



Jarno Kurki

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto ja kunnossapito

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

4.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Jarno Kurki
Otsikko: Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto ja kunnossapito
Sivumäärä: 45 sivua
Aika: 4.4.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Kiinteistöjen sähkötekniikka
Ohjaajat: Lehtori Jarmo Tapio

Tämän insinööriyön aiheena on aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto ja kunnossapito. Työssä esitellään aiheen kannalta tärkeimmät standardit ja lait sekä käydään läpi käyttöönoton yhteydessä asiakkaalle luovutettavat dokumentit. Työn erityisenä keskipisteenä ovat kuitenkin käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastukset sekä niiden käytännön suorittaminen. Tarkastusten suorittamiseen on internetistä jo ennestään saatavilla useita oppaita, mutta nämä ovat olleet liian suppeita vastaamaan käytännön tarpeita. Insinööriyön tavoitteena on luoda laaja, selkeä ja ennen kaikkea käytännöllinen opas aurinkosähköjärjestelmien käyttöönoton ja kunnossapidon parissa työskentelevien ammattilaisten käyttöön.

Työ toteutettiin perehtymällä laaja-alaisesti aihetta käsitteleviin materiaaleihin sekä kokoamalla näistä saatu tieto yhdeksi kokonaisuudeksi. Työn keskiössä ovat Suomen Standardisoimisliiton julkaisemat aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottoa ja kunnossapitoa käsittelevät standardit ja sähköturvallisuuslaki.

Insinööriyön tuloksena saatiin kattava ja käyttökelpoinen opas aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotolle ja kunnossapidolle. Työn käytettävyyden lisäämiseksi työssä on suosittu luetelmia tärkeimpien asioiden ja tarkastusvaiheiden korostamiseksi. Tämän ansiosta työtä on helppo seurata esimerkiksi käyttöönotto- tai kunnossapitotarkastuksia tehdessä.

Avainsanat: aurinkosähkö, käyttöönotto, kunnossapito

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Jarno Kurki
Title: The Commissioning and Maintenance of Photovoltaic Systems
Number of Pages: 45 pages
Date: 4 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Building Services
Supervisors: Jarmo Tapio, Senior Lecturer

The subject of this thesis is the commissioning and maintenance of photovoltaic systems. The special focus of this study is on the inspections needed for the commissioning and maintenance. This thesis also introduces the most important standards and laws in terms of the subject and reviews the required documents to be handed over to the customer. The aim of the work was to create a comprehensive guide on the commissioning and maintenance for the professionals in the field.

The work was done by gathering information from industry standards published by the Finnish Standardization Association and compiling the obtained information into one complete guide. The Electrical Safety Act and other safety regulations are also strictly followed in this thesis.

The result of this project is a comprehensive and practical guide on the commissioning and maintenance of photovoltaic systems. To increase the usability of the work, bullet points are widely used throughout the thesis to highlight the most important points and inspection steps. Because of this, it is easy to use the thesis as a checklist when performing commissioning and maintenance inspections.

Keywords: photovoltaic system, commissioning, maintenance

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Standardit ja lait	2
3	Käyttöönotto	5
3.1	Dokumentit	5
3.2	Käyttöönottotarkastuspöytäkirja	8
3.3	Aistinvaraiset tarkastukset yleisesti	10
3.4	Testaukset yleisesti	10
3.4.1	Mittalaitteet	11
3.4.2	Kategoria 1	13
3.4.3	Kategoria 2	14
3.4.4	Täydentävät testit	15
4	Käyttöönottotarkastukset	16
4.1	Aistinvaraiset tarkastukset	17
4.1.1	Järjestelmän yleiset vaatimukset	17
4.1.2	Tasasähköosan tarkastukset	18
4.1.3	Järjestelmän suojauksen tarkastukset	20
4.1.4	Vaihtosähköosan tarkastukset	21
4.1.5	Merkinnät ja tunnistaminen	22
4.2	Vaihtosähköosan testaukset	23
4.2.1	Asennuksen eristysresistanssin mittaus	24
4.2.2	Suojajohtimen jatkuvuus	25
4.2.3	Vikapiiirin impedanssin mittaus	26
4.3	Tasasähköosan testaukset	27
4.3.1	Maadoituksen ja potentiaalintasauksen jatkuvuus	27
4.3.2	Napaisuuden testaus	28
4.3.3	Paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittaus	29
4.3.4	Paneeliketjun virran mittaus	30
4.3.5	Toimintakokeet	32
4.3.6	Paneeliston eristysresistanssi	32
5	Kunnossapito	35

5.1	Sähkölaitteistoluokat ja kunnossapitovaatimukset	35
5.1.1	Sähkölaitteistoluokat	35
5.1.2	Varmennustarkastus	36
5.1.3	Määräaikaistarkastus	36
5.1.4	Kunnossapito-ohjelma	37
5.2	Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapito	37
5.2.1	Kunnossapitotarkastukset	38
5.2.2	Ennakoiva kunnossapito	40
5.2.3	Korjaava kunnossapito	41
6	Yhteenveto	43
	Lähteet	44

Lyhenteet

AC: *Alternating current.* Vaihtovirta.

DC: *Direct current.* Tasavirta.

I_{sc} : Oikosulkuvirta.

kWp: *Kilowatt peak.* Aurinkosähköjärjestelmän nimellistehoa kuvaava yksikkö.

STC: *Standard Test Conditions.* Kuvaa paneelien ilmoitetun suorituskyvyn standardoituja testausolosuhteita. Standardoidut testaukset suoritetaan valovoimalla 1000 W/m^2 ja $25 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa.

V_{oc} : Avoimen piirin jännite.

1 Johdanto

Uusiutuvien energialähteiden käyttö yleistyy hurjaa vauhtia maailmanlaajuisesti. Tavallisen kuluttajan näkökulmasta erityisesti kuluttajatason aurinkosähköjärjestelmät ovat tulleet tutuksi menetelmäksi hyödyntää auringon säteilyenergiaa tuottamaan puhdasta ja kestäväää sähköä. Koska aurinkosähköasennuksien kysyntä kasvaa jatkuvasti, näiden järjestelmien optimaalisen suorituskyvyn ja pitkäikäisyyden varmistaminen on ratkaisevan tärkeää.

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotolla ja kunnossapidolla on keskeinen rooli niiden turvallisen ja tehokkaan toiminnan takaamisessa järjestelmän koko elinkaaren ajan. Käyttöönottoprosessiin osallistuvien sähköalan ammattilaisten on tärkeää noudattaa alan vahvistettuja ohjeita sekä standardeja varmistaakseen, että järjestelmät asennetaan ja testataan oikein.

Tämän opinnäytetyön aiheena on aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto ja kunnossapito. Työn tavoitteena on tarjota kattava opas, joka on erityisesti suunniteltu aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottoon osallistuville sähköalan ammattilaisille. Työssä alan viimeisimmät käyttöönottoa ja kunnossapitoa koskevat standardit sekä lait kootaan yhdeksi kattavaksi oppaaksi. Työ on laadittu käytännön käytettävyyks mielessä pitäen. Tämän takia työssä on suosittu paljon luettelmia, joiden ansiosta luettavuus esimerkiksi puhelimella on huomattavasti helpompaa.

Käyttöönoton osalta työssä keskitytään erityisesti käyttöönottotarkastuspöytäkirjan täyttämisen opastamiseen sekä tarvittavien tarkastusten ja testausten suorittamiseen. Pöytäkirjaan kuulumattomien kategorian 2 ja muiden täydentävien testausten osalta tyydytään vain nopeaan läpikäymiseen. Tämän lisäksi sähköverkkoon kytkeytymättömät aurinkosähköjärjestelmät, esimerkiksi akkujärjestelmät, ja muut hybridijärjestelmät on jätetty kokonaan työn rajauksen ulkopuolelle. Kunnossapidon puolella työssä esitellään eri sähkölaitteistoluokat ja eri luokilta vaaditut kunnossapitotoimet ja -ohjelmat. Tämän jälkeen perehdytään tarkemmin aurinkosähköjärjestelmien kunnossapitoon ja tarvittaviin tarkastuksiin.

2 Standardit ja lait

Sähtöturvallisuuslaki 1135/2016

Sähtöturvallisuuslaissa on esitetty yleiset sähkölaitteistojen sähtöturvallisuutta koskevat velvoittavat vaatimukset. Laki koskee kaikkia sähkölaitteita ja -laitteistoja, joita käytetään sähkön tuottamisessa, siirrossa, jakelussa, käytössä ja joiden sähköisistä tai sähkömagneettisista ominaisuuksista voi aiheutua vaaraa tai häiriötä. Laki koskee siten myös aurinkosähköjärjestelmiä, ja järjestelmän asennuksessa on varmistettava sähtöturvallisuuslain vaatimusten täytyminen. [1, § 1–2.]

Lain mukaan sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava, korjattava, huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että järjestelmästä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Laitteistosta ei saa myöskään aiheutua sähköisesti tai sähkömagneettisesti kohtuutonta häiriötä, eikä laitteiston toiminta saa helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti häiriintyä. Mikäli sähkölaitteisto ei täytä edellä mainittuja vaatimuksia, ei laitteistoa saa saattaa markkinoille, ottaa käyttöön taikka luovuttaa toiselle. [1, § 6–10.]

SFS-EN 62446-1:2016

Standardisarjan IEC 62446 ensimmäinen osa määrittää vaatimukset asiakkaalle annettavasta dokumentaatiosta ja informaatiosta aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä sekä esittää vaaditut käyttöönototestit ja tarkastuskriteerit, joiden odotetaan todistavan, että asennus on turvallinen ja toimii tarkoituksenmukaisesti. Standardi on tarkoitettu sähköverkkoon kytketyille aurinkosähköjärjestelmille, jotka eivät sisällä energiavarastoja tai hybridijärjestelmiä. Tämän standardin tarkoitus on toimia apuna, kun suoritetaan aurinkosähköjärjestelmien käyttöönoton yhteydessä suoritettavia tarkastuksia ja testejä sekä asennuksen jälkeisten kunnossapidon tai muutostöiden jälkeen tehtäviä tarkastuksia. [2, s. 10.]

Standardisarjan IEC 62446 ensimmäinen osa on jäsennetty kahteen osaan, joista ensimmäinen pureutuu järjestelmän dokumentointivaatimuksiin. Tämä kohta esittää informaation ja yksittäiset asiakirjat, joiden vähintään pitää sisältyä asiakkaalle annettavaan dokumentaatioon. Toinen kohta perehtyy järjestelmälle suoritettaviin aistinvaraisiin tarkastuksiin ja suoritettaviin testauksiin. Tässä kohdassa on esitetty kokoelma järjestelmätestejä ja tarkastuksia erilaisten aurinkosähköjärjestelmien tarpeisiin järjestelmän tyypistä, kokoluokasta tai monimutkaisuudesta riippumatta. [2, s. 9.]

SFS-EN 62446-2:2020

Standardisarjan IEC 62446 toinen osa esittää perusvaatimukset ja suositukset sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kunnossapidolle. Standardi toimii standardisarjan ensimmäistä osaa täydentävänä, ja sen vaatimuksia sovelletaan yhdessä standardisarjan ensimmäisen osan IEC 62446-1 kanssa. Standardi ei huomioi saarekekäyttöjä eikä akkuja tai muita energiavarstoja sisältäviä järjestelmiä. Standardissa esitellään aurinkosähköjärjestelmän kunnossapitoon liittyvät kunnossapitotarkastukset, turvallisuuteen ja suorituskykyyn liittyvä ennakoiva kunnossapito, korjaava kunnossapito sekä vianselvitys. [3, s. 7.]

SFS 6000-6:2022

Standardissa SFS 6000-6 käydään läpi vaatimukset sähköasennusten käyttöönottotarkastuksille sekä säännöllisesti suoritettaville kunnossapitotarkastuksille. Standardia käytetään yleisesti pohjana kaikille pienjännitesähköasennuksille suoritettaviin käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastuksiin. Mahdolliset järjestelmäkohtaiset lisävaatimukset on tämän jälkeen esitetty erillisissä standardeissa. Standardi SFS 6000-6 pohjautuu alun perin englanninkielisenä julkaistuun standardiin IEC 60364-6 Low-voltage electrical installations. Part 6: Verification. [4, s. 5.]

IEC 62548:2016

Standardissa IEC 62548 on esitetty turvallisuusvaatimukset aurinkosähköjärjestelmien suunnittelulle. Standardia sovelletaan kaikkiin aurinkosähköpaneeliston osiin kattaen muun muassa sähkökaapeloinnit, sähkötekniset suojalaitteet sekä kytkentä- ja maadoitusjärjestelyt. Tätä standardia ei sovelleta akkuihin tai kuormiin. Tehomuuntimiin standardia sovelletaan vain turvallisuuskulmasta. [5, s. 6.]

