



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuomas Ahteensivu

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tuomas Ahteensivu
Opinnäytetyön nimi	Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	42
Ohjaaja	Tapani Esala

Tämän opinnäytetyön aiheena on aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastukset. Tavoitteena on koota yhteen standardien ja vaatimusten mukaiset ohjeet tarkastusten toteuttamiseen.

Opinnäytetyön keskiössä ovat Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n julkaisemat aurinkosähköjärjestelmiin liittyvät standardit. Työssä hyödynnetään tietokoneavusteista suunnitteluohjelmaa, CADS, esimerkkien luomiseen.

Työn avulla saatiin selkeä ja ennenkaikkea yhteenkoottu ohje aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastuksista, sekä viranomaisten vaatimuksista turvallisuuteen liittyen.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikka

ABSTRACT

Author	Tuomas Ahteensivu
Title	Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotto
Year	2018
Language	Finnish
Pages	42
Name of Supervisor	Tapani Esala

The subject of this thesis is the commissioning of solar photovoltaic systems. The goal is to compile the standards and requirements for carrying out commissioning. The requirements and provisions for photovoltaic systems are currently scattered in several different standards, which naturally causes confusion when designing and commissioning these systems

At the focal point of this thesis are the standards which address PV systems published by Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. The work utilizes computer-aided design program, CADs, for creating examples.

The thesis allows to create a clear, and above all, a concentrated guide to the commissioning of photovoltaic systems and demands of authorities regarding safety.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYSESITTELY	8
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	9
	3.1 Pääkomponentit.....	9
	3.2 Turvallisuus.....	10
4	KÄYTETTÄVÄT STANDARDIT	13
	4.1 SFS 6000-7-712	13
	4.2 SFS-EN 62446-1:2016.....	13
	4.3 IEC 62548:2016	13
	4.4 SFS 6000-6:2017	14
5	KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUS.....	15
	5.1 Aistinvarainen tarkastus.....	16
	5.1.1 Yleistä	17
	5.1.2 Merkinnät ja tunnistaminen.....	17
	5.2 Testaus	19
	5.2.1 SFS-EN 62446-1 -standardin määrittelemät kategoriat ja täydentävät testit	19
6	KATEGORIAN 1 TESTAUSMENETELMÄT	20
	6.1 Vaihtosähköosan testit	20
	6.2 Tasasähköpuolen mittaukset	23
	6.2.1 Suojajohtimen jatkuvuus.....	23
	6.2.2 Napaisuuden ja paneeliketjun liitännäkeskuksen testaus.....	23
	6.2.3 Paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittaus V_{oc}	24
	6.2.4 Paneeliketjun virranmittaus.....	25
	6.2.5 Toiminnalliset testit.....	27
	6.2.6 Aurinkosähköpaneeliston eristysvastusmittaus.....	27

7	KATEGORIAN 2 TESTIMENETELMÄT	31
7.1	Virta-jännite-käyrän määrittäminen	31
7.1.1	Poikkeamat	32
7.2	Paneeliston tutkiminen lämpökameralla	33
7.2.1	Lämpökuvauksen tulosten tulkinta – kuumat ja kylmät kohdat .	33
7.3	Järjestelmän tiedot ja dokumentointi	34
7.4	Täydentävät testit	34
7.4.1	Jännite maahan nähden – Resistanssin kautta maadoitetut järjestelmät	34
7.4.2	Estodioditesti	35
7.4.3	Eristysvastuksen mittaus märissä olosuhteissa	35
8	YLEISIMMÄT VIAT JA RISKITEKIJÄT	37
9	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	39

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Esimerkki aurinkosähköpaneeliketjuista	11
Kuva 2. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän pääkaaviosta ja maadoituksesta	13
Kuva 3. Käyttöönottopöytäkirja	16
Kuva 4. Merkki aurinkosähköjärjestelmästä	18
Taulukko 1. Kupari- ja alumiinijohtimien resistiivisyysarvoja	21
Taulukko 2. Eristysvastusmittauksen pienimmät sallitut arvot	22
Taulukko 3. Suojalaitteiden raja-arvoja.....	23
Taulukko 4. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot	29
Taulukko 5. Normaalin toiminnan I-V- ja tehokäyrä	32

1 JOHDANTO

Kohoava energiantarve on kasvattanut kiinnostusta uusiutuvaan, itsetuotettuun energiaan monen yrityksen ja yksityishenkilön kohdalla. Aiemmin korkean hinnan vuoksi vieroksuttujen aurinkosähköjärjestelmien käyttö on BloombergNEFin mukaan lisääntynyt kansainvälisesti vuonna 2007 tuotetusta 8 gigawatista vuonna 2017 tuotettuun 401,5 gigawattiin. Suomen osuus tästä vuonna 2017 oli 61 megawattia. /4/

Aurinkovoiman yleistyessä tarvitaan määräykset ja standardit järjestelmien turvallisuuden ja toiminnallisuuden takaamiseksi. Uusia standardeja julkaistaan lähes vuosittain ja luonnollisesti uudet standardit kumoavat vanhoja määräyksiä. Tämä aiheuttaa sekaannuksia osan määräysten pysyessä samoina ja osan muuttuessa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi vaasalainen Ampner Oy. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda selkeät ja kootut ohjeet aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottoon. Työtä tehdessä perehdyttiin voimassa oleviin standardeihin ja määräyksiin sekä viranomaisten vaatimuksiin. Opinnäytetyön ohjaajana toimi Tapani Esala ja valvojana Arto Mäkynen.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Ampner Oy

Ampner Oy on vuonna 2012 perustettu vaasalainen yritys, joka työllistää tällä hetkellä noin 40 henkilöä. Yrityksen päätoimialana toimii sähkötekniinen suunnittelu. Ampner Oy tarjoaa tuotteita ja palveluita voimalaitoksien verkkoon liittämiseen kuten tehonmuokkaimen suunnittelupalveluita, verkkovaatimustarkasteluita, simuloiteja, suorituskykyanalyysijä, sekä verkostolaskentaa. Toisena kasvavana osana yrityksen toimialaa on uusiutuvaan energiaan liittyvät hankkeet, kuten aurinko-, tuuli- ja aaltovoima.

Vuonna 2015 Ampner Oy osti vaasalaisen teollisuuden testausjärjestelmiä suunnittelevan ja valmistavan Testcom Oy:n. Tytäryhtiö valmistaa asiakkaiden tarpeiden mukaan räätälöityjä teollisuuselektroniikan testausjärjestelmiä.

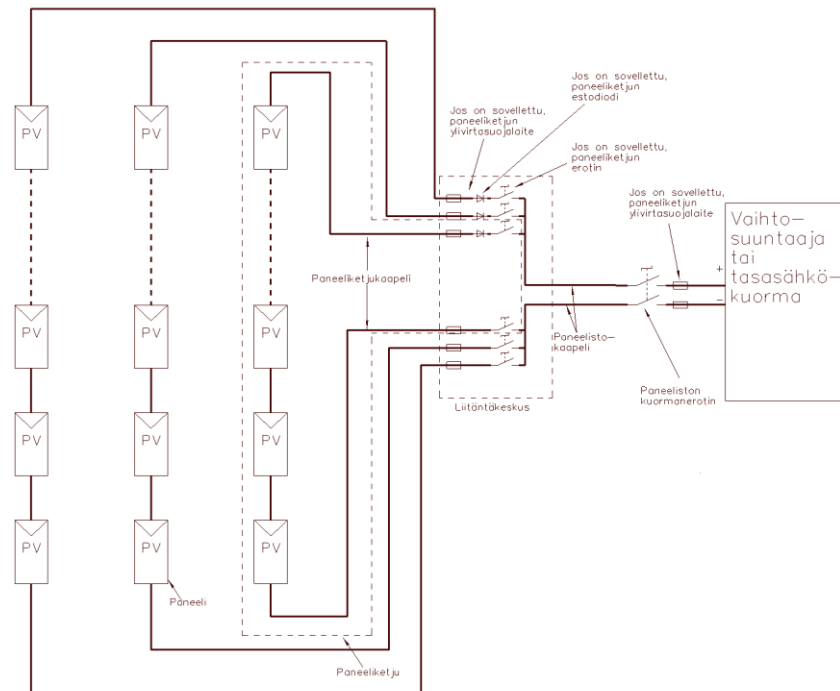
3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

3.1 Pääkomponentit

Yksinkertaisimmillaan jakeluverkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkokennosta, tai tuttavallisemmin aurinkopaneelista ja vaihtosuuntaajasta, jonka avulla aurinkopaneelin tuottama tasajännite muutetaan vaihtojännitteeksi.

