuuden kunnossapitokohteisiin.

## Lähteet

Chan, C. 2025. Drone Manufacturing: Types, Process and Uses. Richconn. Viitattu 27.2.2025. [Drone Manufacturing: Types, Process and Uses](#)

DJI. N.d. DJI Mavic 3 Enterprise. Viitattu 6.5.2025. <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise>

Electronics Tutorials. N.d. Bypass Diodes in Solar Panels. Viitattu 27.4.2025. <https://www.electronics-tutorials.ws/diode/bypass-diodes.html>

EnergiaEki. N.d. Mikä on invertteri? Viitattu 12.1.2025. <https://www.energiaeki.fi/aurinkopaneelit/invertteri/>

Enersense Oyj. 2025a. Me olemme Enersense. Viitattu 27.4.2025. <https://enersense.fi/tietoa-meista/>

Enersense Oyj. 2025b. Strategia. Viitattu 27.4.2025. <https://enersense.fi/sijoittajalle/strategia/>

Fintraffic. 2023. Ohjeita dronen lennättäjille. Viitattu 1.3.2025. <https://www.fintraffic.fi/fi/ans/anspalvelut/dronen-lennattajille>

IEC/TS 62446-3:2017:fi. 2017. Photovoltaic (PV) systems. Requirements for testing, documentation and maintenance. Part 3: Photovoltaic modules and plants. Outdoor infrared thermography. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 5.4.2025 <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä: kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 27.5.2024. <https://janet.finna.fi/>

Maysun Solar. 2023. Miksi meidän pitäisi varoa kuumapistevaikutusta aurinkopaneeleissa? Viitattu 20.4.2025. <https://www.solarpanelsfi.com/blog/miksi-meidan-pitaisi-varoa-kuumapistevaikutusta-aurinkopaneeleissa>

Pernaa, J. 2013. Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Jyväskylä: PS-kustannus. Viitattu 5.3.2025. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/fd4fcd23-2d7c-474a-a426-438c93075ff3/content>

PSK 6201. 2004. Kunnossapito – käsitteet ja määritelmät. Espoo: PSK Standardisointi ry. Viitattu 17.5.2025. <https://psk-standardisointi.fi/standardit/#ryhma62>

Sesko. 2022. Standardijulkaisu aurinkosähkölaitteiston lämpökuvaukseen. Viitattu 15.4.2025. <https://sesko.fi/standardijulkaisu-aurinkosahkolaitteiston-lampokuvaukseen/>

SFS-EN 13306. 2017. Kunnossapito: Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS ry. Viitattu 17.5.2025. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

ST-käsikirja 40. 2023. Aurinkosähkölaitteistojen suunnittelu ja toteutus. Sähkötieto ry. ST-kortisto. Viitattu 17.11.2024. <https://severi.sahkoinfo.fi/>

ST 55.32. 2019. Verkkoon kytketyt aurinkosähkölaitteistot. Rakennustieto Oy. Viitattu 27.5.2024. <https://severi.sahkoinfo.fi/>

The Drone Life. 2024. Drone Solar Inspection Mistakes to Avoid. Viitattu 9.5.2025. <https://thedronelifenj.com/drone-solar-inspection-mistakes/>

Traficom. N.d. Droneinfo – oppaasi miehittämättömän ilmailun pariin. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Viitattu 1.3.2025. <https://www.droneinfo.fi/>

Traficom. 2023. Lennätäkö dronea? Huomioi vuodenvaihteen muutokset. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Viitattu 1.3.2025. <https://traficom.fi/fi/ajankohtaista/lennatanko-dronea-huomioi-vuodenvaihteen-muutokset>

Traficom. 2025. Drone ja sen toiminnot – Miehitämättömien ilma-alusjärjestelmien yleistunte-  
mus. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Viitattu 27.2.2025. [https://www.droneinfo.fi/fi/koulu-  
tusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehitamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistunte-  
mus?toggle=Mik%C3%A4%20on%20drone%3F](https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehitamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistunte-mus?toggle=Mik%C3%A4%20on%20drone%3F)

Valjakka, N. 2012. Aurinkovoima. Perhemedia Oy. Viitattu 17.11.2024.

## **Liitteet**

**Liite 1. DJI Mavic 3 Thermal – työohje (salassa pidettävä)**