



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AURINKOENERGIAJÄRJESTELMIEN RISKIENHALLINTA JA SÄHKÖTUR- VALLISUUS

TEKIJÄ: Juha Tuomas Karjalainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Juha Tuomas Karjalainen			
Työn nimi Aurinkoenergiajärjestelmien riskienhallinta ja sähköturvallisuus			
Päiväys	23.4.2017	Sivumäärä/Liitteet	53
Ohjaaja(t) Lehtori Timo Savallampi ja Lehtori Jari Ijäs			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Pekka Aho AH-Talotekniikka Oy			
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli tarkastella aurinkoenergiajärjestelmien sähköturvallisuuteen ja riskienhallintaan liittyviä tekijöitä. Mikrogeneraattorijärjestelmien määrä kasvaa koko ajan, joten työ oli ajankohtainen. Aurinkoenergiajärjestelmän hankinta parantaa rakennusten energialuokitusta.</p> <p>Työn merkittävin osio oli kansallisten sähköturvallisuusmääräyksiin perehtyminen, sähköturvallisuus on tärkeä osa riskienhallintaa. Riskitekijöiden tunnistaminen mahdollistaa reagoinnin riskitekijöiden eliminoimiseksi.</p> <p>Lisäksi tärkeää oli perehtyä energialaitosten ja verkonhaltijan vaatimuksiin ja lupamenettelyihin. Energialaitoksissa käytännöt ovat yhteneviä, mutta eri paikkakuntien rakennuslupakäytännöt vaihtelevat suuresti. Rakennuslupakäytäntöihin on valmisteilla yhtenevä ohjeistus.</p> <p>Aurinkoenergiajärjestelmien hyödyntäminen Suomessa on toistaiseksi melko vähäistä. Tulevaisuudessa aurinkoenergian käyttö tulee kasvamaan. Aurinkoenergialla olisi mahdollista korvata fossiilisia energianlähteitä.</p>			
Avainsanat Sähköturvallisuus, aurinkoenergia			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Juha Tuomas Karjalainen			
Title of Thesis Electrical safety and Risk Management of Solar Energy Systems			
Date	23 April 2017	Pages/Appendices	53
Supervisor(s) Lecturer Timo Savallampi and Lecturer Jari Ijäs			
Client Organisation /Partners Mr. Pekka Aho AH-talotekniikka Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to explore electrical safety and risk management of solar energy systems. The thesis was current because the amount of micro generator systems is increasing. Investing in a solar energy system can improve the energy rating of the building.</p> <p>The main part of the thesis was to orientate to electrical safety instructions because electrical safety is a major segment of risk management. Risk factors decrease by recognizing risk factors on time.</p> <p>It was also important to orientate to requirements and permissions of electricity utilities and the owner of the power grid. Policies in the electric utilities are uniform but the usage of construction permits can vary in different places. Uniform construction permits are being prepared.</p> <p>The use of solar energy systems is rather insignificant at the moment. In future the use of solar energy systems will increase and it will be possible to replace fossil energy sources with solar energy.</p>			
Keywords Electrical safety, solar energy			

ESIPUHE

Valitsin opinnäytetyöni aiheeksi Aurinkoenergiajärjestelmien riskienhallinta ja sähköturvallisuus. Aihe nousi esille keskusteltuani työn tilaajan AH-talotekniikan Pekka Ahon kanssa ja totesimme yhdessä käsiteltävän aiheen tärkeyden ja ajankohtaisuuden.

Kiitän toimeksiantajaa Pekka Ahoa sekä Lehtori Timo Savallampea opinnäytetyön aiheesta ja mahdollistamisesta. Kiitokset myös yhteistyökumppaneille, jotka antoivat oman panoksensa opinnäytetyön sisällön rikastamiseksi.

Kuopiossa 23.4.2017,

Juha Karjalainen

SISÄLTÖ

TERMIT JA KÄSITTEET.....	7
1 JOHDANTO	10
2 MITÄ AURINKOENERGIA ON?.....	11
2.1 Yleistä aurinkoenergiasta	11
2.2 Aurinkolämpö ja aurinkovoimalat.....	12
2.3 Aurinkosähkö ja aurinkosähköpaneelistot	13
3 SÄHKÖTURVALLISUUSMÄÄRÄYKSET AURINKOENERGIAJÄRJESTELMILLE	16
3.1 Turvallisuusvaatimukset.....	16
3.1.1 Sähköiskulta suojautuminen	16
3.1.2 Ylivirralla suojautuminen.....	20
3.2 Tekniset vaatimukset yleiseen pienjänniteverkkoon.....	20
3.2.1 Aurinkosähköjärjestelmän kytkeminen jakeluverkkoon	22
3.3 Sähkölaitteiden valinta ja asennus	23
3.3.1 Kaapelit	24
3.4 Estodiodi	24
3.5 Aurinkoenergiajärjestelmien maadoitus	27
3.6 Akusto	28
3.7 Merkinnät ja dokumentointi.....	28
3.7.1 Merkinnät	28
3.7.2 Dokumentointi	29
3.8 Käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastukset	31
3.8.1 Aistinvaraiset tarkistukset.....	31
3.8.2 Testaukset	32
3.8.3 Tarkistusraportointi.....	33
3.8.4 Käyttöönottotarkastus.....	34
3.8.5 Kunnossapitotarkastukset.....	34
4 HAASTATTELUT.....	35
4.1 Urakoitsijoiden kokemuksia.....	35
4.1.1 Mitä turvallisuuteen liittyviä asioita on otettava huomioon asennettaessa ja käyttöönotettaessa aurinkoenergiajärjestelmiä?	35
4.1.2 Yleisimmät ongelmat, joita kohdataan aurinkoenergiajärjestelmiä asennettaessa?	35