Vaihtosuuntaaja tulee kuitenkin pystyä erottamaan sekä DC-puolella aurinkopaneelistosta että AC-puolella syötettävästä keskuksesta. Syitä vaihtosuuntaajan erottamiseen ovat esimerkiksi huoltotoimenpiteet sekä vikatilanteet. Tapauksissa, joissa järjestelmän suojauksia ei ole toteutettu vaihtosuuntaajassa, on suojaus toteutettu liitäntäkeskuksella, joka sijaitsee paneeliston ja sen kuormanerotin välissä. Liitäntäkeskukset myös mahdollistavat huomattavasti pienemmät kaapelimäärät, sillä paneeliston kaapelit voidaan liitäntäkeskukselta jatkaa kuormanerotinelle ja siitä edelleen vaihtosuuntaajalle yhteisillä kaapeleilla. /2/

Tässä opinnäytetyössä käytetään esimerkkeinä mikrotuotantoa suurempia kohteita. Mikrotuotannon tehorajana on tyypillisesti pidetty 100kVA:a. Kuvassa 1 esimerkki aurinkosähköjärjestelmästä.



Kuva 1. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmästä.

3.2 Turvallisuus

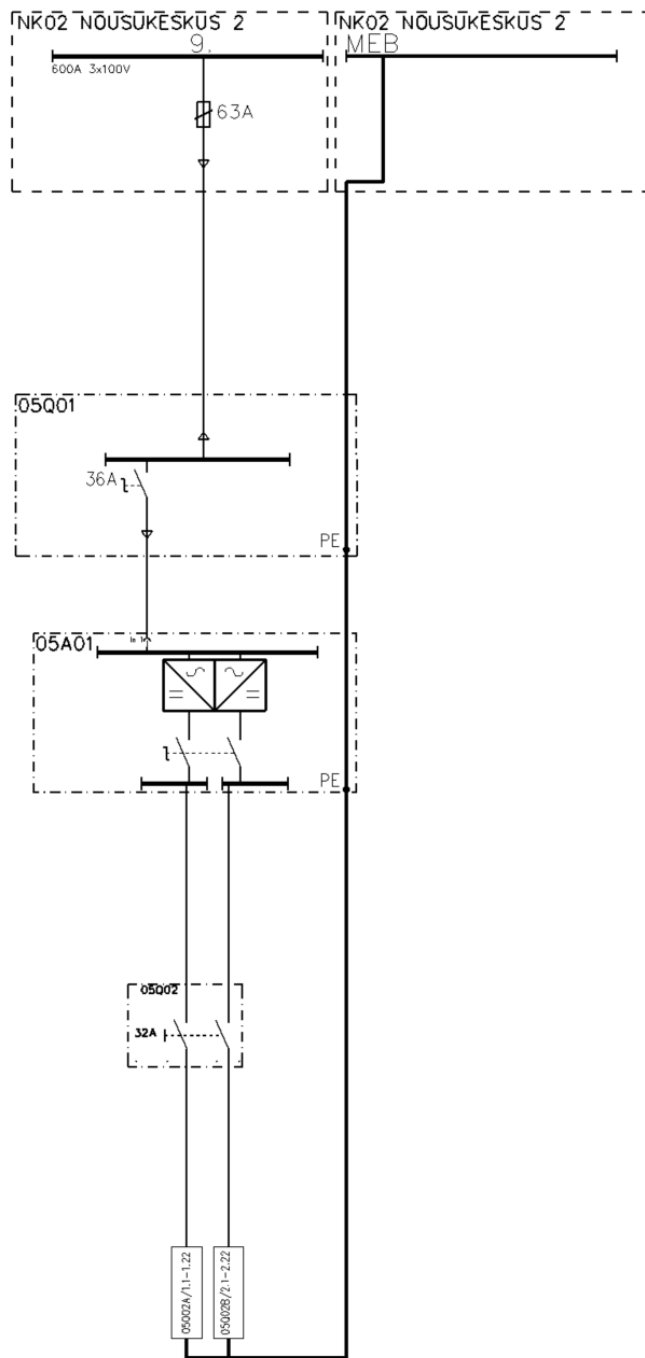
Aurinkosähköpaneeli tuottaa sähköä aina auringon paistaessa, joten tasasähköosan laitteistoa on käsiteltävä jännitteisenä järjestelmänä, vaikka vaihtosähköosa olisi erotettu sähkönjakeluverkosta, tai vaihtosuuntaaja tasasähköosasta. Tämä on suurin ero turvallisuudessa perinteisiin sähköntuotantojärjestelmiin ja tästä johtuen aurinkosähköjärjestelmiä käsiteltäessä on käytettävä äärimmäistä varovaisuutta. Järjestelmän nimellisjännitteen ollessa suurempi kuin 30 VDC, on perussuojaus toteutettava käyttämällä SELV- tai PELV-virtapiirejä. Järjestelmän ollessa yli kahden paneeliketjun suuruinen, on suojalaitteiden mitoituksessa toteuduttava ehto:

$$1,35 * I_{MOD_MAX_OCPR} < (N_S-1) * I_{SC_MAX}, \text{ jossa } I_{MOD_MAX_OCPR} \quad (1)$$

on aurinkosähköpaneelin mitoitettu suurin ylivirtasuoja, N_s on paneeliketjujen määrä ja $I_{SC\ MAX}$ suurin oikosulkuvirta. /2/

Järjestelmän kaapelit tulee mitoittaa standardin SFS-EN 62446-1 mukaan riippuen siitä, onko kyseessä ylivirtasuojalaitteella varustettu järjestelmä, vai ei. /1/

Kuvassa 2 on esimerkki aurinkosähköjärjestelmän pääkaaviosta ja suojamaadoituksesta.



Kuva 2. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän pääkaaviosta ja maadoituksesta.

4 KÄYTETTÄVÄT STANDARDIT

4.1 SFS 6000-7-712

”Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-712: erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät” on SFS 6000 standardisarjan osa, joka käsittelee aurinkosähkögeneraattorin sähköasennuksia. Kyseisen standardin vaatimukset koskevat aurinkosähköjärjestelmiä, joita ei ole liitetty yleiseen sähköjakeluverkkoon, yleisen sähköjakeluverkon kanssa rinnan syöttäviä aurinkosähköjärjestelmiä, sähköjakeluverkon kanssa vaihtoehtoisesti syöttäviä aurinkosähköjärjestelmiä ja edellä mainituista koostuvaa tarkoituksenmukaisia yhdistelmiä. Standardi on vahvistettu 18.08.2017, julkaistu 22.08.2017 ja se korvaa julkaisun: SFS6000-7-712 (2012).

4.2 SFS-EN 62446-1:2016

”Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottotestit ja tarkastus” -standardi koskee nimensä mukaisesti sähköverkkoon kytkettyjä järjestelmiä. Kyseisessä standardissa on esitetty käyttöönottotestit ja tarkastuskriteerit, sekä niistä laadittavat dokumentit. Standardi on vahvistettu 22.04.2016, julkaistu 30.08.2016 ja se korvaa julkaisun: SFS-EN 62446 (2010).

Huomionarvoista kyseisessä julkaisussa on, ettei se ota kantaa hybridi- tai energiavarastoja sisältäviin järjestelmiin.

4.3 IEC 62548:2016

Standardi on julkaistu 28.09.2016 englanniksi/ranskaksi ja 01.05.2018 suomeksi. Julkaisussa asetetaan vaatimukset järjestelmissä käytettäville aurinkosähköpaneelille, johdoille, suojalaitteille, kytkimille ja maadoituksille. Akkuja standardi ei käsittele lainkaan ja vaihtosuuntaajia vain turvallisuusnäkökulmasta.