SFS 6000-7-712:2022

Standardi SFS 6000-7-712 käsittelee aurinkosähkögeneraattorien sähköasennuksia. Standardin vaatimukset koskevat aurinkosähköjärjestelmiä, joita ei ole liitetty yleiseen sähköverkkoon, järjestelmiä, jotka syöttävät sähköä rinnan tai vaihtoehtoisena lähteenä yleisen sähköjakeluverkon kanssa, ja järjestelmiä, jotka toimivat edellä mainittujen vaihtoehtojen yhdistelminä. Standardia käytetään usein rinnan standardin IEC 62548:2016 kanssa, ja molempien standardien odotetaan tuottavan samanlaisen lopputuloksen. [6, s. 6.]

3 Käyttöönotto

Luvussa määritellään aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä asiakkaalle annettavat dokumentit sekä käyttöönototestit ja tarkastuskriteerit, kun sähköverkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä luovutetaan asiakkaalle. Näiden tarkoituksena on todistaa, että järjestelmä on turvallinen käyttää ja toimii asianmukaisesti.

3.1 Dokumentit

Tässä luvussa käydään läpi standardin SFS 62446-1 mukaiset minimivaatimukset sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien asennusten yhteydessä tehtävälle dokumentaatiolle. Näiden dokumenttien tarkoituksena on varmistaa, että järjestelmän turvallisen käytön ja huollon kannalta tärkeimmät tiedot ovat järjestelmän käyttäjän ja sitä huoltavien henkilöiden saatavilla. [2, s. 13.]

Työssä dokumentointivaatimukset on esitetty hyvin lyhyesti, eikä erillisiin dokumentteihin ole tarkoitus perehtyä kovinkaan syvällisesti. Poikkeuksena tähän on kuitenkin aurinkosähköjärjestelmän käyttöönotossa täytettävä käyttöönototarkastuspöytäkirja, jonka sisältöön sekä täyttämiseen pyritään työssä esittämään mahdollisimman selvät ohjeet. Käyttöönototarkastuspöytäkirja esitetään tarkemmin vasta luvussa 3.3 Käyttöönototarkastuspöytäkirja. Tässä luvussa on kuitenkin lyhykäisyydessään käyty läpi myös muut standardin 62446 ensimmäisen osan esittämät minimivaatimukset asiakkaalle annettavasta dokumentaatiosta aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä.

Järjestelmän tiedot

Järjestelmän dokumentaation etusivulla on yleisesti esitetty järjestelmän perustiedot. Perustietoihin on kirjattu yleiset tiedot järjestelmästä, kuten aurinkopaneelien ja vaihtosuuntaajien valmistajat, mallit, lukumäärät ja laitteiston mitoitus-teho. Näiden lisäksi perustiedoissa esitetään asiakkaan tiedot, laitteiston asennus- ja käyttöönottopäivä sekä asennuskohteen osoite. Järjestelmän tiedoissa on lisäksi tärkeää ilmoittaa yleiset tiedot järjestelmän suunnittelijasta ja

laitteiston asentajasta. Näissä tulee käydä ilmi työn toteuttanut yritys, yrityksen yhteyshenkilö sekä tarvittavat yhteystiedot. [2, s. 13.]

Johdotuskaavio ja paneeliketjun kokoonpano

Yksin järjestelmän tärkeimmistä dokumenteista on koko järjestelmän kattava johdotuskaavio. Johdotuskaaviossa on esitetty kaaviomaisessa muodossa järjestelmän rakenne ja kaavio on varustettu huomautuksilla, joista selviää tarkempia tietoja järjestelmän komponenteista sekä niiden sijoittelusta. Johdotuskaavio laaditaan käyttäen yksiviivaista esitystapaa. Suuremmissa järjestelmissä kaikkea tarvittavaa informaatiota ei välttämättä saada mahtumaan kaavioon, jolloin lisäksi voidaan käyttää myös taulukkomuotoa. [2, s. 14.]

Johdotuskaavio on kattava dokumentti järjestelmän rakenteesta, ja siitä on käytävä ilmi järjestelmän pääkomponenttien, kuten paneelien ja paneeliketjujen sekä invertterien ja kaapeleiden, tiedot. Näiden lisäksi kaaviossa on esitetty tarkempia tietoja komponenttien sijoittelusta sekä niiden välisistä keskinäisistä kytkennöistä, järjestelmän suojauksesta ja suojalaitteista. Lisäksi järjestelmistä, joissa on vähintään kolme paneeliketjua, on laadittava kokoonpanopiirustus, jossa on esitetty koko paneelisto ja sen osat jaettuna paneeliketjuihin. [2, s. 14.]

Datalehdet

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä on asiakkaalle toimitettava järjestelmän komponentteja koskevat datalehdet. Datalehdet sisältävät tietoa komponentista sekä tarvittavista huoltotoimista. Datalehdistä ilmenee usein myös valmistajan laitteistolle myöntämä takuu ja takuehdot. Eri valmistajien laitteistot voivat poiketa toisistaan hyvinkin paljon sekä rakenteellisesti että toiminnallisesti. Laitteistojen datalehdet on siis syytä pitää laitteistoa huoltavien henkilöiden saatavilla, näin voidaan taata valmistajan ohjeiden mukaiset huolto- toimenpiteet ja takuun säilyminen. [2, s. 15.]

Standardin mukaisesti asiakkaalle on toimitettava vähintään järjestelmän jokaisen aurinkosähköpaneeli- ja vaihtosuuntaajatyypin datalehdet. Näiden lisäksi

tulisi mahdollisuuksien mukaan harkita myös muiden tärkeiden komponenttien datalehtien sisällyttämistä asiakkaalle annettaviin dokumentteihin. [2, s. 15.]

Mekaanisen suunnittelun tiedot

Aurinkosähköjärjestelmän mekaanisista kiinnitysjärjestelmistä ja rakenteellisista komponenteista on oltava saatavilla datalehdet. Tämän lisäksi kiinnitysrakenteisiin tehdyistä muutoksista on laadittava tarpeelliset dokumentaatiot. [2, s. 15.]

Hätätilannejärjestelmät

Erityisesti suurempiin aurinkosähkölaitteistoihin liittyy usein erillisiä hätätilannejärjestelmiä. Näitä järjestelmiä ovat esimerkiksi erilaiset järjestelmään liittyvät palovaroittimet, palonilmaisu- ja paloilmoitusjärjestelmät. Kaikista aurinkosähkölaitteistoon liittyvistä hätätilannejärjestelmistä on laadittava tarpeellinen dokumentaatio. Dokumentaation on sisällettävä vähintään järjestelmän suunnittelu- tiedot sekä käyttöohjeet. [2, s. 15.]

Käyttö- ja kunnossapitotiedot

Asiakkaalle on annettava järjestelmän käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät dokumentit, joiden täytyy vähintään sisältää seuraavat tiedot:

- järjestelmän oikean toiminnan varmentamiseen tarvittavat toimenpiteet
- tarkastuslista järjestelmän vikaantuessa suoritettavista toimenpiteistä
- ohjeet järjestelmän hätäpysäytykseen ja jännitteettömäksi tekemiseen
- suositukset järjestelmän kunnossapidolle ja puhdistamiselle
- huomio mahdollisista järjestelmän toimintaan vaikuttavista rakennustöistä
- järjestelmän takuun dokumentaatiot ja takuehdot [2, s. 15].

Testitulokset ja käyttöönottoon liittyvät tiedot

Säihköturvallisuuslain mukaan aurinkosähkölaitteistolle on suoritettava käyttöönottotarkastus. Tarkastuksessa selvitetään, että laitteisto toimii oikein eikä siitä aiheudu vaaraa tai häiriötä laitteiston käyttäjälle, laitteistoa huoltavalle tai kenellekään muulle ulkopuoliselle henkilölle. Käyttöönottotarkastuksesta luodaan käyttöönottotarkastuspöytäkirja, josta käy ilmi käyttöönottotarkastuksessa suoritettujen tarkastusten ja testien tulokset. Tarkastukset perustuvat sekä aistinvaraisiin että mittalaitteiden avulla suoritettaviin menetelmiin. Käyttöönottotarkastuspöytäkirjan liitteeksi voidaan tarvittaessa lisätä muita käyttöönottoon liittyviä tietoja, kuten poikkeamat standardin säädöksistä. Pöytäkirjasta on annettava kopio aurinkosähkölaitteiston haltijalle. [1, § 6; 2, s. 16.]

3.2 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja

Aurinkosähkölaitteiston käyttöönoton yhteydessä suoritettujen käyttöönottotarkastusten tulokset kirjataan käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja koostuu usein seuraavista osista:

- Perustiedot. Perustietoihin merkataan muun muassa urakoitsijan ja tilaajan yhteystiedot sekä yhteyshenkilöt, sähkötyönjohtaja ja hänen yhteystietonsa, kohteen tiedot, kuten osoite, postinumero ja muut projektin yksilöintitiedot.
- Aistivaraiset tarkastukset. Kirjataan suoritettujen tarkastusten ja tarkastuksista saadut tulokset.
- Testaukset. Kirjataan suoritettujen testien sekä mittauksien ja näistä saadut tulokset. Vaihtosähköpuolen sekä tasasähköpuolen testauksista luodaan usein erilliset testausraportit.
- Lisätiedot ja liitteet. Lisätiedoissa voidaan esimerkiksi esittää mittauksissa käytetyt mittalaitteet sekä muut testauksen aikana tulleet huomiot. Tämän lisäksi, mikäli standardin vaatimuksista on jouduttu poikkeamaan, täytyy pöytäkirjaan liittää tästä selvitys. Pöytäkirjasta tulisi myös käydä ilmi seuraavan tarkastuksen suositeltu ajankohta.
- Tarkastuksen suorittajan sekä tilaajan allekirjoitukset. Pöytäkirjan loppuun lisätään tarkastuksen suorittajan ja tilaajan allekirjoitukset ja nimenselvennökset sekä päivämäärä ja paikka. [4, s. 14–15.]

Käyttöönottotarkastuspöytäkirjasta on saatavilla erilaisia valmiita pohjia. Näistä yleisimmin käytetty lienee Sähköinfon ST-kortistosta löytyvä aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja [7]. Tämän lisäksi monilla yrityksillä on käytössään yrityksen omia pöytäkirjapohjia.

Standardissa SFS-EN 62446-1 [2] on esitetty suositukset käyttöönottotarkastuspöytäkirjan sisällölle sekä käyttöönoton yhteydessä suoritettaville tarkastuksille ja testauksille. Alapuolella kuvassa 1 on nähtävillä havainnollistava pöytäkirja-esimerkki standardin testiraporttimallista.

Aurinkosähköpaneeliston testiraportti (Malli)			
Laitteiston osoite		Viite	
Kuvaus testattavasta laitteistosta		Päivämäärä	
		Tarkastaja	
		Testiläite	
Paneeliketjun ominaisuudet	Paneeliketju	1	2
	Aurinkosähköpaneeli		
	Lukumäärä		
	V_{oc} (STC)		
Paneeliketjun ylivirtasuojaus	I_{sc} (STC)		
	Suojan tyyppi		
	Mitoitus (A)		
	Tasasähkömitoitus (V)		
Paneeliketjun kaapelointi	Katkaisukyky (kA)		
	Kaapelityyppi		
	Äärijohtimien poikkipinta (mm ²)		
Paneeliketjun mittaukset	Maajohtimien poikkipinta (mm ²)		
	V_{oc} (Max, V)		
	I_{sc} (Max, V)		
Säteily			
Napaisuuden tarkastus			
Paneeliston eristysresistanssi	Testijännite (V)		
	Pos-Maa (M Ω)		
	Neg-Maa (M Ω)		
Maadoituksen jatkuvuus (jos on käytetty)			
Paneeliston erotin	Mitoitus (A)		
	Mitoitus (V)		
	Sijainti		
	Toiminnan tarkastus		
Vaihtosuuntaajan ominaisuudet	Malli ja valmistaja		
	Sarjanumero		
	Toiminnan tarkastus		
Lisätiedot:			

Kuva 1. Malli aurinkosähköpaneeliston testiraportista [2, s. 40].

3.3 Aistinvaraiset tarkastukset yleisesti

Ennen aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottoa järjestelmä tarkastetaan sekä aistinvaraisesti että erilaisilla mittalaittein suoritettavilla testauksilla. Aistinvaraiset tarkastukset ovat käyttöönoton ja kunnossapidon yhteydessä tehtäessä verrattain hyvin samanlaiset. Tarkastusten yhteydessä järjestelmä käydään läpi aistinvaraisesti ja varmistetaan, että järjestelmä on asianmukaisessa kunnossa täyttäen standardin SFS 6000-6 vaatimukset. Näin voidaan varmistua siitä, ettei järjestelmä aiheuta sähköturvallisuuslaissa [1] kuvailtua vaaraa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle.

Aistinvarainen tarkastus suoritetaan ennen järjestelmän mittalaittein suoritettavaa testausta, ja tavallisesti se tehdään ennen kuin sähköt kytketään asennukseen. Aurinkosähköjärjestelmien aistinvaraisessa tarkastuksessa noudatetaan standardin IEC 60364-6 vaatimuksia. [2, s. 16.]