4.1.3	Aurinkoenergiajärjestelmien yleisimmät ongelmat ja viat käytön aikana? Syyt niille ja kuinka niitä voidaan ennaltaehkäistä ja minimoida seuraukset?.....	35
4.1.4	Energialaitosten vaatimukset aurinkoenergiajärjestelmille?	36
4.2	Kuluttajien kokemuksia.....	36
4.2.1	Minkälaiseen käyttötarkoitukseen ja minkä kokoinen aurinkoenergiajärjestelmä on hankittu?	36
4.2.2	Onko aurinkoenergiajärjestelmä täyttänyt sille asetetut odotukset ja vaatimukset?.....	37
4.2.3	Aurinkoenergiajärjestelmien ongelmat, viat ja huoltotoimenpiteet käytön aikana?	37
4.2.4	Toimenpiteitä joita käyttäjä joutuu tekemään aurinkoenergiajärjestelmille?	37
4.3	Päätelmät haastatteluista.....	37
4.3.1	Päätelmät urakoitsijoitten kokemuksista	37
4.3.2	Päätelmät kuluttajien kokemuksista.....	38
5	ASENNUSTAVAT JA KOKOONPANO	40
5.1	Yhden tai useamman sarjaan kytketyn aurinkosähköpaneelin kokoonpano	40
5.2	Rinnankytketyn aurinkosähköpaneeliston rakenne.....	41
5.3	Verkkoon kytketty aurinkosähköpaneelisto	42
5.3.1	Asennustavat	45
6	AURINKOENERGIAJÄRJESTELMIEN RISKIKARTOITUS.....	46
6.1	Ympäristötekijöiden vaikutukset ja seuraukset	46
6.1.1	Toimenpiteet ympäristötekijöiden vaikutuksilta.....	48
6.2	Järjestelmän toiminta ja suojaus vikatilanteissa	48
6.3	Ennakoivahuolto ja siihen liittyvät huoltotoimenpiteet.....	48
7	ENERGIALAITOKSEN ROOLI	50
8	YHTEENVETO	51
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	53

TERMIT JA KÄSITTEET

Aurinkosähköpaneeli (PV module) on pienin yhteen kytketty valosähköisistä kennoista muodostuva laitteisto, joka on ympäristövaikutuksiltaan suojattu.

Aurinkosähköpaneelisto (PV array) muodostuu yksittäisestä tai yhteen kytketyistä aurinkosähköpaneelista, jotka ovat ketjutettu tai ovat osapaneelista. Paneelisto voi olla myös yhdistelmä paneeliketjusta ja osapaneelistosta.

estodioidi on diodi, joka estää virran kulkeutumasta ei toivottuun suuntaan tai kohteeseen ja on kytketty paneelistöön

potentiaalintasausjohdin on johdin, joka toimii osana toiminnallista potentiaalintasausta

ohitusdioidi kytketään yhden tai useamman kennon ylitse virran myötäsuuntaan, joka mahdollistaa virran johtamisen vikaantuneen kennoston ohi. Tällä estetään kennojen vauriot, jotka muodostuvat paneeliston muissa kennoissa käänteisenä jännitteenä

kaapeli muodostuu yhdestä tai useammasta johtimesta, jossa on suojaava kuori ja mahdollisesti täyte-, eristys- ja suojamateriaali

invertteri muuttaa jännitettä tasolta toiselle ja tasasähköä vaihtosähköksi

johdin on johto, joka sisältää johtimen ja eristyksen

luokka A: Yleinen pääsy, vaarallinen jännite, riskialttiit tehosovellukset paneelit, jotka kuuluvat tähän sovellusluokkaan ovat rajattu järjestelmiin, joissa yleinen pääsy on ennakoitu ja tasajännite on suurempi kuin 50V tai teho on suurempi kuin 240 W. Paneelit, jotka täyttävät standardien IEC 61730-1 ja IEC 61730-2 turvallisuusvaatimukset, katsotaan täyttävän luokan II sähkölaitteen vaatimukset

luokka B: Rajattu pääsy, vaarallinen jännite, riskialttiit tehosovellukset paneelit, jotka on mitoitettu luokkaan B. Käyttö rajoittuu järjestelmiin, joihin yleinen pääsy on estetty ja täyttävät sovellusluokan vaatimukset ja joissa on peruseristys, täyttää luokan 0 sähkölaitteen vaatimukset

luokka C: Rajoitettu jännite ja tehosovellukset paneelit, jotka mitoitetaan tähän sovellusluokkaan, rajoittuu järjestelmiin, joissa yleinen pääsy on ennakoitu ja toimivat alle 50 V tasajännitteellä tai alle 240 W teholla. Paneelit, jotka täyttävät standardien IEC 61730-1 ja IEC 61730-2 turvallisuusvaatimukset, katsotaan täyttävän luokan II sähkölaitteen vaatimukset

muu johtava osa sähköasennukseen kuulumaton osa, jossa voi esiintyä jännitepotentiaali. Jännitepotentiaali on yleensä maan potentiaali

maadoitettu aurinkosähköpaneelisto, jossa on järjestelmä kytketty maadoitukseen sähköturvalisuustarkoituksessa. Maadoitus voi tapahtua lisäksi myös toiminnallisesti, mikäli käytötapa ei täytä suojaavan potentiaalitasauksen vaatimuksia. Toiminnallisessa maadoituksessa johdin on kytketty maadoitukseen muussa tarkoituksessa, kuin sähköturvallisuustarkoituksessa

$I_{MOD\ MAX\ OCPR}$ suurin mitoitettu ylivirtasuojaus aurinkopaneelille

I_N suurin nimellinen suojalaitteen mitoitusvirta

$I_{SC\ MOD}$ aurinkopaneelin tai aurinkopaneeliketjun oikosulkuvirta, joka valmistaja ilmoittaa tuotteen spesifikaatiossa

Osapaneelisto (PV sub array) muodostuu rinnakkain kytketystä aurinkosähköpaneelistosta ja on osa kokonaisuutta.