4.4 SFS 6000-6:2017

”Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset” on SFS 6000 -standardin osa, joka esittää vaatimukset sähköasennusten käyttöönottotarkastuksille ja säännöllisin väliajoin tehtäville kunnossapitotarkastuksille.

5 KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUS

Sähkölaitteisto saadaan ottaa käyttöön vasta, kun käyttöönottotarkastuksessa on riittävässä laajuudessa selvitetty, että siitä ei aiheudu sähköturvallisuuslain 6 §:ssa tarkoitettua vaaraa, tai häiriötä. Käyttöönottotarkastus on tehtävä myös sähkölaitteiston muutos- ja laajennustöille. Sähkölaitteiston rakentajan tulee huolehtia sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksesta. Jos rakentaja laiminlyö velvollisuutensa, tai on estynyt huolehtimaan niistä, tulee sähkölaitteiston haltijan huolehtia tarkastuksesta. Sähkölaitteiston rakentajan tulee laatia käyttöönottotarkastuksesta sähkölaitteiston haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja vähäisiksi katsottavia töitä lukuun ottamatta. Näissäkin tapauksissa on sähkölaitteiston testausten tulokset kuitenkin tarvittaessa annettava laitteiston haltijalle. Valtioneuvoston asetuksella säädetään tarkemmin käyttöönottotarkastuspöytäkirjan sisällöstä, sekä niistä vähäisiksi katsottavista töistä, joista pöytäkirjaa ei tarvitse tehdä. /1/

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastuksissa noudatetaan standardien SFS 6000-6:n, sekä SFS-EN 62446-1:n määrittelemiä tarkastuksia. /1,2/

SFS-EN 62446-1 koskee sähköverkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä, joita käytetään esimerkkeinä tässä opinnäytetyössä. Verkkoon liittymättömät järjestelmät, niin kutsutut saarekekäyttöiset järjestelmät, ovat enemmän kesämökeille tai vastaaviin asennettavia järjestelmiä. Saarekekäytölle ei varsinaisesti ole asetettu mitään rajaa, mutta tyypillisesti kyseiset järjestelmät ovat muutaman kilowatin tehoisia, eli yleisesti teholtaan pienempiä kuin verkkoon liitetyt järjestelmät. /2/

Käyttöönottotarkastuksen tulokset merkitään käyttöönottopöytäkirjaan. Kuvassa 3 on käyttöönottopöytäkirja.



Käyttöönottopöytäkirja

Aurinkosähköpaneeliston testiraportti		<input type="checkbox"/> Käyttöönottotarkastus								
		<input type="checkbox"/> Määräaikaistarkastus								
Laitteiston osoite		Viite								
		Päivämäärä								
Kuvaus testattavasta laitteistosta		Tarkastaja								
		Testilaitte								
Paneelikehys	Paneelikehys									<i>n</i>
	Aurinkosähköpaneeli									
	Lukomäärä									
Paneelikehysparametri	V _{OC} (V)									
	I _{SC} (A)									
Paneelikehysylivirtasuojalaite	Tyyppi									
	Minonius (A)									
	Tasavirtaommuutus (V)									
	Kapasiteetti (kA)									
Paneelikehyskaapeloitu	Tyyppi									
	Kangonpituus (mm)									
	Määrä (mm)									
Paneelikehystestaus	V _{OC} (V)									
	I _{SC} (A)									
	Säätö									
Napaisuuden tarkastus										
Paneeliston eroresistanssi	Testijännite (V)									
	Z _{ommuutus} - Max (MΩ)									
	Negatiivinen - Max (MΩ)									
Maadoituksen jatkuvuus										
Paneeliston erotin	Minonius (A)									
	Minonius (V)									
	Säätö									
	Yksivaiheinen tarkastus									
Vaihtovirtajännite										
	Sarjanumero									
	Toimitus Oki									

Kuva 3. Käyttöönottopöytäkirja.

5.1 Aistinvarainen tarkastus

Yleisiä asioita koskien aistinvaraista tarkastusta ja itse aistinvaraisen tarkastuksen sisältämät tarkastukset.

5.1.1 Yleistä

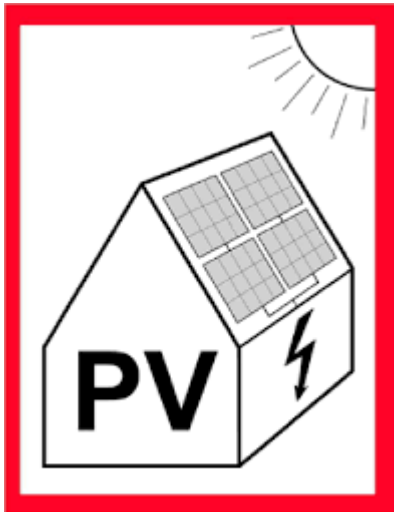
Aistinvarainen tarkastus on suoritettava ennen järjestelmän varsinaista testausta ja normaalisti se tehdään ennen kuin sähköt kytketään asennukseen. Aurinkosähköjärjestelmien aistinvaraisessa tarkastuksessa noudatetaan standardin IEC 60364-6 vaatimuksia. /2/

Eri järjestelmille tehtävät aistinvaraiset tarkastukset ovat pääpiirteiltään hyvin samankaltaisia. Niissä tarkastetaan päällisin puolin asennuksen osana olevien sähkölaitteiden olevan asianmukaisten laitestandardien turvallisuusvaatimusten mukaiset, sekä SFS 6000-standardin vaatimukset täyttäviä, eivätkä ole vaaraa aiheuttavalla tavalla näkyvästi vaurioituneita. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että komponentit, kaapelit ja asennustarvikkeet on mitoitettu oikein, ovat IP-luokituksestaan asennuskohteeseen sopivat, ovat oikeaoppisesti asennettu ja kiinnitetty, sekä täyttävät niitä koskevien standardien vaatimukset. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmien kaikki virtapiirit, suojalaitteet, kytkimet ja liittimet tulee olla standardisarjan IEC 60364 ja IEC TS 62548:2013 mukaisesti merkitty. /2/

SFS-EN 62446-1 käy hyvin perusteellisesti läpi niin aurinkosähköjärjestelmien tasasähköpuolen kuin vaihtosähköpuolen aistinvaraiset tarkastukset.

5.1.2 Merkinnät ja tunnistaminen

Kuvassa 4 esitetty merkki tulee olla esitettynä aurinkosähköjärjestelmien sähköasennuksen liittymiskohdassa, sähköenergian mittauskohdassa, jos tämä on erillään liittymiskohdasta, sekä sähkökeskuksessa, jota vaihtosuuntaajalla syötetään. Tämän lisäksi aurinkosähköjärjestelmän virtapiirit, suojalaitteet, kytkimet ja liittimet tulee nimetä ja merkitä. Merkintöjen tulee olla näkyvällä paikalla ja näiden merkintöjen tulee esiintyä yksiviivaisessa järjestelmäkaaviossa, jonka on oltava esillä. /2/



Kuva 4. Merkki aurinkosähköjärjestelmästä.

Tasasähkökytkentäkotelot on merkittävä varoitusmerkinnällä. Merkinnästä on käytävä ilmi, että kotelon sisällä olevia aktiivisia osia syötetään aurinkosähköpaneelistosta ja ne voivat olla jännitteisiä vielä järjestelmän vaihtosuuntaajan sähkönjakeluverkosta erottamisen jälkeen. /2/

Kaikissa vaihtosuuntaajissa tulee olla merkintä, joka opastaa vaihtosuuntaajan erottamisesta tasa- ja vaihtosähköosasta ennen huoltotoimenpiteitä. /2/

Vaihtosähköpuolen erotuskytkin tulee olla selkeästi merkitty ja kaksoissyötön varoituskilvet kiinnitetty järjestelmän liitoskohtiin. Urakoitsijan tiedot tulee olla esitettynä asennuskohteessa, pysäytystoimenpiteet esitettynä asennuskohteessa ja kaikkien tunnusten ja kilpien täytyy olla kiinnitettynä käyttöä kestäväällä tavalla. /2/

Erityisen tärkeää laitteiden merkitsemisessä ja tunnistettavuudessa on, että käyttäjä kykenee vikatilaneessa nopeasti ja turvallisesti pysäyttämään ja erottamaan järjestelmän.