Aurinkosähköjärjestelmän aistinvaraisessa tarkastuksessa käydään läpi järjestelmän tasa- ja vaihtosähköpuolet ja varmistetaan, että järjestelmän kaikki virtapiirit, kytkimet, suojalaitteet ja liittimet on merkitty standardisarjan SFS 6000 ja IEC 62548 vaatimusten mukaisesti. Näiden lisäksi aistinvaraisen tarkastuksen yhteydessä olisi hyvä tarkistaa järjestelmältä yleisesti vaaditut asiat, kuten kohteen rakennusvalvonnan ohjeet. [2, s. 16–19; 7.]

3.4 Testaukset yleisesti

Tässä luvussa on lueteltu aurinkosähköjärjestelmien testausten testiryhmät ja täydentävät testit. Järjestelmään sovellettava testiryhmä määräytyy laitteiston laajuuden, monimutkaisuuden ja sijainnin perusteella. Järjestelmän testaus on suoritettava standardin SFS 6000-6 vaatimusten mukaisesti, ja mitta- sekä valvontalaitteet on valittava standardisarjojen IEC 61557 ja IEC 61010 soveltuvien osien mukaisesti. [2, s. 20.]

Työssä keskitytään kaikille laitteistoille suoritettaviin kategorian 1 testiryhmän testeihin. Lisätesteiksi tarkoitettut kategorian 2 testit sekä muut täydentävät testit

on esitetty tässä luvussa luettelomaisesti läpikäyden, mutta niiden suorittamiseen ei perehdytä sen syvällisemmin. Kategorian 1 testien suorittaminen esitetään työn seuraavassa käyttöönottotarkastuksia käsittelevässä pääluvussa 4.

3.4.1 Mittalaitteet

Käyttötarkastuksen mittauksissa tulee käyttää standardien IEC 61557 ja IEC 61010 vaatimusten mukaisia mitta- ja valvontalaitteita. Mikäli käytetään muita laitteita, niissä täytyy olla vähintään samantasoiset suorituskyvylliset ja turvallisuusominaisuudet. [2, s. 20.]

Käyttöönottomittauksissa voidaan käyttää seuraavia mittalaitteita:

- asennustesteri
- pihtivirtamittari
- yleismittari
- eristysvastusmittari
- auringon säteilymittari
- paneelien pinnan lämpötilamittari
- lämpökamera.

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottomittauksissa käytetään yleisesti erityisesti käyttöönottomittauksiin suunniteltua asennustesteriä. Asennustesteri on käyttöönottomittausten monitoimilaite, jolla voidaan suorittaa lähes kaikki käyttöönottomittaukset lämpökuvausta ja auringon säteilymittauksia lukuun ottamatta. Kuvassa 2 on esimerkkinä Fluken aurinkoenergia-asennustesteri. Joissain tapauksissa, kun käytössä ei ole virallista käyttöönottotarkastusmittaria, voidaan mittaukset suorittaa myös käyttäen yleismittaria, pihtivirtamittaria ja erillistä eristysvastusmittaria. Auringon säteilyenergian mittaamiseen soveltuva valovoimamittari sekä paneelien pinnan lämpötilan mittaamiseen soveltuva lämpömittari tulisi kuitenkin olla käytettävissä käyttöönoton yhteydessä.



Kuva 2. Fluken SMFT-1000-aurinkoenergia-asennustesteri. Asennustesteriä voidaan käyttää virta-jännitekäyrän piirtoon TruTest-ohjelmiston avulla. [8.]

Odotettavissa olevan paneeliketjun avoimen piirin jännitteen sekä oikosulkuvirran arviointia varten on olemassa aurinkoenergiamittareita, joissa on sekä auringon säteilyn mittari että paneelien pintalämpötilan mittaamiseen soveltuva lämpömittari. Alla kuvassa 3 on Fluken aurinkoenergiamittari ulkoisella lämpötila-anturilla.



Kuva 3. Fluken iRR1-SOL-aurinkoenergiamittari paneelien pintalämpötilan mittaamiseen soveltuvalle lämpötila-anturilla [9].

3.4.2 Katgoria 1

Kategorian 1 testiryhmässä on esitetty vähimmäisvaatimukset kaikille aurinkosähköjärjestelmille suoritettaville testeille riippumatta järjestelmän laajuudesta, tyypistä, sijainnista tai monimutkaisuudesta. Testaukset tulee suorittaa sekä vaihto- että tasasähköpuolille niiltä osin kuin ne ovat testattavalle järjestelmälle soveltuvia, ja testit tulisi suorittaa annetussa järjestyksessä. [2, s. 21.]

Tietyissä tapauksissa, joissa järjestelmän toteutuksessa on käytetty vaihtovirtapaneeleita, tehosovittimia tai muuta paneeliin integroitua elektroniikkaa, voidaan testausvaatimuksista poiketa. Tällöin oikeiden testiryhmien valitsemiseen tulee käyttää standardin SFS 62446-1 kohdan 5.3.3 mukaista taulukkoa. Taulukon sisältö on esitetty taulukossa 1. [2, s. 20; 7.]

Taulukko 1. Testiryhmämuutokset paneeleihin integroitua elektroniikkaa sisältäville järjestelmille [2, s. 20].

Järjestelmä	Standardiryhmän muutokset
Vaihtovirtapaneeli	-Tasasähkön testejä tai tarkastusta ei vaadita
Mikrovaihtosuuntaaja	-Tasasähköpiirien testejä ei vaadita
Kohteessa ei ole paneelistokohtaista kaapelointia (Kaikki liitokset on tehty paneelin ja vaihtosuuntaajan johtimilla)	-Tasasähköasennukset on tarkastettava
Mikrovaihtosuuntaaja	-Tasasähköpiirit on testattava
Kohteessa on paneelistokohtainen kaapelointi	-Tasasähköasennukset on tarkastettava
Paneeliin integroitu elektroniikka	-Standarditestiryhmiä käytetään missä se on mahdollista -Valmistajalta on selvitettävä mahdolliset testien rajoitukset (esim. eristysresistanssin mittaus) -Valmistajalta on selvitettävä testien hyväksyntä/hylkäys kriteerit (esim. odotettu V_{oc})

Seuraavaksi on lueteltu testit, jotka tulee vähintään suorittaa jokaiselle järjestelmälle edellä mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta.

Vaihtosähköpuolelle suoritetaan seuraavat testit:

- suojajohtimen jatkuvuuden mittaus
- eristysresistanssin mittaus
- vikapiirin impedanssin mittaus [2, s. 21; 4, s. 8–9].

Tasasähköpuolelle suoritettavat testit:

- maadoituksen ja potentiaalintasauksen jatkuvuuden mittaus
- napaisuuden testaus
- liitäntäkeskuksen testaus
- paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittaus
- paneeliketjun virran oikosulkumittaus tai toiminnallisen virran tarkastus
- toiminnalliset testit
- paneeliston eristysresistanssin mittaus [2, s. 21].

3.4.3 Katgoria 2

Kategorian 2 testiryhmä sisältää suurille ja monimutkaisille järjestelmille tarkoitettuja lisätestejä. Joissain tapauksissa kategorian 2 testiryhmän testit voidaan esimerkiksi suorittaa vain haluttuun järjestelmän osaan tai testiryhmästä voidaan käyttää vain yhtä testiä. Kaikissa tapauksissa kategorian 1 testiryhmän testit on oltava suoritettu hyväksytysti ennen kategorian 2 testien tekemistä. [2, s. 22.]

Kategorian 2 testiryhmään kuuluvat testit:

- paneeliketjun virta-jännitekäyrän määrittäminen
- paneeliston lämpökuvaus [2, s. 22].

Paneelistosta muodostetun virta-jännitekäyrän muodosta voidaan havaita paneelistossa piileviä poikkeamia. Tällaisia poikkeamia voivat olla esimerkiksi

vaurioituneet kennot, oikosuljetut ohitusdiodit, varjostukset, paneelien keskinäinen yhteensopimattomuus, paneeleissa olevat rinnakkaisvastukset tai suuret sarjavastukset. [2, s. 31.]

Paneelistosta määritetyn virta-jännitekäyrän kuten myös paneeliston lämpökamerakuvauksen avulla voidaan helposti havaita järjestelmässä piileviä vikoja. Erityisesti paneeliston tutkiminen lämpökameralla on nopea ja helppo tapa paneeliston vianetsintään. Normaalitylanteessa paneeliston lämpötilan tulisi olla melko yhteneväinen. Tästä johtuen erityistä huomiota tulee kiinnittää havaittuihin lämpövaihteluihin, joille ei ole pintapuolisesti havaittavissa selkeää syytä, kuten paneelissa mahdollisesti olevat tarrat, paneelien merkintä- tai kiinnityskohdat tai paneelin reunat. [2, s. 31–32.]

Kuumat tai kylmät kohdat paneelissa voivat viestiä paneelissa olevasta viasta. Tällaisia lämpökuvauksella havaittavia vikoja voivat olla esimerkiksi sarja- tai rinnakkaisresistanssit, vialliset sekä kytkemättömät kennot, löysät liitokset johtimien liitäntäkohdissa tai paneelin paikalliset varjostukset. [2, s. 31–32.]

3.4.4 Täydentävät testit

Täydentävät testit ovat kategorian 1 ja 2 standarditestisarjojen lisäksi määritellyjä testejä, jotka eivät ole velvoittavia mutta joita voidaan soveltaa tarpeen vaatiessa. Yleisesti näitä testejä sovelletaan järjestelmässä havaitun poikkeaman syy selvittämiseksi tai asiakkaan niin pyytäessä. Testit on esitetty alapuolella, mutta työssä tyydytään vain täydentävien testien luetteloimiseen, eikä niihin syvennytä sen tarkemmin. Näiden testien olemassaolo on silti hyvä tiedostaa.

Standardin SFS 62446-1 määrittelemät täydentävät testit:

- suuren vastuksen kautta maadoitettujen järjestelmien jännite maahan nähden
- estodioditesti
- eristysresistanssin mittaus märissä olosuhteissa
- varjojen vaikutuksen arviointi [2, s. 22].

4 Käyttöönottotarkastukset

Aurinkosähkölaitteisto voidaan ottaa käyttöön vasta, kun on varmistuttu, että se täyttää sähköturvallisuuslain 6 §:ssa säädetyt turvallisuusvaatimukset. Tätä varten on laitteistolle suoritettava käyttöönottotarkastus aina ennen järjestelmän käyttöönottoa. Käyttöönottotarkastuksessa suoritettujen tarkastusten ja testien tulokset kirjataan käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan, josta luovutetaan kopio laitteiston haltijalle. [4, s. 7.]

Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastus tulisi suorittaa noudattaen standardin IEC 60364-6 asettamia vaatimuksia. Standardi on julkaistu myös suomenkielisenä versiona nimellä ”SFS 6000-6 Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset.”. Standardi sisältää vaatimukset sähköasennusten käyttöönoton yhteydessä tehtävälle tarkastukselle sekä säännöllisin välein tehtäville kunnossapitotarkastuksille. Näiden vaatimusten katsotaan täyttyvän, kun noudatetaan aurinkosähköjärjestelmiä koskevaa standardia SFS-EN 62446-1. Standardissa 62446-1 on kuvattu aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä tehtävät aistinvaraiset tarkastukset sekä mittalaittein suoritettavat testaukset. [2, s. 16.]

Käyttöönottotarkastus tulee suorittaa aina kun uusi asennus tai vanhaan asentukseen tehty muutos on saatu valmiiksi. Tämän lisäksi sähköasennuksille suoritetaan säännöllisin väliajoin tehtäviä kunnossapitotarkastuksia, joissa tutkitaan, ovatko sähköasennukset ja järjestelmän komponentit sekä laitteet käyttöä varten hyväksyttävässä kunnossa. Tarkastukset suoritetaan niin kattavasti kuin se on käytännöllistä ja perusteltua tehdä. [4, s. 7.]

Mikäli rakentamisen aikana on jouduttu poikkeamaan standardin asettamista vaatimuksista, käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan on liitettävä tästä tarvittava selvitys sekä tilaajan suostumus standardista poikkeamiseen. Selvityksessä käydään läpi olennaisten turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi käytetyt ratkaisut ja kuvaus siitä, miten valitut ratkaisut täyttävät standardin turvallisuusvaatimukset. Poikkeaminen standardista tulee suorittaa perustelluista syistä ja siten,

että valitun ratkaisun taso vastaa vähintään standardin mukaista turvallisuustasoa. [10, s. 23.]

4.1 Aistinvaraiset tarkastukset

Seuraavaksi käydään läpi asiat, jotka odotetaan vähintään tarkastettavan aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastuksen yhteydessä. Aistinvaraisissa tarkastuksissa käydään läpi järjestelmältä yleisesti vaaditut asiat, järjestelmän vaihto- ja tasasähköpuolet sekä järjestelmän suojaus ja merkinnät. Luvussa seurataan ST-kortiston mukaisen käyttöönottotarkastuspöytäkirja-mallin [7] kohtia, sillä se tarjoaa yleisesti käytetyimmän ja kattavan pohjan tarkastuspöytäkirjalle.