Paneeliketju (PV string) muodostuu yhdestä tai useammasta sarjaan kytketystä aurinkosähköpaneeleista.

pienjännite jännite, joka on korkeintaan 1000 VAC tai 1500 VDC, mutta kuitenkin suurempi kuin 25 VAC tai 60 VDC

päämaadoituskisko kisko tai liitin, joka yhdistää maadoitusjohtimet ja potentiaalintasausjohtimet maadoitusjärjestelmään

MPP tai MPPT seuranta säätömenetelmä, jossa aurinkopaneelisto toimii lähellä PV-laitteen suorituskykyä, missä tuotettu sähkövirta ja jännite tuottavat suurimman mahdollisen sähkötehon toimintaolosuhteissa

tehomuunnin (PCE) järjestelmä, joka muuntaa tuotetun sähkötehon sopivalle taajuudelle ja jännitteelle, jota voidaan hyödyntää eri käyttötarkoituksissa

Valosähköinen kenno (PV cell) on pienin yksikkö tuottamaan sähköenergiaa, jonka toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön.

vikavirtavalvonta RCM laite, joka valvoo vikavirran suuruutta. Laite ilmoittaa viasta, kun vikavirran kynnysarvo ylittyy tai määrätyt muutokset havaitaan

$V_{OC\ MOD}$ paneelinvalmistajan ilmoittama paneelin avoimen piirin jännite tuote spesifikaatiossa

pätöteho on pätötehon ja näennäistehon suhde sinimuotoisissa virtapiireissä

käyttäjä on vastuussa tiloista johon aurinkoenergiajärjestelmä on asennettu

käyttöönotto on laitteiston tai järjestelmän ottamista käyttöön

käytöstä poisto on menetelmä jolla laitteisto tai järjestelmä otetaan pois käytöstä

verkosta erottaminen jännitteisten osien erottaminen mekaanisin menetelmin

siirtymäkulma jännitteen ja virran välinen vaihe-erokulma sinimuotoisissa virtapiireissä

pienjännitejakeluverkko sähköverkon osa, jota käytetään sähkönsiirtämiseen kuluttajille tietyllä kulutusalueella, joka on alle 1000 V

jakeluverkkoyhtiö on vastuullinen henkilö, joka vastaa jakeluverkon käytöstä, huollon toimivuudesta ja jakeluverkon kehittämisestä. Lisäksi vastuulla on huolehtia jakeluverkon kytkennöistä verkoon ja verkon kyvystä täyttää vaatimukset sähkön jakelussa

tehokerroin pätötehon [P] arvon suhde näennäistehoon [S]

W/m² = Teho (wattia) pinta-alayksikköä kohden

W_p = Paneeliteho

W_h = Teho aikayksikössä

(SFS 600–1 2012, ja SFS 607 2015, 11-18, 127-128)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi muodostui syvällisen ja mielenkiintoisen keskustelumme tuloksena Aurinkoenergiajärjestelmien riskienhallinta ja sähköturvallisuus. Keskustelussamme nousi voimakkaasti esille aurinkoenergiajärjestelmien turvallisuusriskipotentiaali, jota ei ole käsitelty tässä muodossa aikaisemmin. Opinnäytetyöni tavoite on kartoittaa aurinkoenergiajärjestelmien eri riskitekijöitä sähköturvallisuuden kannalta.

Aurinkoenergian tulevaisuudennäkymät ja kasvupotentiaali kiinteistökohtaisessa energiantuotannossa on voimakkaassa kasvussa. Tämän vuoksi opinnäytetyöni aihe on hyvin ajankohtainen ja tärkeä, koska aurinkoenergiajärjestelmiä asennetaan jatkuvasti lisää ja niiden riskipotentiaali kasvaa samassa suhteessa niiden määrään. Tulevaisuudessa kiinteistöjen energiankulutus ja energialuokitusmääritelmät tulevat entisestään kiristymään ja aurinkoenergia antaa yhden merkittävän ratkaisun energiakysymyksissä. Nykyään vaatimuksissa painotetaan rakentamisessa matalan energian kiinteistöihin. Yksi merkittävä askel ja ratkaisu energialuokituksen parantamiseen on panostaa aurinkoenergiaan, joka mahdollistaa paikallisen energiantuotannon ja on samalla kustannustehokas ratkaisu kiinteistön energialuokituksen kohentamiseksi.

Ala kehittyä kovaa vauhtia ja aurinkojärjestelmien valmistajat kiinnittävät entistä enemmän huomiota aurinkoenergiajärjestelmien hyötysuhteen parantamiseen. Panostaminen aurinkoenergiaan ja puhtaampaan energiantuotantoonkehitystyöhön osallistumalla pystymme vaikuttamaan ilmastoasioihin.

Aurinkoenergiajärjestelmien hyöty ja kannattavuus ovat siinä, että ylijäämäenergia on mahdollista myydä paikalliselle sähköyhtiölle. Lisäksi kasvavien energiansiirtomaksujen poisjäänti tai pieneneminen nostaa aurinkoenergiajärjestelmien kannattavuutta, kun siirrettävää ostoenergiaa on vähemmän. Sähköyhtiöt ostavat mielellään aurinkosähköä yksityistuottajilta. Sähköyhtiöiden tariffihinnat vaihtelevat yhtiöittäin.

2 MITÄ AURINKOENERGIA ON?

2.1 Yleistä aurinkoenergiasta

Aurinkoenergia on auringon tuottamaa sähkömagneettista säteilyä, joka muutetaan aurinkokennoissa sähköenergiaksi. Säteilyenergian voimakkuus Suomessa on noin 900 W/m². Tuotantoon vaikuttaa valon määrä, jonka aurinkopaneeli tai aurinkokeräin ottaa vastaan. Suomessa aurinkoenergiakapasiteetti 20 MWp (2015) ja aurinkoenergian tuotto oli 7752 MWh. Vuonna 2015 oli verkkoonkytkettyjä aurinkoenergiajärjestelmiä yhteensä 7,9 MW ja verkkoon kytkemättömistä aurinkoenergiajärjestelmistä ei ole tilastoitua tietoa. Auringon tuottama kokonaisteho maapallon pinnalle on noin 173500 TW, josta hyödynnetään vain murto osa. (Motiva 2016)

Säteilyenergiaa kerätään eritehoisilla aurinkokennoilla ja aurinkokeräimillä talteen ja hyödynnetään moneen eri käyttötarkoitukseen. Aurinkoenergiaa muokataan erilaisilla käyttösovelluksilla käyttötarpeen mukaan. Aurinkoenergian hyödyntäminen on kovassa kasvussa ja kasvua nopeuttaa hyvin moni tekijä. Yksi merkittävin vaikuttava tekijä on aurinkoenergiajärjestelmien hyötysuhteen paraneminen, energian siirtomaksujen kasvu ja kiinnostus uusiutuvaan energiaan on viime vuosina kasvanut merkittävästi.