5.2 Testaus

5.2.1 SFS-EN 62446-1 määrittelemät kategoriat ja täydentävät testit

Aurinkosähköjärjestelmään sovellettavan testiryhmän tulee soveltua kyseessä olevan laitteiston laajuuteen, sijaintiin ja monimutkaisuuteen. Toisin sanoen aurinkosähköjärjestelmät on jaettu kolmeen eri testiryhmään, joista kategorian 1 testit pitävät sisällään vähimmäisvaatimukset ja on testisarja, jota on sovellettava kaikissa järjestelmissä. Kategorian 2 testit ovat osa laajennettua testisarjaa. Nämä testit tehdään sillä edellytyksellä, että järjestelmä on läpäissyt kategorian 1 testit. Kolmas kategoria on nimeltään täydentävät testit ja niitä vaaditaan vain erikoistapauksissa. /2/

6 KATEGORIAN 1 TESTAUSMENETELMÄT

Kategorian 1 testiryhmä pitää sisällään testit, jotka vähintäänkin oletetaan sovellettavan kaikissa järjestelmissä riippumatta järjestelmän laajuudesta, tyypistä, sijainnista tai monimutkaisuudesta. Täten se pätee kaikkiin aurinkosähköjärjestelmiin. /2/

Näiden testien täytyy huomioida laitteiston vaihto- ja tasasähköpuolet. Yleisenä ohjeena vaihtosähkötestit tulisi saattaa valmiiksi ennen tasasähköpuolen testaamista. /2/

6.1 Vaihtosähköosan testit

Kaikki vaihtosähköpiirit on testattava IEC 60364-6 vaatimusten mukaisesti. Kyseinen teos on saatavilla ainoastaan englannin-/ranskan- ja espanjankielisenä. Suomessa käyttöönottotarkastuksiin ottaa kantaa SFS 6000-6 -standardi, joka perustuu standardiin IEC 60364-6. Vaihtosähköosasta laaditaan erikseen SFS 6000-6 -standardin mukainen käyttöönottopöytäkirja. /1/

Ensimmäinen käyttöönottomittaus on jännitteetömänä suoritettava suojajohtimen jatkuvuuden tarkastaminen. Suojamaadoitusjohtimien ja niiden liitosten johtavien osien jatkuvuus on testattava mittaamalla. Mittaus suoritetaan asennustesterillä, joka on SFS-EN 61557 mukainen testilaitte. Aurinkosähköjärjestelmissä suojajohtimen jatkuvuus vaihtosähköpuolella mitataan vaihtosuuntaajan ja syötettävän keskuksen väliltä: mittarin toinen mittajohdin kiinni potentiaalintauskiskossa ja toinen invertterin rungossa. Mitattua arvoa verrataan laskennalliseen kaapelin pituudesta syntyvään resistanssiin. /1/

Taulukko 1. Kupari- ja alumiinijohtimien resistiivisyysarvoja (SFS 6000-6:2017).

Nimellinen poikkipinta-ala $S \text{ mm}^2$	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

Seuraava mittaus on eristysvastuksen mittaus, joka niin ikään on jännitteettömänä tehtävä testi. Käytännössä tämä mittaus kannattaa suorittaa ennen suojajohtimen jatkuvuuden mittausta, sillä suojajohdin saattaa olla yhteydessä nollajohtimen, tai jonkin vaihejohtimista kanssa ja tällöin eristysvastusmittaus paljastaisi tämän. /1/

Eristysvastusmittauksella varmistetaan sähköasennuksen jännitteisten osien riittävä eristys maasta. Täten mittaus suoritetaan jännitteisten johtimien ja maan väliltä. TN-S-järjestelmissä nollajohdin lasketaan jännitteiseksi, kun taas TN-C-järjestelmissä PEN-johdin lasketaan osaksi maata. Jälkimmäisessä tapauksessa nolla- ja PE-johdin tulee iroitaa toisistaan. /1/

Eristysvastus mitataan yleensä erillisinä kokonaisuuksina. Tässä tapauksessa kyseessä ollessa vaihtosuuntaajan ja keskuksen välinen osuus, on tämän osuuden laitteiston erottimien ja katkaisijoiden oltava kiinni-asennossa ja sulakkeiden paikallaan, jotta järjestelmän mittaus olisi todenmukainen. /1/

Järjestelmän jännitteisten osien jännitteen ollessa 1 kV tai enemmän, tulee järjestelmän kaikki jännitteiset kaapelit ja kiskot testata toisiaan sekä suojamaata vasten. /1/

Hyväksytty tulos riippuu käytettävästä koestusjännitteestä U_m . Koestusjännitteenä käytetään alle 500 V järjestelmissä 500 V ja alle 1 kV, mutta suurempien kuin 500 V järjestelmissä 1000 V. Hyväksyttävän tuloksen rajana on 1 M Ω . /1/

Taulukko 2. Eristysvastusmittauksen pienimmät sallitut arvot (SFS 6000-6:2017).

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

Viimeinen vaihtosähköpuolelle tehtävä mittaus on vikapiirin impedanssin mittaus. Tällä mittauksella varmistetaan oikosulun riittävästä suuruudesta laukaisuehtojen toteutumiseen. Mittaus suoritetaan vaiheen ja suojamaan väliltä. Asennustesterillä mitataan vikapiirin impedanssi, josta testeri laskee pienimmän odotettavissa olevan vikavirran. Tätä arvoa verrataan taulukkoarvoihin erilaisille suojalaitteille. /1/

Taulukko 3. Suojalaitteiden impedanssimittauksen verrannolliset toimintarajavirtojen arvoja.

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

Näiden mittausten jälkeen siirrytään tasasähköpuolen mittauksiin.

6.2 Tasasähköpuolen mittaukset

6.2.1 Suojajohtimen jatkuvuus

Tasasähköpuolen testit alkavat samalla periaatteella kuin vaihtosähköpuolenkin. Ensin suoritetaan suojamaadoitusjohtimen testaus ja potentiaalintasausjohtimen jatkuvuuden testaus mikäli sellaista on käytetty. Mittauksessa testataan suojajohtimen jatkuvuus paneeleilta, telineiltä ja hyllyiltä lähintä potentiaalintasaus- tai maadoituskiskoa vasten, jolloin varmistutaan liitoskohtien johtavuudesta. Mitattua arvoa verrataan taulukon 1 arvoon. Mittaus on paras suorittaa osissa, jolloin mahdollisten vikojen rajausta on yksinkertaista. Ensin mitataan paneelien runkojen ja telineiden maadoituksen jatkuvuus, jonka jälkeen mitataan jatkuvuus mahdollisilta hyllyiltä. Vertauskohtana käytetään lähintä kiinteistön päämaadoituskiskoa, kiinteistön muuta maadoituskiskoa tai tarvittaessa muuta kiinteistön sähköjärjestelmään luotettavasti liitettyä maadoituspistettä. /2/

Maadoituksen jatkuvuuden mittauksesta saatu tulos kirjataan käyttöönottopöytäkirjaan.