4.1.1 Järjestelmän yleiset vaatimukset

Tässä alaluvussa on esitetty tarkastuksia, joille ei löydy suoraa velvoitetta standardeista. Nämä asiat esiintyvät säännöllisesti ongelmakohtina järjestelmiä asennettaessa, minkä takia ne olisi hyvä tarkastaa järjestelmän käyttöönoton yhteydessä. Käyttöönoton yhteydessä suositellaan tarkastettavaksi seuraavat asiat:

- Tarkastetaan rakenteiden ja asennusalan soveltuvuus järjestelmän aiheuttamalle rasitukselle. Järjestelmän asennustelineiden ja alustan tulisi kestää hyväkuntoisena laitteiston koko elinkaaren ajan. On hyvä lisäksi varmistaa alustan, esimerkiksi kattorakenteen, takuuehtojen määrittämät vaatimukset takuun säilymiselle ennen järjestelmän asentamista. Varmistetaan myös, että asennusalan kanssa käytetään oikean tyyppisiä kiinnitysmenetelmiä ja asennusjärjestelmiä. [7.]
- Varmistetaan, että järjestelmän asennukselle on olemassa tarvittavat toimenpideluvat. Suomessa rakennusvalvonta ohjaa ja valvoo rakentamista sekä sen vaikutusta ympäristöön ja ympäröiviin alueisiin. Rakennusvalvonta myös päättää rakentamisen lupa-asioista. Mikäli kyseessä on erityinen suojeltu rakennus tai aurinkosähköjärjestelmän asennus aiheuttaa ympäröivälle alueelle erityistä ulkonäköhaittaa, kannattaa asennuksesta keskustella rakennusvalvonnan kanssa. Tavallisesti pienille katon myötäisille järjestelmille ei tarvitse erillistä toimenpidelupaa. [7.]

- Varmistetaan pelastusviranomaisten ohjeet ja vaatimukset järjestelmän asennukselle. Internetistä on ladattavissa ilmaiseksi Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston laatima aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje, jossa on kattavasti esitetty vaatimukset järjestelmän asennukselle paloturvallisuuden näkökulmasta. [7; 10.]
- Tarkastetaan aurinkosähköjärjestelmään liittyvät muut laitteistot ja järjestelmät, kuten energianvarastointijärjestelmät, älykkäät laitteistot ja turvallisuusjärjestelmät. Aurinkosähköjärjestelmään voi olla liitettynä myös muita vastaavia kokonaisuuksia. Näiden kohdalla on hyvä varmistaa, että kyseisten järjestelmien tarkastukset on hoidettu asianmukaisesti ja vaadittuja järjestelmäkohtaisia standardeja ja valmistajan ohjeita noudattaen. [7.]

4.1.2 Tasasähköosan tarkastukset

Tasasähköjärjestelmälle tulisi vähintään suorittaa seuraavat tarkastukset:

- Varmistetaan, että tasasähköjärjestelmä on suunniteltu ja asennettu standardien SFS 6000-7-712 ja IEC 62548 mukaisesti. Kyseiset standardit kattavat aurinkosähköjärjestelmien sähkökaapeloinnit, sähkötekniset suojalaitteet sekä kytkentä ja maadoitusjärjestelyt. Standardien soveltamisalaan eivät kuulu akustot, tehomuuntimet tai kuormat. Näiden osalta on seurattava kyseisille järjestelmille tarkoitettuja standardeja. [2, s. 17; 7.]
- Tarkastetaan järjestelmän komponenttien mitoitus. Kaikki järjestelmän komponentit tulee olla mitoitettu suurimman mahdollisen jännitteen ja virran mukaisesti. Tarkastelua varten paneeliston standardiolosuhteiden jännitteen ja virran arvot on muokattava maksimiarvoiksi. Maksimiarvot määräytyvät kertoimen mukaan, jossa huomioidaan lämpötilan ja säteilyn vaihtelut. [7.]
- Tarkastetaan järjestelmän suojausmenetelmä. Tasasähköosassa vaaditaan käytettäväksi kaksoiseristystä (tai vastaavaa vahvistettua eristystä) tai pienoisjännitettä (SELV tai PELV). Tasasähköpuolella vaihtosuuntaajan liittimiin saakka on käytettävä luokan II (tai vastaava eristys) sähkölaitteita ja johtojärjestelmiä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää pienoisjännitettä (SELV tai PELV). Pienoisjännitettä käytettäessä maksimijännite ei saa ylittää 120 V:a tasajännitettä. Lisäksi mikäli nimellisjännite ylittää 30 V:a tasajännitettä, on perussuojauksessa käytettävä SELV- tai PELV-piirejä. [6, s. 11.]
- Tarkastetaan, että laitteiston johtojärjestelmän ja liitosten asennukset ovat turvallisia. Johtojärjestelmän osalta on huolehdittava, että kaapelit on valittu ja asennettu siten, että oikosulun, maadoitusvian tai tulipalon mahdollisuus on minimoitu. Tyypillisesti tämän saavuttamiseksi käytetään kaapeleita, joissa on vahvennettu eristys, ja pidetään huoli, ettei kaapeleita ole asennettu suoraan palava-aineisille

pinnoille. Liitosten osalta on huolehdittava, että käytetään keskenään yhteensopivia tuotteita ja oikeita kiristysmomenteja. [6, s. 18; 7.]

- Varmistetaan kaikkien järjestelmän komponenttien ja kiinnikkeiden ulkoisten rasitusten, kuten tuulen, lumen, jään, lämpötilan, auringon säteilyn ja korroosion, kestävyys. Kaapeliin mitoituksessa tulisi ottaa huomioon vähintään 70 °C:n ympäristön lämpötila. [2, s. 17; 6, s. 18.]
- Järjestelmissä, joissa ei käytetä paneeliketjujen ylivirtasuojauksia, varmistetaan kaapeleiden virtamitoitukset. Mikäli rinnankytkettyjä paneeliketjuja on vain 1–2, ei ylivirtasuojauksia vaadita. Järjestelmissä, joissa rinnankytkettyjä paneeliketjuja on yli 2 kappaletta, kaapeleiden kuormitettavuuden täytyy olla suurempi kuin paneeliston suurin mahdollinen oikosulku- tai takavirta. [6, s. 13; 7.]
- Järjestelmissä, joissa käytetään ylivirtasuojauksia, varmistetaan ylivirtasuojalaitteiden soveltuvuus aurinkosähkökäyttöön ja mitoitus vastaamaan järjestelmän paikallisia olosuhteita [6, s. 12; 7].
- Varmistetaan, että huollon ja vaihtamisen mahdollistamiseksi on kulakin paneeliketjulla, osapaneelistolla ja vaihtosuuntaajalla erotuslaitteet. Erotuslaitteiden mitoituksessa tulee käyttää paneeliketjun suurimpia mahdollisia virran ja jännitteen arvoja. Tämän lisäksi erillisten tasasähkökytkimien lisäämistä täytyy pyrkiä poikkeustapauksia lukuun ottamatta välttämään. Tällainen poikkeustapaus voi pelastustoiminnan kannalta olla esimerkiksi, jos tasavirtapuolen kaapelit, joutuvat kulkemaan pitkiä matkoja rakennusten sisällä, eikä kaapeleita ole suojattu palonkestävällä koteloinnilla. [6, s. 22; 7.]
- Varmistetaan estodiodien riittävä mitoitus. Järjestelmissä, joissa käytetään estodiodeja, on niiden estosuuntainen jännite mitoitettava käyttäen jännitteen ja virran maksimiarvoja siten, että jännite on vähintään $2 \times U_{OC\ MAX}$ ja virta vähintään $1,1 \times I_{SC\ MAX}$. Tämän lisäksi estodiodien täytyy olla kytkettyinä sarjaan paneeliketjun kanssa. [6, s. 15; 7.]
- Tarkastetaan järjestelmän toiminnallinen maadoitus ja galvaaninen erotus. Toiminnallista potentiaalintasausta on käytettävä joidenkin aurinkosähköpaneelitekniikoiden kanssa liittämään jännitteiset osat maahan. On syytä tarkastaa ja noudattaa valmistajan ohjeita. [6, s. 24; 7.]
- Tarkastetaan, että järjestelmän eristystilan ja vikavirran valvonta on asennettu. Järjestelmään on asennettava erillinen eristystilan valvontalaite (IMD), tai vaihtoehtoisesti on käytettävä vaihtosuuntaajaa, jossa on eristystilan valvontalaite integroituna. Eristystilan valvontalaitteet on valittava standardien SFS-EN 61557-8 tai SFS-EN 61557-9 mukaisesti. [6, s. 11.]

4.1.3 Järjestelmän suojauksen tarkastukset

Järjestelmän suojaukselle tulisi vähintään suorittaa seuraavat tarkastukset:

- Tarkastetaan vikavirtasuojauksen tarpeellisuus. Vikavirtasuojaa käytettäessä on sen oltava B-tyyppiä. Poikkeuksena tähän on, jos valmistaja on ilmoittanut jonkun muun kuin B-tyypin vikavirtasuojan soveltuvuudesta tai järjestelmän vaihto- ja tasasähköpuolet on erotettu toisistaan vähintään yksinkertaisella erotuksella. [6, s. 19; 7.]
- Tarkastetaan järjestelmän salama- ja ylijännitesuojauksen saavuttamiseksi varmistetaan, että johdot on pidetty mahdollisimman lyhyinä ja silmukat mahdollisimman pieninä. Pitkien kaapeleiden kohdalla suojaus toteutetaan esimerkiksi erillisellä ylijännitesuojalaitteella tai mekaanisella suojalla. Lisäksi tasasähkökaapelit ja potentiaalintasausjohtimet olisi asennettava rinnakkain. [6, s. 18; 7.]
- Varmistetaan järjestelmän muiden metallisten osien potentiaalintasaus. Potentiaalintasaukseen tulee liittää johtavat asennustelineet, kaapelihyllyt sekä muut lähellä olevat johtavat osat ja mahdollisten luokan I sähkölaitteiden suojajohtimet. Vaadittu potentiaalintasausjohtimen poikkipinta-ala määräytyy paneeliston maksimijännitteen $U_{OC\ MAX}$ mukaan. Paneeliston maksimijännitteen ollessa alle 60 V potentiaalintasausta ei vaadita, mutta sitä suositellaan. Paneelistoissa, joissa maksimijännite on yli 60 V ja käytössä ei ole erillistä salamasuojajärjestelmää, potentiaalintasaukseen tulee käyttää vähintään 6 mm²:n kuparijohdinta. Jos käytössä on ulkoinen salamasuojajärjestelmä ja paneelien maksimijännite on yli 60 V, tulee potentiaalintasausjohtimena käyttää vähintään 16 mm²:n kuparijohdinta. Kaikki metalliosien liitokset tulee tehdä käyttäen asianmukaisia työkaluja ja liitostapoja. [6, s. 24; 7.]
- Arvioidaan tarve ylijännitesuojauksen toteuttamiselle. Lähtökohtaisesti ylijännitesuojaus on toteutettava taajama- ja maaseutu ympäristön kohteissa, joissa ylijännitteet voivat vahingoittaa ihmishenkiä tai vaikuttaa julkisiin, kaupallisiin tai teollisiin toimijoihin. Tästä voidaan kuitenkin poiketa erillisellä riskiarvioinnilla, jos osoitetaan, ettei ylijännitesuojauksen puuttuminen aiheuta yllä mainittuja riskejä. Ohjeet riskiarvioinnin suorittamiseen löytyvät Standardin SFS-EN 6000-7 kohdasta 712.443.102. Mikäli ylijännitesuojauksen toteuttamiseen päädytään, tulee tasasähköosa suojata. Tämän lisäksi tulee selvittää valmistajan ohjeista tarve myös vaihtosähköosan suojaamiselle. [6, s. 14; 7; 11, s. 11.]
- Tarkastetaan salamasuojajärjestelmän asettamat erityisvaatimukset. Tämä kohta huomioidaan vain, jos kohteessa on salamasuojajärjestelmä. Salamasuojajärjestelmä tulee huomioida potentiaalintasauksen, ylijännitesuojauksen sekä erotusetäisyyksien osalta. [6, s. 19; 7.]