TAULUKKO 1. Auringon säteilytehon jakautuminen maapallolla (Wikipedia 2007)

	Teho (TW)	Prosenttiosuus (%)
Kokonaisteho	172 500	100
Heijastuma	50 000	29
Ilmakehä	41 400	24
Vesistöt	65 400	38
Maaperä	15 600	9
Biosfääri	133	0,08
Ihmiskunta	13	0,008

TAULUKKO 2. Euroopan maiden aurinkoenergian tilastoitu tuotantokapasiteetti vuonna 2015 (IRENA 2016)

Maa	(MWp)
Saksa	39 636
Italia	18916
Iso-Britannia	9077
Espanja	7132
Ranska	6549
Belgia	3200
Alankomaat	1288
Ruotsi	85
Suomi	20

2.2 Aurinkolämpö ja aurinkovoimalat

Aurinkolämpö on auringon magneettisen säteilyn aiheuttamaa lämpöä pisteessä, jossa se kohtaa pinnan, jota se ei läpäise. Tällöin auringon säteilyenergia siirtyy kohteeseen lämpönä ja lämmön siirtymään vaikuttaa pinnan väri, materiaali, valon tulokulma ja puhtaus. Pinnan materiaali, muoto, tulokulma ja puhtaus vaikuttavat pinnan keräämään lämpöenergian määrään, joka varastoituu materiaaliin ja lämpöenergian heijastuman suuruuteen.

Aurinkolämpövoimaloissa auringon tuottama lämpöenergia ohjataan peilien avulla haluttuun kohteeseen. Peilien tarkoituksena on kerätä auringon tuottamaa lämpöenergiaa mahdollisimman laajalta pinta-alalta lämmitettävään kohteeseen, joka yleensä on nestesäiliö. Nestesäiliöstä lämpöenergia ohjataan sähköä tuottavaan laitteistoon.

TAULUKKO 3. Viisi Suomen suurinta aurinkovoimalaa (NeroWatt Oy, 2016)

Kohde, kunta ja asennusvuosi	Teho (MWp)
Solar Park Rauma 2017-	8,7
Salo Energia 2016-(2017)	1-2,5
K-Citymarket Länsikeskus, Turku 2015	0,900
Kivikon aurinkovoimala Helsinki 2016	0,853
Sallila Energia Oy Loimaa 2016	0,735
Suomen Voima Oy Hamina 2016	0,720

Kuten taulukosta 3 voimme havaita, että aurinkoenergiaan on alettu panostamaan viime vuosina ja kasvunäkymiä on olemassa lähitulevaisuudessa. Kasvunäkymiä vauhdittavat tiukentuvat CO₂-päästö- rajoitteet ja kiinteistöjen energialuokituksen vaatimusten kiristyminen.

2.3 Aurinkosähkö ja aurinkosähköpaneelistot

Aurinkosähkössä hyödynnetään auringon näkyvän valon säteilyä. Aurinkosähköpaneelien tehtävänä on muuttaa fotonien energiaa sähköksi ja se siirretään aurinkoenergiajärjestelmään hyödynnettäväksi eri käyttötarkoituksiin. Käyttötarkoituksia voi olla yksittäisen sähköttömän pienkiinteistön sähköistys tai suurempana kokonaisuutena rinnankytkettynä julkiseen sähköverkkoon, jolloin ylijäämäenergia voidaan myydä energiayhtiöille. Kuluttajalla on mahdollisuus varastoida sähköenergiaa akustoihin, jolloin sateisena tai pilvisenäkin päivänä sähköenergiaa on käytettävissä kiinteistön perustarpeisiin. Sateisena ja pilvisenä päivänä energian tuotanto on vähäistä, koska auringonvalon määrä on pieni, jolloin tuotettavaa sähköenergiaa on vähemmän.

Aurinkopaneeleita käytetään monissa eri käyttökohteissa, eikä niitä ole erikseen suunniteltu johonkin tiettyyn käyttötarkoitukseen. Asennustelineet suunnitellaan aina kohteen mukaan. Aurinkopaneelikoostuu monesta pienestä valosähköisestä kennosta. Paneelista on olemassa yksikiteisenä ja monikiteisenä. Kehitteillä on Nanotekniikkaa hyödyntävä paneeliteknikka, jossa hyötysuhde on yli 40 %, mutta niiden markkinoille tuloa odotellaan vielä.



KUVA 1. Monikideaurinkopaneeli (ANJ Solutions Oy 2016)



KUVA 2. Invertteri (ANJ Solutions Oy 2016)

Invertterin tehtävä on muuttaa aurinkopaneelilta tulevan jännitetason vastaamaan samaa jännitettä verkon kanssa ja muuntaa tasasähkön vaihtosähköksi. Lisäksi invertteri toimii erottimena aurinkopaneeliston ja verkon välillä. Verkkoon liitettävät invertterit sisältävät ohjelmiston, jolla määritellään sähkönlaadulle raja-arvot.



KUVA 3. Yksittäisen paneelin kiinnitystelineet katolle tai seinään (ANJ Solutions Oy 2016)



KUVA 4. Asennusteline maahan (ANJ Solutions Oy 2016)

Maahan asennettaessa aurinkoenergiajärjestelmää tulee kiinnittää huomiota lupakäytäntöihin ja siihen, miten eri vuodenaajat vaikuttavat telineistön maahan kiinnityksen. Kiinnitys tapahtuu joko pulttaamalla kiinteään kallioon tai rakentamalla ankkuroinnin, joka kestää maan routimisen sekä taakan joka telineille kohdistuu.