6.2.2 Napaisuuden ja paneeliketjun liitântäkeskuksen testaus

Seuraava mittaus koskee napaisuuden testausta, sekä paneeliketjun liitântäkeskuksen testausta. Nämä testit ovat tärkeitä henkilöturvallisuussyistä, sekä kytkettyjen laitteiden vaurioitumisen välttämiseksi. Paneelin väärä napaisuus saattaa johtaa paneelin tai sen ohitusdiodin vaurioitumiseen. /2/

Seuraavaksi käsiteltävä testimenetelmä koskee aurinkosähköjärjestelmiä, joissa on käytössä erillinen paneeliketjujen liitântäkeskus. Näitä liitântäkeskuksia käytetään järjestelmissä, joissa paneelien suojaukset eivät ole integroituja vaihtosuuntaajiin, vaan paneeliketjun suojauksia varten on olemassa erillinen liitântäkeskus. Paneelin napaisuus testataan ennen kuin paneeliketjun varokkeet/liittimet kytketään ensimmäisen kerran ja se testataan seuraavalla tavalla: /2/

Jännitemittarista valitaan alue, joka on vähintään kaksi kertaa järjestelmän suurin jännite. Kaikki negatiiviset varokkeet/liittimet asetetaan siten, että paneeliketjussa

on yhteinen negatiivinen kisko, mitään positiivisia varokkeita/liittimiä ei tule kytkeä. Mitataan ensimmäisen paneeliketjun avoimenpiirin jännite V_{oc} positiivisesta negatiiviseen ja varmistetaan, että lukema vastaa odotettua arvoa. Yhden paneelin avoimen piirin jännitteen mittaamisella voidaan laskea paneeliketjun odotettu arvo. Kun ensimmäinen paneeliketju on mitattu, jätetään mittarin toinen johdin kiinni mitatun paneeliketjun positiiviseen napaan ja mittarin toinen johdin kytketään seuraavan mitattavan paneeliketjun positiiviseen napaan. Kahden paneeliketjun jakaessa yhteisen negatiivisen vertailutason, mitatun jännitteen tulisi olla lähellä nollaa toleranssiarvon ollessa +/-5 V. Mittauksia jatketaan seuraavissa paneeliketjuissa käyttäen ensimmäisen paneeliketjun positiivista piiriä mittauksen vertailutasona. Vastakkaisnapaisuuden havaitseminen on ilmiselvää, sillä mitattu jännite on tällöin kaksi kertaa järjestelmän jännite. /2/

Napaisuuden tarkastus merkataan käyttöönottopöytäkirjaan hyväksytysti.

6.2.3 Paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittaus V_{oc}

Otsikon mukaisella mittauksella varmistetaan paneeliketjun paneelien oikeanlainen kytkentä ja, että paneeleja on kytketty sarjaan oikea määrä. Erityisesti suuremmissa järjestelmissä puuttuva liitos tai kytkettyjen paneelien väärä lukumäärä ovat suhteellisen yleisiä virheitä. Mittaamalla avoimen piirin jännite voidaan nopeasti havaita edellä mainitut viat. /2/

Jokaisen paneeliketjun avoimen piirin jännite tulisi mitata ennen kuin kytkimiä suljetaan tai asennetaan ylivirtasuojalaitteita. Avoimen piirin jännitteen mitattua arvoa verrataan odotettuun arvoon, jonka toleranssi on tyypillisesti 5 %. Vertailu tapahtuu jollakin seuraavista menetelmistä: /2/

- a) Odotettu arvo johdetaan paneelin datalehdessä tai yksityiskohtaisesta aurinkosähkömallista, joka ottaa huomioon paneelin tyypin, lukumäärän sekä paneelin lämpötilan. /2/
- b) Suure V_{oc} mitataan yhdestä paneelistä ja tätä arvoa käyttämällä lasketaan paneeliketjun odotettu arvo. /2/

- c) Useita samanlaisia paneeliketjuja sisältävissä kohteissa, joissa on tasaiset säteilyolosuhteet, voidaan paneeliketjujen jännitteitä verrata toisiinsa. /2/
- d) Kyseessä ollessa useita samanlaisia paneeliketjuja sisältävä kohde, jossa säteilyolosuhteet eivät ole tasaiset, voidaan paneeliketjujen jännitteitä verrata käyttäen useita mittalaitteita, jolloin yksi mittari on vertailupaneeliketjussa. /2/

Avoimenpiirin mitattu jännite merkataan tarkastuspöytäkirjaan.

6.2.4 Paneeliketjun virranmittaus

Paneeliketjun virranmittauksella varmistetaan, että järjestelmä toimii odotetun mukaisesti ja ettei paneeliston johdotuksissa ole merkittäviä vikoja. Mittauksia ei tehdä paneeliston suorituskyvyn määrittämiseksi vaan se on toiminnallisuuteen perustuva mittaus. Mittaustapoja on kaksi; oikosulkutesti ja toiminnallinen testi, joista edellä mainittu on suositeltu menetelmä, sillä se poissulkee vaihtosuuntaajien vaikutuksen. Oikosulkumittaus suoritetaan yhdelle paneeliketjulle kerrallaan. /2/

Oikosulkutestimenetelmä

Testattavaan paneeliketjuun tehdään tilapäinen oikosulku, joka saadaan aikaan yhdellä seuraavista tavoista: /2/

- a) Käytetään testilaitetta, jossa on oikosulkuvirran mittaustoiminto, esim. aurinkosähkötesteri. /2/
- b) Paneeliketjun virtapiiriin kuuluvaan kuormakyttimeen kytketään tilapäisesti oikosulkukaapeli /2/
- c) Käytetään ”oikosulkukytkintä”, se on mitoitettu kuormankytkentälaitte, joka voidaan tilapäisesti liittää virtapiiriin oikosulun muodostamiseksi. /2/

Oikosulkuvirta mitataan käyttäen soveltuvasti mitoitettua pihtivirtamittaria, piiriin kytkettyä virtamittaria, tai testilaitetta, jossa on oikosulkuvirran mittaustoiminto. /2/

Mittauksen jälkeen oikosulku poistetaan käyttäen kuorman katkaisulaitetta. Ennen muiden kytkentöjen muuttamista on varmistettava, että virran arvo on nolla. /2/

Toiminnallinen testi

Päälle kytketyssä järjestelmässä, joka on normaalissa toimintatilassa, jokaisen paneeliketjun virta tulisi mitata asettamalla soveltuva pihtivirtamittari paneeliketjukaapeleiden ympärille.

Mitattuja arvoja verrataan odotettuihin arvoihin. Järjestelmissä, joissa on useita samanlaisia paneeliketjuja ja jos kohteessa on tasaiset säteilyolosuhteet, paneeliketjujen mitattuja virtoja on verrattava toisiinsa. Niiden arvojen tulisi olla samoja, vaihteluvälin ollessa 5 % paneeliketjujen virran keskiarvosta tasaisissa säteilyolosuhteissa. /2/

Huomionarvoista on mittalaitteen mitoitus, jonka tulee olla suurempi kuin mahdollinen oikosulkuvirta ja avoimen piirin jännite.

Järjestelmän kokonaisvirta on laskettavissa käytettävien paneelien datalehdistä. Kokonaisvirran määrittäminen laskennallisesti on hyödyllistä, sillä tulosta voidaan verrata mitattuun arvoon, jolloin saadaan parempi käsitys järjestelmän toimivuudesta. Kokonaisvirta, tai lähdevirta lasketaan paneelin oikosulkuvirran I_{SC} avulla. Paneeliketjun virta on yhden paneelin oikosulkuvirta I_{SC} , olettaen, että paneelit on kytketty sarjaan. Tällöin kokonaisvirta muodostuu kertomalla samankaltaisten rinnakkaisten paneeliketjujen lukumäärä paneelin oikosulkuvirralla I_{SC} .

Standardi SFS-6000-7-712:2017 antaa aurinkosähköpaneelin, paneeliketjun, osapaneeliston, tai paneeliston suurimman oikosulkuvirran $I_{SC\ MAX}$ määrittämiseen kaavan

$$I_{SC\ MAX} = K_1 I_{SC\ STC} \quad (2),$$

jossa kertoimen K_1 pienin arvo on 1,25. Määrätyissä olosuhteissa K_1 arvoa on suurennettava huomioiden ympäristöolosuhteet, kuten suuret heijastukset ja säteilyn voimakkuus. /2/

Saatu arvo merkataan tarkastuspöytäkirjaan.