4.1.4 Vaihtosähköosan tarkastukset

Vaihtosähköjärjestelmälle suoritetaan seuraavat tarkastukset:

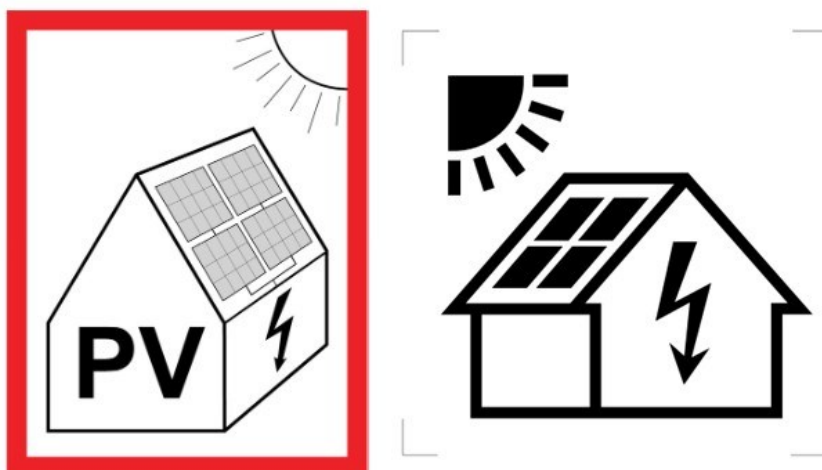
- Varmistetaan, että vaihtosähköosan käyttöönottotarkastukset on suoritettu standardin SFS 6000-6 mukaisesti. Käyttöönottotarkastuksiin kuuluvat sekä aistinvaraiset tarkastukset että mittalaittein suoritettavat testaukset, joiden tulokset kirjataan käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Laajemmista vaihtosähkökokonaisuuksista tulee luoda oma tarkastuslomake. Pienten järjestelmien yksittäiset testaukset voidaan kuitenkin usein kirjata samalle lomakkeelle tasasähköosan testausten kanssa. [7.]
- Tarkastetaan keskus, johon aurinkosähköjärjestelmä on liitetty. Keskuksen tarkastamiseen käytetään standardia SFS-EN 61439. Keskuksen osalta tulee varmistaa, että suojalaitteiden ja johdotuksen mitoitus on riittävä ja että keskus on soveltuva aurinkosähkökäyttöön. Aurinkosähköjärjestelmien kohdalla tulee kiinnittää erityistä huomiota, ettei keskuksen normaalin virransyötön ja aurinkosähköjärjestelmän syöttämän virran summa pääse ylikuormittamaan mitään osaa järjestelmästä. Aurinkosähköjärjestelmät voivat tuottaa suuria virtamääriä, jolloin tulee kiinnittää huomiota riittävän keskuksen jäähdytymisen varmistamiseen. [7.]
- Varmistetaan vaihtosähkösuuntaajan erotus. Tasasähköosan lisäksi täytyy vaihtosähkösuuntaaja voida erottaa myös vaihtosähköosasta huoltojen ja pelastustoiminnan varmistamiseksi. [6, s. 22; 7.]
- Varmistetaan erotus- ja kytkinlaitteiden napaisuus ja oikea asennus. Erotus- ja kytkinlaitteiden asennuksessa aurinkosähköjärjestelmän ja yleisen sähköverkon välille on varmistettava laitteen napaisuus, mikäli valmistaja on antanut sille vaaditut ohjeet. Kytkinlaite tulisi asentaa siten, että aurinkosähköjärjestelmään pidetään kuomana ja yleistä sähköverkkoa tehonlähteenä. [6, s. 22; 7.]
- Varmistetaan vaihtosuuntaajan toimintaparametrien asetukset. Vaihtosuuntaajan asetukset tulee olla säädetty paikallisen verkkoyhtiön yleistietolomakkeen ja verkkoon kytkettyjen laitteiden ohjeiden mukaisesti. [2, s. 19; 7.]

4.1.5 Merkinnät ja tunnistaminen

Järjestelmän merkinnöille ja tunnistamiselle on standardeissa asetettu erityisiä vaatimuksia. Järjestelmän merkintöjen osalta järjestelmän tulisi täyttää seuraavat vaatimukset:

- Järjestelmän kaikkien virtapiirien, suojalaitteiden, kytkimien ja liittimien tulee olla merkitty noudattaen standardisarjojen IEC 60364 ja IEC 62548 vaatimuksia [2, s. 19; 7].
- Tasasähköpuolen kaikki luokse päästävät jännitteiset osat, kuten sähkökeskukset ja liityntäkeskukset on merkittävä pysyvällä merkillä, joka ilmoittaa, että aurinkosähköjärjestelmän tasasähköosassa voi olla jännite erottamisen jälkeen [6, s. 16; 7].
- Vaihtosähköpuolen erotuskytkimen tulee olla selkeästi merkitty erillisellä merkillä [6, s. 16; 7].
- Aurinkosähköjärjestelmän osat kuten sähköasennusten liittymiskohta, erillään liittymiskohdasta oleva sähköenergian mittauspiste, vaihtosuuntaajasta syötettävä sähkökeskus ja muut mahdolliset liittymiskohdan ja liityntäkeskuksen väliset keskukset on merkittävä kuvan 4 mukaisella varoitusmerkillä. Merkki suositellaan asetettavaksi myös muille mahdollisesti käytettäville huoltoreiteille. Merkin tarkoituksena on varoittaa huolto- ja pelastushenkilökuntaa kohteessa sijaitsevasta aurinkosähköjärjestelmästä. [6, s. 16; 7.]
- Aurinkosähköjärjestelmästä on oltava saatavilla yksiviivainen kaapelointikaavio järjestelmän dokumenteissa [2, s. 19; 7].
- Aurinkosähköjärjestelmästä on löydyttävä käyttöohjeet, jotka sisältävät muun muassa ohjeet järjestelmän hätäpysäytykselle ja jännitteetöntömäksi tekemiselle. Ohjeiden on löydyttävä vaihtosuuntaajalta, pääkeskuksesta sekä liitetyltä jakokeskuksesta. [6, s. 17; 7.]
- Standardin IEC 62548 mukaisesti kaikkien merkkien ja kilpien on täytettävä standardien vaatimukset, oltava häviämättömiä, oltava luettavissa vähintään 80 cm:n etäisyydeltä, kestettävä rakenteeltaan ja kiinnitykseltään koko käyttöiän ja oltava helposti ymmärrettäviä [6, s. 16; 7].
- Aurinkosähköjärjestelmästä tulisi luoda tieto- ja kohdekortti pelastussuunnitelman alaisissa kohteissa. Myös muunlaisissa kohteissa kortin laatimista suositellaan. [7.]

Huolto- ja pelastushenkilökunnan turvallisuuden takaamiseksi on aurinkosähköjärjestelmän sisältävissä kohteissa käytettävä sähköasennuksen liittymiskohdassa, energian mittauspisteessä ja aurinkosähköjärjestelmästä syötetyssä sähkökeskuksessa toista kuvan 4 mukaisista varoitusmerkeistä [12].



Kuva 4. Aurinkosähköjärjestelmästä ilmoittava merkki [12].

4.2 Vaihtosähköosan testaukset

Tässä luvussa keskitytään aurinkosähköjärjestelmän vaihtosähköosalle suoritettaviin testauksiin. Kaikki järjestelmän vaihtosähköpiirit tulisi testata standardin SFS 6000-6 määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Testeissä käytettävien mittalaitteiden tulisi olla standardin SFS-EN 61557 mukaisia.

Seuraavissa testeissä mittausten suorittamiseen käytetään käyttöönottomittauksiin suunniteltua asennustesteriä. Lisäksi oletuksena pidetään, että mittalaitteiden käyttö on testien suorittajalle ennestään tuttua, joten mittalaitteiden käyttöön ei työssä anneta erillisiä ohjeita. Mikäli käytettävien mittalaitteiden käyttö ei vielä ole tuttua, kannattaa laitteen käyttöohjeisiin tutustua huolellisesti ennen mittausten aloittamista. Esimerkiksi yleisesti käyttöönottoihin käytettyihin Fluken asennustestereihin on internetistä ladattavissa suomenkieliset käyttöoppaat laitteen käyttämiseen. Käyttöoppaista on löydettävissä yksityiskohtaiset ohjeet laitteen käytölle sekä kytkin- ja liitinasetuksille eri mittauksia suoritettaessa.

4.2.1 Asennuksen eristysresistanssin mittaus

Ensimmäinen aurinkosähköjärjestelmän vaihtosähköpuolelle suoritettava testaus on asennuksen eristysvastuksen mittaus. Eristysvastuksen mittaus suoritetaan esimerkiksi asennustesterillä tai erillisellä eristysvastusmittarilla. Mittauksen tarkoituksena on varmistaa järjestelmän jännitteisten osien riittävä eristystason taso maahan nähden. Mittaus suoritetaan valmiille järjestelmälle ennen, kun laitteistoon kytketään jännite. Eristysvastuksen mittaus olisi syytä suorittaa ennen seuraavaa suojajohtimen jatkuvuuden mittausta. Tämä johtuu siitä, että joskus suojajohdin voi olla yhteydessä nollajohtimen tai jonkin vaihejohtimen kanssa, mikä paljastuu eristysvastusta mitatessa. [4, s. 9; 13.]

Eristysvastusmittaus suoritetaan jännitteisten johtimien ja maadoitusjärjestelmään liitettyjen suojajohtimien väliltä. Mittausta suoritettaessa voidaan jännitteiset johtimet kytkeä halutessa yhteen. TN-S-järjestelmissä nollajohdinta pidetään jännitteisenä. Sen sijaan TN-C-järjestelmissä PEN-johdin on osa maata ja mitausten ajaksi nolla- ja PE-johdin täytyy erottaa toisistaan. Mittauksen aikana täytyy laitteistossa olevien erottimien sekä katkaisimien olla kiinni ja sulakkeiden paikallaan luotettavien mittaustulosten varmistamiseksi. [4, s. 9; 13.]

Asennusten eristysresistanssin katsotaan olevan riittävän hyvä, jos taulukon 2 ehdot täyttyvät [4, s. 10].

Taulukko 2. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot [4, s. 10].

Virtapiirin jännitejärjestelmä tai nimellisjännite	Koejännite (tasajännite) V	Eristysresistanssin minimiarvo MΩ
SELV ja PELV	250	0,5
Enintään 500 V FELV mukaan luettuna	500	1
Yli 500 V	1000	1

Hyväksyttävä eristysresistanssin arvo riippuu taulukon 2 mukaisesti käytettävän koejännitteen arvosta. Yleisesti voidaan todeta, että järjestelmästä riippumatta yli 1 M Ω :n eristysresistanssin arvojen katsotaan olevan riittäviä. SELV- ja PELV-järjestelmissä käytettäessä 250 V:n koestusjännitettä voidaan kuitenkin vähintään 0,5 M Ω :n eristysresistanssin arvoa pitää vielä hyväksyttävänä. [4, s. 10.]

Usein eristysresistanssien arvot ovat huomattavasti suurempia kuin taulukossa 2 esitetyt minimiarvot. Eri piirien eristysresistanssien arvojen tulisi kuitenkin olla keskenään suurin piirtein toisiaan vastaavia. Mikäli eri piirien eristysresistanssien arvot poikkeavat toisistaan huomattavan paljon, tulee poikkeamien syy selvittää. [4, s. 10.]

4.2.2 Suojajohtimen jatkuvuus

Toinen vaihtosähköpuolelle suoritettava käyttöönottomittaus on suojajohtimen jatkuvuuden varmentaminen. Testauksen tarkoituksena on todeta mittaamalla suojamaadoitusjohtimien ja niiden välisten liitosten jatkuvuus. Mittaus suoritetaan jännitteettömälle järjestelmälle asennustesteriä käyttäen. Aurinkosähköjärjestelmän vaihtosähköosan puolella suojajohtimen jatkuvuus todetaan vaihtosuuntaajan ja syötettävän keskuksen väliltä. Mittausta varten asennustesterin yksi mittausjohdin asetetaan kiinni järjestelmän potentiaalintasauskiskoon ja toinen mittausjohdin vaihtosuuntaajan johtavaan runkoon. Asennustesteristä saatua mittausarvoa verrataan tämän jälkeen laskennalliseen kaapelin pituudesta aiheutuvaan resistanssin taulukkoarvoon. Taulukossa 3 on esitetty laskennallisen resistanssin arvoja eri poikkipinta-alan sähkökaapeleille. [4, s. 9; 13.]

Taulukko 3. Kuparijohtimien tyypillinen resistanssi R nimellisen poikkipinta-alan S mukaan [4, s. 18].

Nimellinen poikkipinta-ala S (mm ²)	Tyypillinen resistanssi R lämpötilassa 30°C (mΩ/m)
1,5	12,5755
2,5	7,5661
4	4,7392
6	3,1491
10	1,8811
16	1,1858
25	0,7525
35	0,5467
50	0,4043
70	0,2817
95	0,2047
120	0,1632
150	0,1341
185	0,1091

4.2.3 Vikapiirin impedanssin mittaus

Kolmantena ja viimeisenä mittauksena vaihtosähköpuolelle suoritetaan vikapiirin impedanssin mittaus. Mittauksen tarkoituksena on varmistua, että vikapiirin syntyessä suojalaitteet, kuten johdonsuojakatkaisijat, laukeavat ja toimivat riittävän nopeasti. Mittaus suoritetaan asennustesterillä vaiheen ja suojamaan väliltä. Asennustesteri mittaa vikapiirin impedanssin ja laskee tämän perusteella odotettavissa olevan vikapiirin oikosulkuvirran. Saatua vikavirran arvoa verrataan taulukon 4 arvoihin.

Taulukko 4. Suojalaitteiden toimintavirrat ja pienimmät hyväksyttävät mittaustulokset [14, s. 86].