3 SÄHKÖTURVALLISUUSMÄÄRÄYKSET AURINKOENERGIAJÄRJESTELMILLE

3.1 Turvallisuusvaatimukset

Kiinteistöissä aurinkopaneeleilta tuleva jännite ei saa ylittää 1000 voltia. Yli 1000 V tasajännitteellä on rajattava maallikon pääsy paneeliston, kaapelointiin ja suojaukseen ja pääsy sallittu vain ammattihenkilöille. Maallikko on henkilö jolla ei ole sähköalan koulutusta tai riittävää perehdytystä ja ammattihenkilöllä on sähköalan koulutus ja riittävä työkokemus sekä perehdytys. (SFS 607 2015, 28)

3.1.1 Sähköiskulta suojautuminen

Sähköiskulta suojautumisessa on noudatettava määräyksiä. Määräykset vaativat, että missään tilanteessa ei saa aiheutua vaaraa hengelle, omaisuudelle, eläimille tai muutoin aiheuttaa suurta vahinkoa välittömässä vaikutuspiirissä olevalle ympäristölle. Suojaus toteutetaan maadoittamalla paljaat metalliosat ja toteuttamalla potentiaalintasaus. Maadoittamista ja potentiaalintasausta käsitellään tarkemmin kohdassa 3.5.

Sähköiskulta suojautuminen jaetaan kolmeen osaan, jossa ensimmäinen on perussuojaus, toinen vikasuojaus ja kolmas lisäsuojaus

Sähköiskulta suojautuminen vaatii perussuojauksen, joka toteutetaan koteloinnilla. Koteloinnilla estetään ihmisiä joutumasta kosketuksiin jännitteisten osien kanssa normaaliolosuhteissa. Perussuojauksessa on olemassa kahta erilaista menetelmää.

- 1) Suojaus kaikenlaiselta koskettamiselta, jolloin kotelointiluokka on oltava vähintään IP20
- 2) Suojaus tahattomalta kosketukselta, jolloin suojauksessa käytetään esteitä tai sijoittamalla jännitteiset ja johtavat osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle

Eristämällä jännitteiset osat koteloidamalla, muodostetaan suojaus, jota voidaan käyttää kaikissa olosuhteissa. Koteloinnissa on kuitenkin huomioitava kotelointiluokat eri olosuhteille. IP20 suojaa vain tahattomalta kosketukselta ja jonkin verran pölyltä sekä muilta pieniltä partikkeleilta.

Kotelointiluokissa ensimmäinen numero ilmaisee vierasaineen suojausta ja toinen ilmaisee vesitiivyyttä.

Ensimmäisen numeron merkitykset:

- 2 – jännitteiset osat kosketussuojattu sormen kosketukselta
- 3 – jännitteiset osat suojattu työkaluilta, jonka maksimi halkaisija on 2,5 mm
- 4 – jännitteiset osat suojattu langalta, jonka maksimi halkaisija on 1 mm
- 5 – kotelon sisäosat suojattu haitalliselta pölyltä ja muilta esineiltä
- 6 – kotelo on pölynpitävä

Toisen numeron merkitys:

0 – vedeltä suojaamaton

1 – suojattu suoraan ylhäältäpäin tippuvalta vedeltä

3 – suojattu sateelta (ei lähellä maata)

4 – suojattu roiskuvulta vedeltä

5 – suojattu vesisuihkulta





7 – suojattu vedeltä

8 – suojattu painevedeltä, johonkin tiettyyn syvyyteen tai paineen suuruuteen saakka. Arvo merkitään yleensä erikseen

x – vesisuojauksen tasoa ei ole ilmoitettu tai se ei ole tarpeen

(Sähköinfo Oy 2015)

Kosteissa ja märissä sekä ulkotiloissa käytettävien laitteiden kotelointia ilmaisevat tunnuksat:

IP 21		Tippuvedenpitävä
IP 23 tai IP 43		Sateenpitävä
IP 34 tai IP 44		Roiskevedenpitävä
IP 67		Vedenpitävä

KUVA 5. Kotelointiluokkaa voidaan myös ilmaista tunnuksilla, jotka ovat CEE:n mukaisia kuvatunnuksia (D1-2012)

Tahattomalta kosketukselta suojausta käytetään vain erityistapauksissa. Erityistapaukset ovat yleensä tiloja, joihin on pääsy vain sähköalan ammattihenkilöillä tai opastetuilla henkilöillä tai henkilöillä, joita ammattihenkilöt tai opastetut henkilöt valvovat. Suojaustapoja ovat esteet ja sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle. (D1-2012, 79)

Sähköiskulta suojaus vaatii perussuojausten ja erillisen vikasuojausten toteutumista. Usein vaaditaan myös, että käytetään lisäsuojauksia. Lisäsuojauksia määritellään määrätyissä ulkoisissa olosuhteissa ja määrätyissä erityistiloissa tiettyjen ehtojen mukaisesti.

Käytettäviä vikasuojaus menetelmiä:

- **syötön automaattinen poiskytkentä**, jossa suojaus toteutetaan eristämällä jännitteiset osat perussuojauksella, suojuksella tai koteloimalla ja potentiaalintasauksella sekä automaattisella poiskytkennällä. Lisäsuojauksena käytetään määritellyissä kohteissa mitoitusvirraltaan enintään 30 mA:n vikavirtasuojaa.
- **kaksoiseristys tai vahvistettu eristys**, jossa perussuojaus on toteutettu peruseristyksellä ja vikasuojaus on toteutettu lisäeristyksellä. Lisäksi voidaan toteuttaa jännitteisten osien ja kosketeltavien osien välisellä vahvistetulla eristyksellä, jonka tarkoitus on estää vaarallinen jännite sähkölaitteen kosketeltavissa osissa eristysvian johdosta.
- **sähköinen erotus** syöttämään tiettyä kulutuslaitetta, jossa perussuojaukseen käytetään peruseristystä, kotelointia tai suojuksia ja vikasuojaukseen käytetään yksinkertaista erotusta muista piireistä ja maasta. Mikäli ei ole käytössä perussuojausta tai vaaditaan parempi suojaustaso, käytetään kaksoiseristyksellä varustettua suojaerotusmuuntajaa. Sähköisesti erotetun piirin jännitteisiä osia ei saa missään kohtaan kytkeä toiseen virtapiiriin mihinkään pisteeseen tai maahan.
- **pienoisjännite** on menetelmä, joka koostuu jommasta kummasta pienoisjännitejärjestelmästä: SELV tai PELV – järjestelmästä, jossa jännitettä rajoitetaan jännitealueen I ylärajalle 50 V vaihtojännitettä tai 120 V tasajännitettä. Järjestelmä erotetaan suojaerotuksella muista kuin SELV- tai PELV-järjestelmien piireistä ja peruseristyksellä SELV- tai PELV- järjestelmän ja muiden SELV- tai PELV-järjestelmien välillä. Vain SELV-järjestelmillä, peruseristys SELV-järjestelmän ja maan välillä.

Lisäsuojauksena käytetään vikavirtasuojalaitteita, jotka ovat mitoitusvirraltaan enintään 30 mA ja jota käytetään vaihtojännitejärjestelmän lisäsuojana, joka toimii perussuojauksen ja vikasuojauksen vioissa, kun käyttäjä on varomaton. Vikavirtasuojaa ei saa käyttää yksinomaan suojausmenetelmänä, eikä se poista tarvetta käyttää muita vaadittuja ja määriteltyjä suojausmenetelmiä. Lisäsuojana voidaan myös käyttää suojaavaa lisäpotentiaalintasausta, johon pitää sisältyä kaikki samanlaisesti kosketeltavat jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat. Lisäpotentiaalintasaukseen on liitettävä rakennuksen betonirakenteiden pääteräkset ja on liitettävä yhteen laitteiden ja pistorasoiden suojamaadoitusjohtimeen. (SFS 600-1 2012, 479–485 ja D1-2012, 78–82)

Aurinkosähköjärjestelmissä järjestelmää suojataan vikavirralla valvontajärjestelmällä, kun tehomuunnin on kytketty maadoitettuun vertailupiiriin, jossa on automaattinen poiskytkentä suljettu. Mittattavana on tehollinen kokonaisjännösvirta, jossa on vaihto- ja tasasähkökomponentit. Vikavirran valvontaa ei tarvita, jos invertteri on kytketty virtapiiriin, joka on maasta erotettu ja paneelistoa ei ole kytketty toiminnalliseen maadoitukseen. Vikavirtailmaisimen on havaittava liian suuret jatkuvat vikavirrat ja niiden suuret muutokset.

Vikavirroille on määritelty raja-arvot:

1) Jatkuva vikavirta, jossa järjestelmän on katkaistava 0,3 sekunnin aikana ja vikailmoitus on toteutettava niin, että käyttäjä tulee varmasti tietoiseksi viasta. Kun hälytys aktivoidaan, se on toiminnassa, kunnes järjestelmä sammutetaan tai vika on korjattu. Järjestelmän on havaittava liian suuret vikavirrat ja virtojen suuret muutokset noudattaen seuraavia raja-arvoja:

- enintään 300 mA järjestelmälle, jonka jatkuva mitoitusteho on enintään 30 kVA
- enintään 10 mA kilovolttiampeeria kohden jatkuvalla mitoitetulle lähtöteholle, tehomuuntimilla joiden lähtöteho on suurempi kuin 30 kVA.

Suuremmissa osapaneelistoissa suositellaan hajautettua vikavirran valvontaa, koska se mahdollistaa pienempien kynnysarvojen käyttöä vikavirtasuojauksessa. Hajautettu vikavirran valvonta helpottaa vikatilanteissa vian tunnistamisessa ja auttaa tunnistamaan vian vaikutukset.

TAULUKKO 4. Eristysvastuksen raja-arvot eristysvian havaitsemiseksi eristyksen ja maadoituksen välillä (SFS 607 2015, 33)

Järjestelmän teho [kW]	R (raja-arvot) [kΩ]
≤ 20	30
>20 – 30	20
> 30 – 50	15
> 50 – 100	10
> 100 - 200	7
> 200 – 400	4
> 400 – 500	2
≥ 500	1

2) Vikavirran äkilliset muutokset, jolloin tehomuunnin on poiskytkettävä kaikista lähtöjen maadoitettua virtapiireistä taulukossa 5 esitettyissä arvoissa ja vikailmoitus on ilmoitettava niin, että käyttäjä tulee varmasti tietoiseksi viasta. Kun hälytys aktivoidaan, se on toiminnassa kunnes järjestelmä sammutetaan tai vika on korjattu. Jos vikavirran tehollisarvoissa tapahtuu äkillinen muutos, joka noudattaa seuraavia arvoja:

TAULUKKO 5. Vasteaikojen raja-arvot vikavirran äkillisille muutoksille (SFS 607 2015, 34)

Vikavirran äkilliset muutokset [mA]	Maadoitettujen piirien suurin sallittu poiskytkentäaika [s]
30	0,3
60	0,15
150	0,04

Vikavirran valvontajärjestelmä voi yrittää uudelleen kytkentää, jos kynnyksiarvo on pienempi kuin 300 mA ja paneeliston eristysvastus täyttää raja-arvot. (SFS 607 2015, 32–34)

3.1.2 Ylivirralla suojautuminen

Aurinkopaneelit ovat virtarajoitettuja lähteitä, mutta niihin voi kohdistua ylivirrasta johtuvia ylikuormituksia. Vikavirta voi muodostua maadoitusviasta, oikosulusta aurinkopaneelissa, liitännäsiassa, jakorasiassa tai kaapeloinnissa. Lisäksi ylivirta voi muodostua lähellä olevista rinnakkaisista laitteista, tietyistä invertterityypeistä, joihin paneelisto on kytketty tai ulkoisista lähteistä.