6.2.5 Toiminnalliset testit

Otsikon mukaiset testit tehdään päälle kytketylle ja normaalissa tilassa olevalle paneeliketjulle. Paneeliketjun virta mitataan pihtivirtamittarilla paneeliketjukaapelista. Mitattuja arvoja verrataan odotettuihin arvoihin. /2/

Ohjauslaitteet, kuten kytkinlaitteet on tarkastettava, että ne toimivat oikein ja ovat asennettu sekä kytketty asianmukaisesti. /2/

Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat vaihtosuuntaajat on testattava, jotta varmistetaan järjestelmän oikea toiminta. Käytetty testimenetelmä tulee olla vaihtosuuntaajan valmistajan määrittelemä. /2/

Toiminnalliset testit, joissa tarvitaan pienjänniteverkon syöttö, kuten vaihtosuuntaajan testit, on tehtävä vasta, kun laitteiston vaihtovirtapuoli on testattu hyväksyttävästi. /2/

6.2.6 Aurinkosähköpaneeliston eristysvastusmittaus

Erona tavanomaisiin vaihtosähköpiireihin, aurinkosähköjärjestelmien tasasähköpiirit ovat jännitteisiä päivänvalon aikaan, eikä niitä voida erottaa ennen testien suorittamista. Tästä johtuen on tärkeää ymmärtää mittaamiseen liittyvä sähköiskun vaara ja miten välttyä vaaratilanteilta. On suositeltavaa tehdä seuraavat turvallisuuteen liittyvät toimenpiteet: /1,2/

- Henkilöiden pääsy työalueelle tulee rajata. /1,2/
- Eristysvastusmittausta suorittaessa, laitteistoon ei saa koskea. Tarkennuksena laitteiston metallipintoihin, paneelin/laminaatin alapuolelle, tai paneelin/laminaatin liittimiin ei saa koskea. /1,2/
- Mittalaitteessa on oltava automaattinen itsepurkuominaisuus, sillä eristysvastusta mitattaessa, testikohteeseen vaikuttaa testattavan laitteiston jännite. /1,2/
- Henkilöstön suojaukseen käypää vaatetusta tai laitteistoa tulee käyttää mittauksen aikana. /1,2/

Mittaus on parasta tehdä erikseen jokaiselle paneeliketjulle. Näin voidaan rajata mahdolliset vikakohdat. Mittausmenetelmiä on kaksi: /2/

Ensimmäisessä mittausmenetelmässä eristysvastus mitataan paneeliston negatiivisen kohdan ja maadoituksen väliltä, jonka jälkeen se mitataan positiivisen kohdan ja maadoituksen väliltä. /2/

Toinen mittausmenetelmä suoritetaan maadoituksen ja oikosuljetun paneeliston positiivisen sekä negatiivisen navan väliltä. /2/

Maadoituskytkennäksi voidaan tulkita mikä tahansa maadoituskytkentä tai paneeliston runko, jos rakenne tai runko on kytketty maadoitukseen. /2,3/

Tapauksessa, jossa aurinkosähköpaneelien runkoja ei ole kytketty maadoitukseen, käyttöönottoinsinööri voi valita kahdesta mittausmenetelmästä I) paneelistojen kaapeloinnin ja maadoituksen välinen mittaus ja lisätestit, tai II) paneeliston ja rungon välisen kaapeloinnin mittaus. Jos paneeliston johtaviin osiin ei ole pääsyä, tulee mittaus suorittaa paneeliston kaapeleiden ja rakennuksen maadoituksen välillä. /2,3/

Jos käytetään mittausmenetelmää 2 valokaarien esiintymisriskien minimoimiseksi, on suositeltavaa oikosulkea paneeliston positiiviset ja negatiiviset navat turvallisella tavalla. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä soveltuvaa oikosulkukytkennän muodostamiseen tarkoitettua laitetta. Tasasähkökuorman

katkaisukyvyyn mukaisesti mitoitettuna tällainen laite kykenee turvallisesti kytkemään ja katkaisemaan oikosulkuvirtapiirit olettaen, että paneeliston kaapeli on turvallisesti kytketty laitteeseen. /2/

Mittausmenetelmää valitessa tulee varmistua, ettei suurin jännitteen arvo ylitä aurinkosähköpaneelin, kytkimen, ylijännitesuojan tai muiden komponenttien mitoitusarvoja. /1,2,3/

Itse mittauksessa mitattava paneelisto erotetaan vaihtosuuntaajasta ja eristysvastusmittaus toteutetaan maadoituksen ja paneelistokaapelin tai liitäntäkeskuksen väliltä. /2/

Taulukko 4. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot.

Järjestelmän jännite ($V_{oc}(stc) * 1,25$) V	Testijännite V	Pienin eristysvastus $M\Omega$
<120	250	0,5
120...500	500	1
>500	1000	1

STC on lyhenne sanoista standard test conditions ja tarkoittaa laboratorioolosuhteissa suoritettuja testejä. NOCT – eli nominal operating cell temperature simuloi realistisemmin käyttöolosuhteita. /2/

Tuotannon ollessa mikrotuotantoa suurempaa, jonka raja-arvona on yleisesti pidetty 100 kVA:a, puhutaan yleensä kymmenistä paneeleista paneeliketjua kohden. Järjestelmän jännite riippuu paneelin avoimen piirin jännitteestä, paneelien lukumäärästä ja ympäristön lämpötilasta. Jännite voidaan laskea kaavalla

$$U_{0Cmax} = (T_{STC} - T_{min}) \times \left(-\frac{\alpha_{U_{0C}\%}}{100}\right) \times U_{0C} + U_{0C}, \text{ jossa } U_{0Cmax} \quad (3)$$

on paneelin maksimi tyhjäkäyntijännite, T_{STC} paneelin STC-lämpötila, T_{min} paneelin ympäristön alhaisin mitattu lämpötila, $\alpha_{U_{0C}\%}$ paneelin tyhjäkäyntijännitteen lämpötilakerroin ja U_{0C} paneelin tyhjäkäyntijännite. Kun saatu arvo kerrotaan paneelistossa olevien paneelien lukumäärällä, saadaan selville paneeliston suurin tyhjäkäyntijännite, jonka avulla tiedetään minkä suuruista testijännitettä paneeliston eristysvastusmittauksessa tulee käyttää. /2/

Maksimi tyhjäkäyntijännite on laskettavissa myös SFS 6000-7-712 -standardissa annetulla kaavalla

$$U_{0CMax} = \left(1 + \left(\frac{\alpha_{U_{0C}}}{100} \times (T_{min} - 25)\right)\right) \times U_{0C} \quad (4)$$

missä U_{0CMax} on paneeliston maksimi tyhjäkäyntijännite, $\alpha_{U_{0C}}$ paneelin tyhjäkäyntijännitteen lämpötilakerroin, T_{min} paneeliston sijainnin kylmin mitattu lämpötila ja U_{0C} paneelin tyhjäkäyntijännite, tai

$$U_{0Cmax} = K_U \times U_{0CSTC} \quad (5)$$

Kaavassa käytetään paneelin datalehdiltä saatavia arvoja, jossa

$$K_U = 1 + \left(\frac{\alpha_{U_{0C}}}{100}\right)(T_{MIN} - 25) \quad (6)$$

on korjauskerroin, joka ottaa huomioon asennuskohteen alimman lämpötilan T_{MIN} vaikutuksen paneelien avoimen piirin jännitteen suurentumiseen ja paneelin valmistajan ilmoittaman lämpötilakertoimen $\alpha_{U_{0C}}$ vaikutuksen suureen U_{0C} vaihteluun ja U_{0CSTC} paneelin tyhjäkäyntijännite STC-testiolosuhteissa. /2/

Eristysvastusmittauksen tulos merkitään käyttöönottopöytäkirjaan.

7 KATEGORIAN 2 TESTIMENETELMÄT

Kategorian 2 testit ovat näytemielessä tehtäviä testejä. Näillä testeillä saadaan tarkempaa tietoa järjestelmästä määrittämällä virta-jännite-käyrä. Tämän käyrän määrittämisellä saadaan seuraavat tiedot: paneeliketjun avoimen piirin jännite (V_{OC}) ja oikosulkuvirran (I_{sc}) mittaustulokset, huipputehon (P_{max}), jännitteen (V_{mpp}) ja virran (I_{mpp}) mittaustulokset, paneeliston suorituskyvyn mittaustulokset, paneeliketjun/paneelin täyttökerroin, sekä paneelin/paneeliston viat, tai varjostusten vaikutukset. /2/

7.1 Virta-jännite-käyrän määrittäminen

Avoimen piirin jännitteen sekä oikosulkuvirran mittauksia käsiteltiin aiemmissa kappaleissa. Virta-jännite-käyrän määrittäminen on hyväksyttävä vaihtoehto määrittää paneeliketjun avoimen piirin jännite ja oikosulkuvirta. Erillisiä suureiden V_{oc} ja I_{sc} mittauksia ei tarvitse tehdä, sillä edellytyksellä, että virta-jännite-käyrän määrittäminen tehdään kategorian 1 testiryhmän testien tarkoituksenmukaisessa vaiheessa. Jos käyrän määrittämisellä haetaan vain suureiden V_{OC} ja I_{sc} arvoja, ei tällöin ole tarpeen mitata säteilyn voimakkuutta tai kennon lämpötilaa. /2/