Suojalaitteen nimellisvirta A	Suojalaitteiden toimintarajavirrat ja pienimmät hyväksyttävät mittaustulokset							
	gG-sulake 0,4 s A	Vaadittu mitattu arvo A	gG-sulake 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	Johdonsuojakatkaisijat			
					B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
6	46,5	58,2	28	35	30	37,5	60	75
10	82	102,5	46,5	58,2	50	62,5	100	125
16	110	137,5	65	81,3	80	100	160	200
20	145	181,3	85	106,3	100	125	200	250
25	180	225	110	137,5	125	156,3	250	312,5
32	270	337,5	150	187,5	160	200	320	400
50	470	587,5	250	312,5	250	312,5	500	625
63	550	687,5	320	400	315	393,8	630	787,5
80	840	1050	425	531,3	400	500	800	1000
125	1450	1812,5	715	893,8	625	781,3	1250	1562,5

Taulukosta 4 nähdään vaaditut vähimmäisvikavirran mittausarvot eri sulakkeille ja johdonsuojakatkaisimille.

4.3 Tasasähköosan testaukset

Seuraavaksi käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän tasasähköpuolelle suoritettavat testaukset. Yleisen ohjeen mukaan vaihtosähköosan testit tulisi suorittaa ennen tasasähköosan mittauksiin siirtymistä. Lisäksi testauksessa olisi hyvä noudattaa tässä luvussa esitettyä testausjärjestystä. [2, s. 21.]

4.3.1 Maadoituksen ja potentiaalintasauksen jatkuvuus

Mikäli tasasähköpuolelle on kytketty suojamaadoitus- tai potentiaalintasausjohtimia, on niiden sähköinen jatkuvuus varmistettava mittaamalla. Tämän lisäksi myös johtojärjestelmän läheisyydessä olevien muiden johtavien osien kytkennät ja sähköiset jatkuvuudet päämaadoituskiskolle saakka olisi syytä tarkastaa.

Testaukset suoritetaan mittaamalla johtavien osien jatkuvuus lähintä maadoitus- tai potentiaalintasauskiskoa vasten esimerkiksi asennustesteriä käyttäen. Mittaus tulisi suorittaa ainakin paneelien rungoilta, paneelien telineiltä ja mahdollisilta johtavilta hyllyiltä. [4, s. 9; 7.]

Potentiaalintasauksen ja suojamaadoituksen jatkuvuudelle ei ole virallisia standardin mukaisia raja-arvoja. Jatkuvuuden resistanssiarvoja voidaan kuitenkin verrata taulukon 3 arvoihin samoin kuin tehtiin vaihtosähköpuolen mittauksissa. Yleisen käsityksen mukaan yli 1 ohmin resistanssin arvot ovat heikkoja ja arvojen ollessa yli 2 ohmia olisi hyvä selvittää syy huonolle jatkuvuudelle. Mittausten jälkeen saadut suurimmat ja pienimmät jatkuvuuden arvot kirjataan käyttöönototarkastuspöytäkirjaan. [7.]

4.3.2 Napaisuuden testaus

Ennen kuin järjestelmän kytkimet suljetaan tai paneeliketjujen ylivirtasuojat asennetaan, on järjestelmälle ennen muita testejä tärkeää suorittaa paneeliketjujen napaisuuden testaus. Napaisuuden testauksen tarkoituksena on varmistaa henkilöturvallisuus ja välttää järjestelmän komponenttien vaurioituminen. [2, s. 23.]

Järjestelmissä, joissa paneelien suojaukset eivät ole vaihtosuuntaajiin integroituna, käytetään paneelien suojaukseen yleensä erillistä liitäntäkeskusta. Liitäntäkeskukseen tulevien paneeliketjujen kytkennät ja napaisuus tarkistetaan soveltuvia mittalaitteita käyttäen. Napaisuus voidaan tarkistaa esimerkiksi tavallisen yleismittarin avulla mittaamalla jännite yksitellen kaikkien jännitejohtimien ja maan väliltä. Mikäli tarkastettavia virtapiirejä on paljon, voi huolimattomuusvirheitä sattua herkästi. Tämän takia napaisuuden testaukseen suositellaan seuraavaksi esitettyä vaihtoehtoista menetelmää. [2, s. 23.]

Mittausmenetelmää varten tarvitaan jännitemittari, jonka toimita-alue on vähintään kaksi kertaa järjestelmän suurin jännite. Mittaus on suoritettava ennen kuin paneeliketjun varokkeet tai liittimet kytketään ensimmäistä kertaa. Mittaus aloitetaan valitsemalla jännitemittarista mittausalue, joka on vähintään

kaksinkertainen mitattavan järjestelmän suurimpaan jännitteeseen verrattuna. Seuraavaksi kaikki negatiiviset varokkeet tai liittimet asetetaan siten, että paneeliketjulla on yhteinen negatiivinen kisko. Mitään positiivisia liittimiä ei saa vielä kytkeä. Nyt mitataan ensimmäisen paneeliketjun avoimen piirin jännite positiivisesta negatiiviseen ja varmistetaan mittaustuloksen vastaavan odotettua tulosta. [2, s. 23.]

Jatketaan mittauksia seuraaviin paneeliketjuihin asettaen mittarin toinen johdin seuraavan paneeliketjun positiiviseen napaan ja käyttäen ensimmäisen mitatun paneeliketjun positiivista piiriä mittausten vertailutasona. Koska paneelit jakavat yhteisen negatiivisen vertailutason, tulisi mitattujen jännitteen arvojen pysyä lähellä nollaa. 15 V:n heilahtelua puoleen tai toiseen pidetään vielä hyväksyttävänä. Piirien vastakkaisnapaisuus ilmenee mittarissa helposti havaittavana kaksinkertaisena järjestelmän jännitteenä. Mittausten jälkeen tulokset merkitään käyttöönottotarkastusraporttiin. [2, s. 23.]

4.3.3 Paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittaaminen

Kolmantena testauksena tasasähköpuolella suoritetaan paneeliketjujen avoimen piirin jännitteen mittaaminen. Mittauksella todennetaan, että järjestelmän kaapeloinnit sekä kytkennät on tehty oikein ja että paneeleja on sarjaan kytkettynä oikea määrä. Odotettua mittaustulosta pienemmät jännitteet voivat tarkoittaa esimerkiksi virheellisesti kytkettyjä paneeleita, oikosulussa olevia ohitusdiodeja, huonoa eristystä ja siitä aiheutunutta vauriota tai vaikka veden pääsyä liitännäkoteloihin ja johtokanaviin. Liian suuren jännitteen arvot kielivät usein johtimien asennusvirheestä. [2, s. 24.]

Kaikkien paneeliketjujen avoimen piirin jännitteet tulisi mitata ennen ylivirtasuojalaitteiden asentamista tai kytkimien sulkemista. Mitattua avoimen piirin jännitteen arvoa verrataan odotettuun arvoon (vaihtelun toleranssi noin 5 %) käyttäen yhtä seuraavista menetelmistä:

- Odotettu arvo voidaan laskea paneelin datalehdestä tai paneelin tyyppin, lukumäärän ja lämpötilan huomioonottavasta yksityiskohtaisesta aurinkosähkömallista.
- Odotettu arvo voidaan laskea, kun mitataan jännitteen V_{oc} arvo yksittäisestä paneelista.
- Järjestelmissä, joissa on tasaiset säteilyolosuhteet ja monta keskenään samanlaista paneeliketjua, voidaan paneeliketjujen jännitteitä verrata keskenään.
- Mikäli järjestelmässä on monta samanlaista paneeliketjua, mutta säteilyolosuhteet eivät ole tasaiset, voidaan yhtä paneeliketjua pitää vertailupaneeliketjuna, jonka jännitteeseen muiden paneeliketjujen jännitteitä verrataan. [2, s. 24.]

Mittaukset tulee suorittaa erityistä huolellisuutta noudattaen, sillä järjestelmä on mittausten aikana jännitteinen. Mittaukset voidaan suorittaa esimerkiksi tavallisella jännitemittarilla, kunhan mittarin jännitteenkestoisuus on riittävän suuri. Mittausten jälkeen avoimen piirin jännite merkataan käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. [7.]

4.3.4 Paneeliketjun virran mittaus

Seuraavaksi järjestelmälle suoritetaan paneeliketjun virran mittaus. Virran mittaus suoritetaan paneelien toiminnan lisävarmennukseksi. Kun saadut mittaus tuloksen vastaavat odotettuja arvoja, voidaan näin varmistua, ettei asennusvaiheessa ole syntynyt asennusvirheitä. Tämän mittauksen tarkoituksena ei siis ole mitata järjestelmän suorituskykyä. Paneeliketjun virran mittaukseen on valittavana kaksi eri menetelmää, jotka ovat oikosulkutesti ja toiminnallinen testaus. Näistä menetelmistä käytettäväksi suositellaan ensisijaisesti oikosulkumenetelmää, jolloin saadaan karsittua vaihtosuuntaajan vaikutus mittaustulokseen. [2, s. 24; 7.]

Oikosulkutesti

Oikosulkutestin mittauksen aikana paneeliketju saatetaan oikosulkuun, joten testauksen aikana tulee noudattaa erityistä varovaisuutta. Oikosulun aikana paneeliketjun oikosulkuvirta mitataan käyttäen soveltuvaa mittalaitetta. Virta voidaan mitata esimerkiksi käyttäen tasajännitteelle soveltuvaa pihtivirtamittaria,

sarjaan piirin kanssa kytkettyä virtamittaria tai esimerkiksi asennustesteriä, jossa on oikosulkuvirran mittaustoiminto. Mitattava paneeliketju tulee pitää oikosulkuutilassa vain tarvittavan ajan, eikä oikosulkuutilannetta kannata pitää päällä pitkiä aikoja kerrallaan. [2, s. 24–25; 7.]

Mittauksia varten kaikki kytkinlaitteet tulee avata auki-asentoon ja varmistaa, että kaikki paneeliketjut on erotettu toisistaan. Mittaus suoritetaan vain yhdelle paneeliketjulle kerrallaan. Oikosulkuvirran mittauksia varten paneeliketjuun luodaan oikosulkuutilanne käyttäen yhtä seuraavista menetelmistä:

- Käytetään asennustesteriä tai muuta vastaavaa testilaitetta, jossa on oikosulkuvirran mittaustoiminto.
- Kytetään paneeliketjun virtapiiriin kuuluvaan kuomakytkimeen väliaikainen oikosulkukaapeli.
- Liitetään virtapiiriin tilapäinen kuormankytkentälaitte, joka on mitoitettu oikosulun muodostamiseksi. Käytetään siis niin sanottua oikosulkukytkintä. [2, s. 25.]

Mittausten suorittamisen jälkeen oikosulun poistamiseksi käytetään kuoman katkaisulaitetta ja varmistetaan, että virran arvo on nolla ennen kytkentöjen muuttamista [2, s. 26].

Toiminnallinen testi

Tilanteissa, joissa järjestelmä on päälle kytketyssä normaalitilassaan, kaikkien paneeliketjujen virta tulisi mitata. Mittaukset suoritetaan käyttämällä soveltuvaa pihtivirtamittaria ja mittaamalla paneeliketjukaapelin virta kultakin paneeliketjulta. Mitattuja arvoja verrataan tämän jälkeen odotettuihin arvoihin. Kohteissa, joissa käytössä on useita keskenään identtisiä paneeliketjuja ja säteilyolosuhteet ovat paneeliketjujen välillä samanlaiset, voidaan mitattuja virran arvoja vertailla keskenään. Arvojen vaihteluun käytetään usein 10 %:n toleranssia paneeliketjujen keskiarvosta. [2, s. 26.]

4.3.5 Toimintakokeet

Seuraavaksi järjestelmälle olisi suoritettava toiminnallisia testauksia, joiden avulla varmistetaan tärkeiden järjestelmän osien toiminta. Järjestelmän toiminnan kannalta suositellaan testattavan järjestelmään kuuluvat kytkin- ja ohjauslaitteet. Näiden kohdalla varmistetaan oikea asennus ja toiminta. Seuraavaksi suositellaan järjestelmän oikean toiminnan varmistamiseksi testattavan valmistajan ohjeiden mukaisesti kaikki järjestelmään kuuluvat vaihtosuuntaajat. Lisäksi kaikki pienjänniteverkon katkeamisesta aiheutuvat toiminnot tulee testata. Erityisesti on varmistettava, että aurinkosähköjärjestelmän tehonsyöttö verkkoon päin katkeaa heti pienjänniteverkon katkeamisen jälkeen. [2, s. 26; 7.]