Vaatimukset ylivirtasuojaukselle ovat;

Ylivirtasuojaus on toteutettava aina kun järjestelmään on kytketty akusto. Paneeliston pääkaapelin suojaus toteutetaan akuston välittömässä läheisyydessä. Kun kyseessä on muu tapaus, niin ylivirtasuojaus on toteutettava paneeliston pääkaapelia suojaten, akkujärjestelmästä lähtevältä vikavirralla. Suojalaitteiden on kyettävä katkaisemaan akustolta lähtevä suurin mahdollinen oikosulkuvirta. Ylivirtasuojauksen on kuitenkin kestettävä kuormituksesta johtuvaa ylivirtaa 2 h ajan 135 % ylivirtaa mitoitettuun nimellisvirtaan.

Jos käytössä on katkaisija, jossa on ylivirtasuojatoiminto, silloin katkaisijaa voidaan käyttää erottamiseen. Erottamisen tehtävä on erottaa paneelisto ja tehomuunnin huoltotoimenpiteitä varten, jotta toimenpiteet voidaan tehdä turvallisesti.

Ylikuormitussuojien sekä kuorman katkaisu- ja erotuskeinojen tulee sijaita mahdollisimman kaukana kaapelin päätekohtassa. (SFS 607 2015, 28–34)

3.2 Tekniset vaatimukset yleiseen pienjänniteverkkoon

– Laitteistolta vaaditaan jokaisessa virhetilanteessa katkaisu ja että katkaisu on mitoitettu toimimaan oikein jakeluverkkoyhtiön suojalaitteiden kanssa.

– Maadoituksessa on noudatettava kohdassa 3.5 mainittuja ohjeita. Lisäksi mikrogeneraattorit, jotka on kytketty toimimaan jakeluverkkossa, on noudatettava seuraavia ohjeita ja määräyksiä. Järjestelmät, jotka kytketään invertterin välityksellä verkkoon, voidaan kytkeä tasasähköpuolen toinen napa jakeluverkon maadoitukseen, mikäli invertterin tasa- ja vaihtosähköpuoli on erotettu toisistaan. Tällöin asentajan tai valmistajan on huolehdittava varotoimenpiteistä, ettei se huononna jakeluverkon toimintakykyä, eikä missään ennakoitavassa käyttöolosuhteessa kärsi vaurioita.

– Aurinkopaneelien on kyettävä toimimaan määritetyllä normaalilla käyttöalueella rakenteesta ja liitännälaitteiden suojauksista huolimatta. Jatkuvan jännitteen toiminta-alueella paneelisto ei saa katkaista jännitettä, kun liitoskohdan jännite pysyy alueella $0,85 * U_n - 1,1 * U_n$ välillä. Laitteiston omistajan on huomioitava jännitteen muutokset asennuksen sisällä, kun harkitaan laajempaa toiminta-aluetta aurinkoenergiajärjestelmälle. Liian suuret muutokset voivat aiheuttaa järjestelmään liitettyjen laitteiden rikkoontumista tai toimimattomuutta alhaisen jännitteen vuoksi.

– Aurinkopaneelien on kyettävä toimimaan jatkuvasti, kun liitoskohdan taajuus pysyy alueella 49 Hz – 51 Hz. Aurinkokennoilla on kyky vähentää tehoa koko toiminta-alueella.

Alitaajuudella toiminnan on kyettävä toimimaan alentamatta maksimitehoa mahdollisimman vähän. Alitaajuudella 47,5 Hz – 49 Hz välillä toiminnan aikajakso saa olla enintään 30 minuuttia, jonka jälkeen järjestelmän on kyettävä kytkeytymään irti jakeluverkosta.

Ylitaajuudella 51 Hz – 51,5 Hz välillä toiminnan aikajakso saa olla enintään 30 minuuttia, jonka jälkeen järjestelmä on kyettävä kytkeytymään irti jakeluverkosta. Saarekäytössä on otettava huomioon tehon pienentäminen, joka voi korjata kaikki sähköntuoton ylitykset. Tämä toiminta johtaa tuotannon ja kulutuksen tasapainoon. Vakaan taajuuden tilanne voi johtaa tilanteeseen, että saarekäytön ilmaisun oikea käyttäytyminen voi estyä.

Jos on teknisesti mahdotonta säätää tehoa täyden statiikan alueella vaaditussa ajassa, on pätötehon taajuusvasteen ulostuloteho saatava nopeasti hallittavissa olevalle alueelle. Kun taajuusvaste on saatu hallittavalle alueelle, tämä tehotaso on pidettävä vakiona. Ylitaajuuden erotusrajan määrittelee jakeluverkon haltija. Jos sitä ei ole erikseen annettu, oletustaajuutena on 51,5 Hz.

– Paneeliston on kyettävä toimimaan normaaleissa olosuhteissa sallittujen jännitevaihteluiden alueella sekä loistehon vaihtelualueella. Loistehon sallitut vaihteluvälit ovat ja jotka jakeluyhtiöt ovat määritelleet:

Tehokerroin $\cos\varphi_{Kap} = 0,90$ (alimagnetoitu) - $\cos\varphi_{Ind} = 0,90$ (ylimagnetoitu) vaihtelualueella, kun paneeliston lähtöpätöteho on ≥ 20 % nimellispätötehostä. Loistehoa syötetään enintään 10 % nimellispätötehostä, kun lähtöpätöteho on < 20 % nimellispätötehostä. Alimagnetoinnissa paneelisto kuluttaa loistehoa ja ylimagnetoinnissa tuottaa loistehoa. Normaaleissa olosuhteissa tehokertoimen tulee olla yli 0,95 nimellijännitteen vaihtelualueella. Paneeliston aktiivinen teho on oltava yli 20 % nimellistehon ja alle 20 % teholla paneelisto saa tuottaa loistehoa enintään 10 % nimellisestä lähtöpätötehostä.