Paneeliketjun ja paneeliston suorituskyvyn mittaukset on tehtävä vakaisissa säteilyolosuhteissa. Säteilyvoimakkuuden on oltava vähintään 400 W/m^2 paneeliston pinnalta mitattuna. /2/

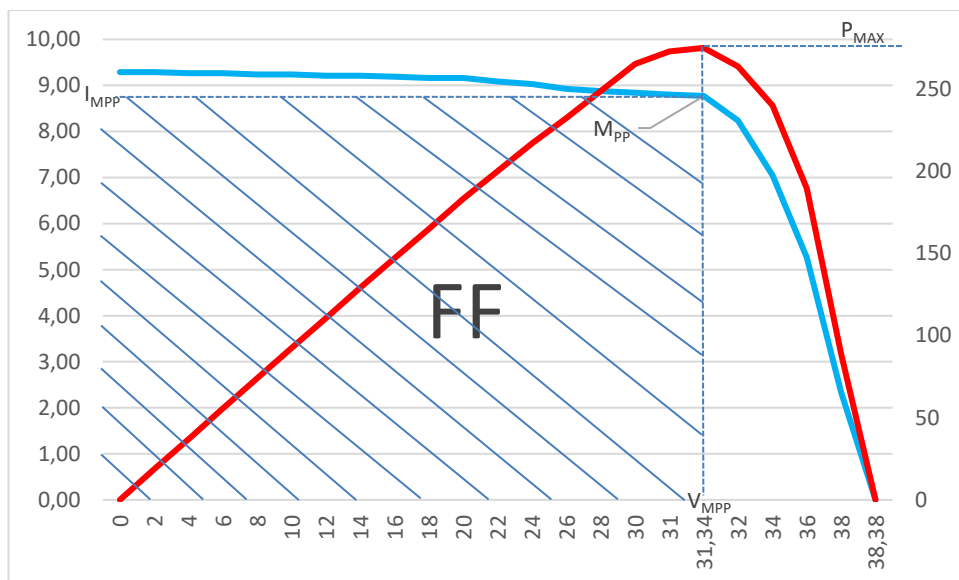
Virta-jännite-käyrän mittaamista varten tulee järjestelmän olla sammutettu ja virraton, sekä mitattava paneeliketju tulee olla erotettu ja kytketty mittaustalteen. Mittalaite säädetään testattavan kohteen paneelien tyypin ja lukumäärän mukaiseksi. Virta-jännite-käyrän mittalaitteeseen liitetty säteilymittari kiinnitetään paneeliston pintaa edustavaan kohtaan kuitenkin siten, ettei se aiheuta varjoja tai valon heijastumista paneeliin. Jos mittari käyttää kennon lämpötilan mittaustalteen, tulee se kiinnittää paneelin taakse keskelle kennoa. /2/

Mittauksen jälkeen verrataan suurinta mitattua tehon arvoa paneeliston mitoitettuun arvoon.

7.1.1 Poikkeamat

Virta-jännite-käyrän muodosta voidaan tunnistaa paneeliston poikkeamat, kuten: vaurioituneet kennot / paneelit, oikosuljetut ohitusdiodit, paikalliset varjostukset, paneelien yhteensopimattomuudet, rinnakkaisvastukset kennoissa / paneeleissa / paneelistossa, sekä suuret sarjavastukset. Poikkeamat ilmenevät käyrällä askelmina ja lovina. Samojen paneeliketjujen käyrien tulisi olla samanlaiset. Huomioitavaa on sääolosuhteet mittausten aikana. Vakaisissa säteilyolosuhteissa vaihteluväli on tyypillisesti n. 5 %. /2/

Taulukko 5. Normaalin toiminnan I-V- ja tehokäyrä.



Graafissa on esitetty erään aurinkopaneelin lähtöarvojen mukainen I-V -käyrä. Aurinkopaneelin virran ollessa oikosulkuvirta I_{SC} on jännite tällöin 0 ja vastaavasti jännitteen ollessa tyhjäkäyntijännite V_{OC} on virta tällöin 0 A. I-V -käyrän arvo M_{PP} kuvaa tehokäyrän maksimiarvon P_{MAX} mukaista pistettä, I_{MPP} maksimitehon arvoista virtaa ja V_{MPP} jännitettä. /2/

Täyttökerroin, eli FF , joka on lyhenne sanoista fill factor, kertoo paneelin suorituskyvystä. Mitä suurempi alue on, sitä vähemmän jännite laskee virran kasvaessa ja sitä vähemmän virta laskee jännitteen kasvaessa. /2/

Täyttökerroin on laskettavissa yksinkertaisella kaavalla: $FF = \frac{P_{MAX}}{V_{OC} I_{SC}} = \frac{I_{MP} V_{MPP}}{V_{OC} I_{SC}}$

(6). /2/

Graafissa käytetyt arvot ovat paneelin STC-arvoja. NOCT-arvoilla huipputeho olisi lähempänä 204 W kuin STC:n 275 W.

7.2 Paneeliston tutkiminen lämpökameralla

Lämpökameratarkastuksella voidaan tutkia aurinkosähköpaneeliston käytön aikana esiintyviä mahdollisia lämpötilavaihteluita. Lämpötilavaihtelut voivat merkitä ongelmia paneelissa, tai paneelistossa. Tyypillisimpiä aiheuttajia ovat esim. estosuuntaiset kennot, ohitusdiodien viat, juotosliitosten vauriot tai huonot liitokset, jotka aiheuttavat paikallisesti suuren lämpötilan. /2/

Lämpökuvaus on hyvä tapa vianetsintään. Paneeliston tulisi olla normaalissa toimintatilassa ja säteilyvoimakkuus paneeliston pinnassa suurempi kuin 400 W/m² ja taivaan olosuhteiden vakaat. /2/

Erityistä huomiota lämpökuvauksessa tulee kiinnittää estodiodeihin, liitäntäkoteloihin, sähköisiin kytkentöihin ja muihin erityistä huomiota vaativiin paneeliston kohtiin, joissa selkeä lämpötilaero voi aiheuttaa ongelmia paneelissa tai sen ympäristössä. /2/

7.2.1 Lämpökuvauksen tulosten tulkinta – kuumat ja kylmät kohdat

Paneelin lämpötilan tulisi olla suhteellisen yhtenäinen. On tietysti odotettavissa, että esimerkiksi paneelin kytkentäkotelon lähellä paneeli on kuumempi, kun taas paneelin reunoilla viileämpi. /2/

Kuumat kohdat paneelin muissa osissa voivat merkitä sähkötekniistä vikaa, tyypillisesti sarja- tai rinnakkaisresistanssia tai viallista kennoa. Tällaisten merkittävästi kuumia kohtia sisältävien paneelien suorituskykyä tulee tutkia. Kylmät paneelit viestivät kytkemättömistä tai energiaa tuottamattomista paneeleista. Jos ohitusdiodit ovat kuumia tarkoittaa se, että ne ovat päällä. Tässä tapauksessa paneeli täytyy tarkistaa ilmeisimmiltä syyiltä, kuten varjoilta tai roskilta,

joiden vaikutukselta diodi suojaa paneelia. Jos syy ei ole näissä, saattaa paneeli olla vioittunut. Paneelin johtimien liitännäkohtien ei tulisi olla merkittävästi kuumempia kuin itse johdin. Jos näin kuitenkin on, täytyy tarkastaa liitokset korroosion tai löysien liitosten varalta. /2/

7.3 Järjestelmän tiedot ja dokumentointi

Järjestelmän ”nimikilpi”-tiedot on oltava saatavilla järjestelmän dokumentaatiossa. Näitä tietoja ovat mm. projektin tunnus, laitteiston mitoitusteho, aurinkosähköpaneelien ja vaihtosuuntaajien valmistaja, malli ja lukumäärä, asennuspäivä, käyttöönottopäivä, asiakkaan nimi sekä asennuskohteen osoite. Lisäksi järjestelmän suunnittelijalta saatavat tiedot, kuten suunnittelija ja yritys on oltava saatavilla sekä asentajan tiedot. /2/

Järjestelmästä vaaditaan yksiviivainen esitystapa, josta ilmenee yksityiskohtaisesti tietoa järjestelmästä, kuten aurinkosähköpaneelistosta, paneeliketjuista, vaihtosähköjärjestelmästä, maadoituksista ja ylijännitesuojista. Nämä tiedot ovat tärkeitä erityisesti vika- ja huoltotilanteissa, toimenpiteitä tekevän henkilön ja laitteiston turvallisuuden takaamiseksi. /2/

7.4 Täydentävät testit

Seuraavat testit eivät ole velvoittavia, vaan ovat sovellettavia tarpeen vaatiessa.