4.3.6 Paneeliston eristysresistanssi

Viimeisenä tasasähköpuolelle suoritetaan paneeliston eristysresistanssin mittaust. Paneeliston eristysresistanssin mittaust eroaa vaihtosähköpuolella tehdystä mittauksesta siinä, ettei paneeleita voi erottaa ennen mittausten suorittamista. Paneelit ovat aina jännitteisenä päivänvalon aikaan ja mittausten suorittamisessa tulee noudattaa erityistä varovaisuutta. Ennen testien aloittamista on suositeltua varmistaa työskentelyn turvallisuus seuraavien toimenpiteiden avulla:

- Ulkopuolisten henkilöiden pääsy työskentelyalueelle tulee rajata.
- Mittausta suoritettaessa laitteiston metallipintoihin, paneelien tai laminaattien alapintoihin ja liittimiin ei saa koskea.
- Testikohteeseen kytkettyyn mittalaitteeseen vaikuttaa testattavan järjestelmän jännite. Testauksessa tulee siis käyttää mittalaitetta, jossa on automaattinen itsepurkausominaisuus.
- Mittausten suorittamiseen osallistuvien henkilöiden tulee käyttää soveltuvaa ja asianmukaista vaateusta. [2, s. 27–28.]

Mittaukset suoritetaan kaikille paneeliketjuille erikseen, ja tarvittaessa mittaukset on voitava suorittaa yksittäisille paneeleille. Paneeliketjujen eristysvastuksen mittaukseen on mahdollista käyttää kahta eri mittausmenetelmää. [2, s. 27; 7.]

Ensimmäisessä menetelmässä eristysvastuksen mittaaminen suoritetaan soveltuvaa mittaustilaa käyttäen paneeliston negatiivisen kohdan ja maan väliltä. Tämän jälkeen testaus toistetaan, mutta tällä kertaa mitataan eristysvastus paneeliston positiivisen kohdan ja maan väliltä. [2, s. 27.]

Toisessa testausmenetelmässä paneeliston eristysvastuksen mittaaminen suoritetaan maadoituksen sekä oikosuljetun paneeliston positiivisen ja negatiivisen navan väliltä. Napojen oikosulkemiseen käytetään tyypillisesti soveltuvaa oikosulkukytken luomiseen tarkoitettua laitetta. Tällaisella laitteella oikosuljenta saadaan suoritettua turvallisesti. Käytettävänä maadoituskytkentänä voidaan käyttää mitä tahansa maadoituskytkentää tai esimerkiksi maahan kytkettyä paneeliston runkoa. Mikäli mittauksen maadoituskytkentänä käytetään paneeliston runkoa, on syytä varmistaa, että paneeliston rungon ja maan välinen yhteys on jatkuva ja luotettava. [2, s. 27.]

Tilanteissa, joissa paneeliston runkoa ei ole esimerkiksi käytettyjen luokan II sähkölaitteiden takia kytketty maadoitukseen, voidaan käytettävä mittausmenetelmä valita kahdesta vaihtoehdosta. Voidaan joko suorittaa paneeliston kaapeloinnin ja maadoituksen välinen mittaaminen vaadittavine lisätesteineen tai voidaan suorittaa paneeliston ja rungon välisen kaapeloinnin mittaaminen. Mikäli paneelissa ei ole pääsyä johtaviin osiin, voidaan mittaaminen suorittaa rakennuksen maadoituksen ja paneeliston kaapeleiden väliltä. [2, s. 27.]

Ennen mittauksen aloittamista paneelisto erotetaan vaihtosuuntaajasta ja kaikki mittaukseen vaikuttavat laitteet erotetaan liitoksistaan tai liitänkeskuksesta. Tämän jälkeen mittaaminen suoritetaan sovellettavan mittausmenetelmän mukaisesti ja saatuja tuloksia verrataan taulukossa 5 esitettyihin eristysresistanssin pienimpiin sallittuihin arvoihin. [2, s. 27.]

Taulukko 5. Vaaditut eristysresistanssin arvot alle 10 kWp:n järjestelmissä [2, s. 28].

Järjestelmän mitoitusjännite $V_{oc} (STC) \times 1,25 V$	Testijännite V	Eristysresistanssin minimiarvo M Ω
< 120	250	0,5
120–500	500	1
> 500	1000	1

Taulukossa 5 on esitetty pienimmät sallitut eristysresistanssin arvot eri testijännitteillä alle 10 kWp:n aurinkosähköjärjestelmissä. Hyväksytyä tulosta varten kaikkien virtapiirien mitatun eristysresistanssin tulee olla vähintään taulukossa esitetyn minimiarvon verran. [2, s. 28.]

5 Kunnossapito

Vastuu sähkölaitteiston turvallisuudesta ja sen ylläpitämiseksi tarvittavasta kunnossapidosta kuuluu sähkölaitteiston haltijalle. Sähkölaitteiston haltijalla tarkoitetaan yleisesti laitteiston omistajaa, mutta monissa tapauksissa haltijana pidetään esimerkiksi asunnon vuokralaista. Haltijan on pidettävä huoli siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että laitteisto täyttää sähköturvallisuuslaissa esitetyt vaatimukset. Vikaantunut järjestelmä voi olla vaaraksi käyttäjälle itselleen tai ulkopuolisille henkilöille. Tämän takia viallinen laitteisto on viipymättä korjattava ammattitaitoisen urakoitsijan toimesta valmistajan ohjeiden mukaisesti. [10, s. 24.]

5.1 Sähkölaitteistoluokat ja kunnossapitovaatimukset

Luvussa käydään läpi eri sähkölaitteistoluokat ja niiltä vaaditut varmennus- sekä määräaikaistarkastukset ja kunnossapito-ohjelmat. Tämän jälkeen perehdytään tarkemmin aurinkosähköjärjestelmien kunnossapitoon.

5.1.1 Sähkölaitteistoluokat

Sähköturvallisuuslaissa 1135/2016 sähkölaitteistot jaetaan niiltä vaadittujen varmennus- ja määräaikaistarkastusten sekä kunnossapito-ohjelmien vaatimusten mukaan kolmeen eri luokkaan seuraavasti:

1) luokan 1 sähkölaitteisto:

- a) Sähkölaitteisto asuinrakennuksessa, jossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa;
- b) Muu kuin asuinrakennuksen sähkölaitteisto, jonka suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria ja joka ei kuulu luokkiin 2 tai 3.

2) luokan 2 sähkölaitteisto:

- c) Sähkölaitteisto, johon kuuluu yli 1000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon

kuuluu vain enintään 1000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja;

- d) Sähkölaitteisto, jonka liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1600 kilovolttiampeeria.

3) luokan 3 sähkölaitteisto:

- e) Verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muu vastaava sähköverkko. [1, § 44.]

5.1.2 Varmennustarkastus

Käyttöönottotarkastuksen jälkeen ennen sähkölaitteiston ottamista varsinaiseen käyttötarkoitukseensa, tai pian sen jälkeen, on laitteistolle suoritettava kolmannen osapuolen varmennustarkastus. Varmennustarkastuksen suorittaa valtuutettu tarkastaja tai valtuutettu laitos, ja tarkastuksesta on luovutettava sähkölaitteiston haltijalle tarkastustodistus sekä kiinnitettävä pääkeskukseen tarkastustarra. [1, § 46; 10, s. 23.]

Varmennustarkastus on käyttöönottotarkastuksen lisäksi tehtävä sähkölaitteistoluokille 1, 2 ja 3. Käytännössä tämä tarkoittaa, että varmennustarkastus tulee suorittaa kaikille paritaloa suuremmille asuinkehteille ja muille rakennuksille, joiden suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria. Velvoite koskee myös näiden rakennusten sähkölaitteistojen muutos- ja laajennustöitä, joissa muutosalueen ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria. Tämän virtarajan ylittyessä tällaiseksi muutostyöksi lasketaan esimerkiksi rakennuksen sähkölaitteistoon liitettävä aurinkosähköjärjestelmä. [1, § 45; 10, s. 23.]

5.1.3 Määräaikaistarkastus

Osalle sähkölaitteistoista on määrätty lakisääteiset määräaikaistarkastukset sähkölaitteistoluokituksen mukaan. Samoin kuin varmennustarkastusten kohdalla määräaikaistarkastuksen saa suorittaa vain Tukesin nimeämä valtuutettu

tarkastaja tai valtuutettu laitos. Määräaikaistarkastuksista huolehtiminen on laitteiston haltijan vastuulla. [10, s. 24.]

Määräaikaistarkastusten tarkastusväli määräytyy tarkastettavan laitteiston sähkölaiteluokan mukaan. Luokan 1 ja 2 laitteistoille asuinrakennuksia lukuun ottamatta tarkastusväli on 10 vuotta. Luokan 3 laitteistojen osalta tarkastusväli on 5 vuotta. Asuinrakennukset on jätetty määräaikaistarkastusten ulkopuolelle. Kuitenkin, jos asuinrakennuksen osana on liiketiloja tai muita pääasiallisesti muussa kuin asumistarkoituksessa olevia tiloja, joiden suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria, täytyy tällaisten tilojen sähkölaitteille suorittaa määräaikaistarkastus 10 vuoden välein. [1, § 49; 10, s. 24.]

Määräaikaistarkastusten tarkoituksena on varmistaa, että tarkastettavan sähkölaitteiston käyttö on turvallista ja laitteiston käyttöön ja huoltoon vaaditut asiakirjat ovat käytettävissä. Tämän lisäksi tarkastuksilla varmistetaan, että laitteistoon tehdyistä muutos- ja laajennustöistä on tarvittavat tarkastuspöytäkirjat ja ne ovat ajantasaiset. [1, § 50; 10, s. 24.]

5.1.4 Kunnossapito-ohjelma

Sähköturvallisuuslain mukaan laajemmille, luokan 2 ja 3, sähkölaitteistoille on laadittava sähköturvallisuutta ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Kunnossapito-ohjelman noudattaminen on sähkölaitteiston haltijan vastuulla. Muiden sähkölaitteistojen, kuten aurinkosähköjärjestelmien kohdalla, voidaan kunnossapito-ohjelma korvata laitteiden ja laitteistojen käyttö- ja huolto-ohjeilla sekä alan standardeilla. [1, § 48; 10, s. 24.]

5.2 Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapito

Riittävän ja oikein suunnitellun kunnossapidon varmistaminen on aurinkosähköjärjestelmien toiminnan kannalta tärkeää. Hyvin huollettuna aurinkosähköjärjestelmän käyttöikä voi olla jopa yli 20 vuotta. Tätä varten järjestelmälle on kuitenkin laadittava kattava kunnossapitosuunnitelma ja huolehdittava lisäksi tarvittavista ennakoivan sekä korjaavan kunnossapidon toimenpiteistä. [3, s. 6.]

Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon standardi on SFS-EN 62446-2:2020. Standardissa on esitetty vaatimukset ja suositukset aurinkosähköjärjestelmän kunnossapidolle. Tämän lisäksi standardista löytyy kattavasti tietoa aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon eri osa-alueista, tarpeellisista mittaustoimenpiteistä sekä erilaisista vianhaun menettelyistä. [3, s. 6.]

Seuraavaksi perehdytään aurinkosähköjärjestelmien kunnossapidon eri osa-alueisiin. Eri lähteistä riippuen osa-alueiden nimitykset voivat vaihdella jonkin verran, mutta pysyvät keskenään sisällöltään hyvin samanlaisina. Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapito jaetaan yleisesti kolmeen osaan, jotka ovat ehkäisevään kunnossapitoon liittyvät kunnossapitotarkastukset, älykkäillä laitteistoilla toteutettu ennakoiva kunnossapito sekä järjestelmän rikkoontuessa sovellettava korjaava kunnossapito. [3, s. 6.]

5.2.1 Kunnossapitotarkastukset

Kunnossapitotarkastukset ovat aurinkosähköjärjestelmän toiminnan kannalta tärkein osa-alue. Kunnossapitotarkastukset ovat osa ehkäisevää kunnossapitoa, jonka tarkoituksena on estää järjestelmää vikaantumasta ja välttää näin toimintakatkot sekä turhia huoltokäyntejä. Kunnossapitotarkastukset jaetaan käyttöönottotarkastusten tavoin aistinvaraisiin ja mittalaittein suoritettaviin tarkastuksiin. Tarkastukset suoritetaan ennalta suunniteltuina ajankohtina kunnossapitosuunnitelman mukaisesti.

Kunnossapitosuunnitelma tulisi tehdä jokaisesta aurinkosähköjärjestelmästä. Suunnitelmassa määritellään kunnossapitokäynnin aikana suoritettavat testit sekä tarkastukset ja niiden suoritusvälit. Tarkastusvälit vaihtelevat yleisesti yhdestä vuodesta viiteen vuoteen, mutta useimmat tarkastukset ovat vuosittain tehtäviä toimenpiteitä. Tämän takia järjestelmälle tulisi suorittaa kunnossapitotarkastus säännöllisesti joka vuosi. [3, s. 12–18; 15, s. 11.]

Seuraavaksi on esitetty säännöllisissä kunnossapitotarkastuksissa tehtävät aistinvaraiset tarkastukset sekä mittalaittein suoritettavat testaukset.

Aistinvaraiset tarkastukset järjestelmän kunnossapidossa ovat

- Asennusrakenteiden tarkastus. Varmistetaan, että järjestelmän asennusrakenteet kuten asennustelineet, asennusputket sekä kaapelihyllyt ovat ehjiä ja niissä ei näy merkkejä mekaanisista vaurioista. Erityisesti on hyvä etsiä merkkejä korroosiosta, epänormaalista kulumisesta, halkeiluista, veden tunkeutumisesta ja muista puutteista, jotka voivat heikentää rakenteiden turvallisuutta. Tarkistetaan, että rakenteiden kiinnitykset ovat kunnossa ja rakenteet ovat tukevia. Tarkastetaan koko aurinkosähköjärjestelmän yleinen puhtaus. Roskat, liiallinen kasvillisuus ja muu helposti syttyvä materiaali laitteiston läheisyydessä on paloturvallisuusriski. Esimerkiksi paneeliston alapuoli tulisi pitää puhtaana, eikä siellä saisi varastoida mitään. Myös merkkejä eläinten pesinnöistä on hyvä seurata. [3, s. 22–23.]
- Vaihtosuuntaajien tarkastus. Tarkastetaan vaihtosuuntaaja aistinvaraisesti ulko- ja sisäpuolelta. Vaihtosuuntaajan tulisi olla kiinnitetty tukevasti sekä olla yleisesti puhdas ja hyväkuntoinen. Etsitään merkkejä vaihtosuuntaajan vaurioista ja kulumisesta sekä muusta poikkeavasta, kuten veden tunkeutumisesta, jyrssiöistä, korroosiosta, halkeamista tai liiallisesta pölystä. Tarkistetaan vaihtosuuntaajan puhaltimet ja jäähdytyskanavat siten, ettei jäähdytyksen ilmapirtauksessa ole esteitä. [3, s. 19.]
- Liittimien ja johtojen tarkastus. Tarkistetaan, että järjestelmän sähköiset liitokset ja kontaktipinnat ovat puhtaita ja tukevasti kiinni. Etsitään merkkejä valokaarista johtuvista värin muutoksista, hiiltymistä tai komponenttien sulamisista. Tarkistetaan, ettei kaapelikenkien ja tiivisteiden välisessä momenttimerkissä ole poikkeamaa, muutoin kaapelikenkä on liikkunut ja tarvitsee uudelleen kiristystä. Tarkistetaan järjestelmien johtojen kunto liiallisten kulumien varalta. Tarkastetaan erityisesti johtimien eristeiden kunto kohdissa, joissa johtimet pääsevät hankaamaan teräviin kulmiin tai kiinnikkeisiin. Tarkistetaan myös, että johtimissa ei ole liian jyrkkiä taitoksia ja tarvittaessa vapautetaan taitokset. Johtimien tulisi olla hyväkuntoisia ja kiinnitetty siten, ettei vaurioon johtavaa roikkumista tai liikkumista esiinny. [3, s. 19–20.]
- Sähkömekaanisten osien tarkastus ja testaus. Järjestelmän sähkömekaanisten suojaus- ja ohjauskomponenttien, kuten katkaisimien, erottimien ja eristimien, kunto ja toiminta tulee tarkastaa. Komponentteja, kuten kytkimiä, tulisi liikutella, jotta kontaktipinnat pysyvät puhtaina. Tarvittaessa mekaanisia osia tulee rasvata valmistajan ohjeiden mukaisesti. Tärkeää on varmistaa myös hätäkatkaisun toiminta kunnossapitotarkastuksen yhteydessä. [3, s. 20.]
- Aurinkopaneelien tarkastus. Tarkastetaan aurinkopaneelien kunto ja puhtaus. Tarkistetaan, ettei paneeleissa ole halkeamia, vääristymiä, värinmuutoksia tai lasin pinnassa vaurioita. Tarkistetaan myös, että lasi on kiinni kehyksessä ja muut kiinnikkeet ovat paikallaan. Paneelien pinnan tulisi myös olla puhtaita roskista ja pölyistä sekä eläinten

jätöksistä. Aurinkopaneelien tarkastuksessa voidaan hyödyntää myös lämpökuvausta, jonka avulla voidaan havaita paneelin sisäisiä ongelmia epänormaaleina lämpötilaeroina. [3, s. 20–21.]

- Merkintöjen ja dokumenttien tarkastus. Kaikista järjestelmistä tulisi olla saatavilla standardien SFS-EN 62446-1 ja SFS-EN 62446-2 mukaiset dokumentit. Varmistetaan, että dokumentit ovat saatavilla ja ajan tasalla. Varmistetaan myös, että järjestelmissä on standardin SFS 6000-7-712 mukaiset merkinnät. [2, s. 13–16; 6, s. 16.]
- Sääasemien tarkastus. Mikäli käytössä on sääasema, varmistetaan sen anturien sijainti sekä asento. Antureiden tulisi lisäksi olla puhtaita liasta ja toimintakuntoisia. Anturit tulisi myös säännöllisesti vaihtaa ja kalibroida, jolloin varmistetaan tarkat mittaustulokset. [3, s. 23.]
- Varjojen arviointi. Kunnossapidon yhteydessä on hyvä arvioida varjojen vaikutusta järjestelmän suorituskykyyn. Kasvillisuuden ja puiden kasvaessa järjestelmän ympärillä voivat myös niiden aiheuttamat varjostusolosuhteet muuttua ajan kuluessa. On siis tärkeää arvioida paneeliston kohdistuvat varjostukset säännöllisin väliajoin uudestaan. [3, s. 23.]

Mittalaittein suoritettut testit toteutetaan samoin kuin käyttöönottotarkastusten yhteydessä esitettiin. Tämän takia suositellut kunnossapitotestit ovat seuraavaksi vain luetteloituna. Käyttöönoton yhteydessä kirjatut jännitteen ja virran mittaustulokset toimivat vertailukohtana kunnossapidon yhteydessä suoritetuille mittauksille. Näin saadaan seurattua järjestelmän suorituskykyä laitteiston elinkaaren aikana.

Kunnossapidon mittaukset:

- paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittaus
- paneeliketjun virran mittaus
- virta-jännitekäyrän määrittäminen
- paneeliston eristysresistanssin mittaus [3, s. 24–25].

5.2.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivalla kunnossapidolla tarkoitetaan automaattisiin etävalvontajärjestelmiin perustuvaa kunnossapitoa. Ennakoivassa kunnossapidossa hyödynnetään laitteiston avainkomponenteista kerättyä mittausdataa järjestelmässä piilevien

vikojen tunnistamiseen. Tätä varten aurinkosähköjärjestelmän on sisällettävä älykästä laitteistoa ja antureita, jotka mittaavat järjestelmän suorituskykyä koko laitteiston elinkaaren ajan. Erityinen vahvuus etävalvontalaittein suoritettussa kunnossapidossa on, että näin saadaan selville laitteiston suorituskyvyssä piileviä ongelmia ja trendejä, joita ei kunnossapitotarkastusten yhteydessä huomata. [15, s. 15; 16.]

Etävalvontajärjestelmän mittaamaa dataa käytetään tulevien vikojen ja niiden ajankohtien ennustamiseen. Näin tarvittavat huoltokäynnit saadaan ajoitettua oikein ennen arvioitua vika-aikaa, mutta vältetään ylimääräisiltä huoltokäynneiltä. Ennusteet antavat myös aikaa reagoida ja ajoittaa huollot siten, että niistä on mahdollisimman vähän haittaa. [17, s. 13.]

5.2.3 Korjaava kunnossapito

Kattavista kunnossapitotarkastuksista tai diagnostiikkaan perustuvasta ennakkoivasta kunnossapidosta huolimatta järjestelmät voivat rikkoontua tai niissä voi esiintyä vikatilanteita. Näissä tilanteissa tarvitaan korjaavan kunnossapidon menetelmiä. Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joiden tavoitteena on palauttaa vikaantunut järjestelmä tai järjestelmän osa takaisin toimintakuntoon.

Karkeasti korjaava kunnossapito voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäinen osa on vianetsintä. Vianetsinnän tavoitteena on vikatilanteen aiheuttaneen juurisyyn selvittäminen ja sen paikantaminen. Kun ongelman aiheuttava syy on saatu selvitettyä, voidaan aloittaa toimenpiteet vian korjaamiseksi. Tässä vaiheessa on tärkeää pohtia, onko vian esiintymistä mahdollista ehkäistä tulevaisuudessa. [3, s. 27.]

Korjaavaa kunnossapitoa voidaan tehdä säännöllisten kunnossapitotarkastusten yhteydessä tai ilman ennakkoon sovittua aikataulua. Korjauksen vasteaikaa vaikuttaa vian kriittisyys. Kaikkein nopeimman vasteajan aiheuttavat luonnollisesti ihmisten tai eläinten turvallisuutta vaarantavat viat. Tällaisia kriittisen turvallisuus- tai palovaaran aiheuttavia tilanteita varten jokaisesta

aurinkosähköjärjestelmästä on löydyttävä tarvittavat hätätilannemenettelyt ja ohjeet esimerkiksi järjestelmän turvalliseen sammuttamiseen. Vaarattomien vikojen kohdalla noudatettava vasteaika määräytyy tapauskohtaisesti. Esimerkiksi järjestelmän suorituskykyyn vaikuttavia ongelmia ei yleisesti katsota kiireellisiksi ja nämä voidaan usein hoitaa seuraavan ennalta sovitun huoltokäynnin yhteydessä. [3, s. 27; 15, s. 14–15.]

6 Yhteenveto

Insinööriyön aiheena oli aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto ja kunnossapito. Työssä perehdyttiin lukuisiin käyttöönottoa ja kunnossapitoa koskeviin lakeihin, standardeihin ja aihetta koskeviin artikkeleihin sekä teoksiin. Tavoitteena oli luoda aiheesta kattava opas käyttöönottoon ja kunnossapitoon osallistuvien alan ammattilaisten käyttöön.

Lopputuloksena syntyi laajasti sekä aiheen teoriaa että käytännön toimenpiteitä käsittelevä opas. Työssä tarkastuksia käsiteltiin riittävässä laajuudessa, jotta työtä on mielekästä hyödyntää itsenäisenä oppaana. Työssä suosittiin paljon luetelmia tärkeimpien asioiden kohdalla. Tämän ansiosta suoritettaviin tarkastuksiin sekä testauksiin tarvittavat toimenpiteet ovat helposti ja nopeasti hyödynnettävissä muodossa. Työtä voi esimerkiksi käyttää tukena käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastuksia tehdessä tai tarkastuslistana tarkastusten suorittamisen jälkeen.

On syytä pitää mielessä, että käyttöönoton ja kunnossapidon tarkastuksia saa suorittaa vain alan pätevoitetty ammattilainen. Lisäksi tulee huomioida, että tuorein käyttöönottoa ja kunnossapitoa koskeva tieto löytyy aina alan viimeisimmistä standardeista. Standardeista löytyy myös paljon insinööriyön ulkopuolelle jääneitä käyttöönoton ja kunnossapidon aihealueita, joihin suositellaan perehtymään ennen töiden aloittamista. Standardeista löytyy muun muassa laajemmin järjestelmien suunnitteluun sekä vianhakuun liittyvää tietoa, jotka jäivät suurelta osin insinööriyössä käsittelemättä.

Lähteet

- 1 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 1135/16.12.2016.
- 2 SFS-EN 62446-1:2016. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönototestit ja tarkastus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 3 SFS-EN IEC 62446-2:2020. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 2: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapito. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 4 SFS 6000-6:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 IEC 62548:2016:fi. Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 6 SFS 6000-7-712:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-712: Erikois-tilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönototarkastuspöytäkirja, täyttöohje. 2023. ST 55.36. Sähköinfo Oy.
- 8 Fluke SMFT-1000/KIT Aurinkoenergia-asennustesteripaketti. Verkkoaineisto. Festool Suomi Oy. <<https://www.tooloutlet.fi/product/115792/fluke-smft-1000kit-aurinkoenergia-asennustesteripaketti>>. Luettu 6.3.2024.
- 9 Fluke iRR1-SOL aurinkoenergiamittari. Verkkoaineisto. Festool Suomi Oy. <<https://www.tooloutlet.fi/product/55151/fluke-irr1-sol-aurinkoenergiamittari>>. Luettu 6.3.2024.
- 10 Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje. 2023. Verkkoaineisto. Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. <https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf>. 18.1.2023. Luettu 6.3.2024.
- 11 SFS 6000-4-44:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 12 Aurinkosähköjärjestelmät. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). <<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>>. Luettu 6.3.2024
- 13 Ahteensivu, Tuomas. 2018. Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto. Insinööriyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 Erkkilä, V.; Härkönen, P.; Kauppi, V.; Koivisto, P.; Piikkilä, V. & Tiainen, E. 2019. Sähkötekniisiä taulukoita. 5., uudistettu painos. E-kirja. Sähköinfo Oy.
- 15 Lindqvist, Aapo. 2022. Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapito. Insinööriyö. Metropolian Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Manninen, Jorma. 2023. Mitä on ennakoiva kunnossapito? Verkkoaineisto. Aneo Software Oy. <<https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mita-on-ennakoiva-kunnossapito>>. 12.3.2023. Luettu 6.3.2024.
- 17 Kokkonen, Janne. 2023. Sähköjärjestelmän kuntotarkastus ja kunnossapito-ohjelma. Insinööriyö. Oulun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.