7.4.1 Jännite maahan nähden – Resistanssin kautta maadoitetut järjestelmät

Otsikon mukaista testiä käytetään järjestelmille, jotka on maadoitettu suuren impedanssin kautta. Paneelivalmistaja määrittelee käytettävän testimenetelmän, jos aurinkosähköpaneelin käyttö vaatii maadoituksen resistanssin kautta. /2/

Testi on tehtävä noudattaen paneelin valmistajan vaatimuksia, jotta varmistetaan maadoitusresistanssin oikea arvo ja että tasasähköjärjestelmän jännite maahan nähden on sallitulla tasolla tai vuotovirta on hyväksyttävällä alueella. /2/

Tällaiset järjestelmät ovat hyvin harvinaisia aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä. Kyseinen järjestelmä on niin sanottu IT-järjestelmä. Tällaisia järjestelmiä käytetään kohteissa, joissa sähköntuoton katkeaminen tulisi minimoida. /2/

7.4.2 Estodioditesti

Estodiodit voivat toimia väärin avoimen piirin tilassa sekä oikosulkuutilassa. Tämä testi koskee lähinnä järjestelmiä, joissa estodiodit eivät ole integroitua paneeleihin. Diodit on tarkastettava ja varmistettava, että napaisuus on oikein ja ettei niistä löydy merkkejä ylikuumentumiselta tai palamisesta. Normaalissa toimintatilassa estodiodiin vaikuttaa jännite V_{BD} , joka on mitattava. Hyväksyttävä tulos on 0,5 V ja 1,65 V välillä. Jos diodin jännite on tämän alueen ulkopuolella, tulee järjestelmä tutkia ja selvittää onko diodin vika yksittäinen vai johtuuko se toisesta järjestelmän viasta. /2/

7.4.3 Eristysvastuksen mittaus märissä olosuhteissa

Aurinkopaneeliston eristysvastuksen mittausta märissä olosuhteissa käytetään pääasiassa vikojen paikantamiseen. Testillä simuloidaan sateen tai aamukasteen vaikutuksia paneelistoon ja sen kaapelointiin sekä varmistetaan, ettei kosteus pääse paneeliston aktiivisiin sähköisiin osiin, joissa se voisi aiheuttaa korroosiota, maadoitusvikoja tai vaaran henkilölle tai laittelle. /2/

Testiä voidaan soveltaa, jos kuivan olosuhteen mittaustulokset ovat kyseenalaisia, tai epäillään valmistusvikoja tai asennuksesta aiheutuneita eristysvikoja. /2/

Mittaus on itsessään sama kuin tavanomaisessa eristysvastusmittauksessa. Ensiksi paneelisto tulee kuitenkin kastella perusteellisesti veden ja tensidin seoksella. Seos suihkutetaan kaikkiin mitattavan paneeliston osiin. Erityistä huomiota tulee kiinnittää paneelien reunoille, ylä- ja alapinnoille sekä liitännäskoteloihin ja kaapeleihin. /2/

8 TARKASTUSRAPORTIT

Kun tarkastus on päättynyt, on laadittava raportti. Raportissa on oltava seuraavat tiedot: /2/

- Yhteenveto järjestelmän tiedoista (nimi, osoite jne.) /2/
- Luettelo virtapiireistä, jotka on aistinvaraisesti tarkastettu ja testattu /2/
- Tarkastuspöytäkirja /2/
- Pöytäkirja, joka sisältää jokaisen testatun virtapiirin testitulokset /2/
- Seuraavan tarkastuksen ajankohta /2/
- Tarkastajan tai tarkastajien allekirjoitukset. /2/

9 YLEISIMMÄT VIAT JA RISKITEKIJÄT

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastuksia tehtäessä yleisimpiin vikoihin tai pikemminkin ongelmiin, liittyy sääolosuhteet. Aurinkopaneelien tuottama teho on suoraan verrannollinen auringon säteilyolosuhteisiin ja täten mittauksia tehdessä on huomioitava sääolosuhteet. Sääolosuhteista johtuen esimerkiksi mahdollisten vikojen huomaaminen ja paikantaminen on erittäin hankalaa. Tästä johtuen aurinkosähköjärjestelmän suorituskyvyn mittaus on hyödyllinen myös järjestelmän toiminnan kannalta. Virta-jännite-käyrän määrittämisessä mitataan myös säteilyvoimakkuus, jolloin paneeliston mitattuja arvoja voidaan suhteuttaa säteilyolosuhteisiin ja täten saadaan tietoa järjestelmän toimivuudesta. /2/

Suurimpana riskitekijänä aurinkosähköjärjestelmissä on sen käytännössä jatkuva sähköntuotto valoisaan aikaan. Jakeluverkon ollessa jännitteetön, esimerkiksi vian vuoksi, voi aurinkosähköjärjestelmä syöttää ns. takatehoa jakeluverkkoon, joka voi aiheuttaa monia ongelmia, päälimmäisenä sähköverkonasentajien turvallisuus. Vaihtosuuntaajat yleensä sisältävät jonkinlaisen LoM (Loss of Mains) -suojaus, tyypillisesti anti-islanding, eli saarekekäytön esto -toiminnon, jolloin jakeluverkon häiriötilanteessa vaihtosuuntaaja kytkeytyy irti verkosta. Tämä ei silti estä aurinkopaneelistoa tuottamasta sähköä. Tästä johtuen verkkoon kytketyissä järjestelmissä on oltava saarekekäytön eston lisäksi mekaaninen erotuskytkin, varoitusmerkintä takasyötön mahdollisuudesta sekä ohjeet järjestelmän erottamiseen. /2,3/

Eräs riskitekijä on myös työskentelyolosuhteet. Aurinkopaneelit asennetaan tyypillisesti katolle tai seinälle, joten putoamisriski on otettava huomioon. Lisäksi esim. uudisrakennuskohteissa on otettava huomioon muu työmaatoiminta. /1,2,3/

10 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ja selventää aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottoon liittyviä toimintatapoja. Työtä tehdessä noudatettiin standardien vaatimia ohjeita ja määräyksiä, jotka ovat muuttuneet viime vuosina ja jotka muuttuvat edelleen.

Ongelmiksi opinnäytetyön kirjoittamisessa nousi standardien tulkinta, sekä standardien sisältämät viittaukset toisiin standardeihin, jotka joissakin tapauksissa olivat vanhentuneet ja näiden saattaminen helpommin ymmärrettävään muotoon. Standardin soveltaminen on usein epäselvää ja välillä standardeja lukiessa sai mielikuvan, että standardin laatinut henkilö oli jättänyt joitakin seikkoja tulkinnanvaraisiksi.

Opinnäytetyötä voidaan käyttää selkeyttämään ja opettamaan aurinkosähköjärjestelmien käyttöönotoissa.

Työssä on käytetty hyödyksi Ampner Oy:n suunnittelemaa ja toteutettuja aurinkosähköjärjestelmiä. Aiheesta saisi kirjoitettua enemmänkin, mutta työn selkeyden säilyttämiseksi on keskitytty vain keskeisimpiin seikkoihin liittyen aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottoihin.

LÄHTEET

/1/ BloombergNEF <www.bnef.com> Viitattu 2.8.2018

/2/ SFS-EN 62446-1:2016

/3/ IEC 62548:2016

/4/ SFS 6000-7