– Liitäntälaitteiden suojaustoimintojen tarkoitus on varmistaa, ettei aurinkoenergiajärjestelmän liittäminen jakeluverkkoon heikennä jakeluverkon toimintakykyä eikä käyttöturvallisuutta. Suojaustoimintot tulee sietää jakeluverkon jännite- ja taajuusvaihtelut. Aurinkopaneeliston on kyettävä kytkeytymään irti jakeluverkosta suojaustoiminnan seurauksena. Liitäntälaitteiden asetusarvojen muuttaminen on sallittua vain jakeluverkon haltijan toimesta. Asetukset määritellään käyttöönoton yhteydessä tai uudelleen asetteluun yhteydessä jakeluverkkoyhtiön kanssa tehdyn kirjallisen sopimuksen mukaisesti ja tällöinkin valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Jakeluverkon haltija määrittelee liitäntälaitteiden suojausasettelut ja jos niitä ei ole erikseen annettu sovelletaan oletusasetuksia.

TAULUKKO 6. Liitäntälaitteen suojauksen oletusasetukset (SFS 607 2015, 139)

Parametri	Maksimi katkaisuaika	Maksimi toiminta-aika	Laukaisuarvo
Ylijännite – porras 1	3 s	-	230 V +10 %
Ylijännite – porras 2	0,2 s	0,1 s	230 V +15 %
Alijännite	1,5 s	1,2 s	230 V – 15 %
Ylitaajuus	0,5 s	0,3 s	52 Hz
Alitaajuus	0,5 s	0,3 s	47,5 Hz

Katkaisuaikojen sallittu vaihteluväli on ± 10 %.

Yksittäinen vika ei saa johtaa suojaustoiminnan menetykseen. Yksittäisen vian tulee osoittaa ilmaisella ja järjestelmän tulee irtikytkä tehoa tuottavan yksikön tai järjestelmän irtikytkentä.

– Taajuusalue, jännitealue, havaintoaika ja tehon muutosnopeus on oltava asetettavissa kohteessa.

Säädettävät asetellut on suojattava luvattomilta toiminnoilta, mikäli jakeluverkkoyhtiö sitä vaatii.

Asettelualueiden luvattomien toimintojen suojaus tapahtuu yleensä sinetöimällä tai salasanalla.

Laitteiston kytkentä toimintaa varten on sallittu, kun jännite ja taajuus ovat sallittujen arvojen sisällä tietyn havaintoajan. Ehdot riippuvat siitä, että onko kytkentä normaalikäytön käynnistys vai automaattinen jälleen kytkentä suojauslaukaisun jälkeen.

Automaattisen jälleen kytkennän oletusasetukset ovat:

Taajuusalue: $47,5 \text{ Hz} \leq f \leq 50,05 \text{ Hz}$

Jännitealue: $0,85 U_n \leq U \leq 1,10 U_n$

Pienin havaintoaika: 60 s

Tuotantoyksikön tuottama pätöteho ei saa ylittää määriteltyä muutosnopeutta. Jos jakeluverkkoyhtiö ei ole määritellyt muutosnopeutta, pidetään oletusarvona 10 % P_n/min .

Käynnistys sähkötehon tuottamista varten sovelletaan jakeluverkon haltijan määrittämiä arvoja ja jos ei ole määritelty, asetetaan oletusarvot, jotka ovat:

Taajuusalue: $47,5 \text{ Hz} \leq f \leq 50,01 \text{ Hz}$

Jännitealue: $0,85 U_n \leq U \leq 1,10 U_n$

Pienin havaintoaika: 60 s

Tehon muutosnopeus ei saa ylittää jakeluverkon haltijan kytkennän hyväksyessään määrittelemää tehon muutosnopeutta. Käyttöpaikalla suoritettu manuaalikäynnistyksessä on sallittua poiketa havainnointiajasta ja muutosnopeudesta. Aurinkoenergiajärjestelmän synkronointi jakeluverkon kanssa on oltava täysin automaattinen ja kytkimen sulkeminen manuaalisesti kahden järjestelmän välillä synkronoinnin suorittamiseksi ei saa olla mahdollista. Tehon laadussa on annettu määritelmä, ettei sähköä tuottava yksikkö saa tuottaa tasavirtaa verkkoon.

(SFS 607 2015, 141)

3.2.1 Aurinkosähköjärjestelmän kytkeminen jakeluverkkoon

Aurinkosähköjärjestelmällä tarkoitetaan mikrotuotantolaitteistoa, jonka päätarkoitus on tuottaa sähköenergiaa omaan käyttöön ja joka on liittynyt verkkoon enintään 16 A sulakkeella.

Mitään sähköä tuottavaa laitteistoa ei saa kytkeä jakeluverkkoon ilman verkonhaltijan lupaa ja lupa liittyä sähköjakeluverkkoon tulee hakea mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Jos sähköenergiaa syötetään verkkoon, niin mittauslaitteiden tulee täyttää jakeluverkonhaltijan tekniset vaatimukset.

Kuluttajan halutessa käyttää rinnankäyvää sähköntuotantolaitosta varavoimana, tulee järjestelmässä olla kaksoiskytkentämahdollisuus, jossa toisella kytkennällä järjestelmä toimii rinnan jakeluverkon kanssa ja toisella kytkennällä saarrekekytössä.

Ennen liittämistä verkkoon tulee verkonhaltijalle toimittaa tiedot teknisistä ominaisuuksista ja verkon haltija antaa luvan liittyä jakeluverkkoon. Verkonhaltija tarvitsee arviointia varten seuraavat tiedot:

- Verkkoonliityntälaitteiden ja mahdollisten lisälaitteiden tyyppikilpien tiedot ja suurin laitteen syötämä vikavirta
 - Testauspöytäkirja, josta tulee selvittää, että laitteisto täyttää suojausvaatimukset ja laitteisto täyttää EMC-vaatimukset
 - Tuotantolaitteiston verkkoon kytkeytymistapa (automaattinen/manuaalinen) ja kytkeytymisaika
- Järjestelmän erottamisratkaisu ja erottimen tiedot

Kun järjestelmä on liitetty verkkoon, tuottajan tulee toimittaa käyttöönottopöytäkirja verkonhaltijalle. Jos laitteisto on yksivaiheinen, tulee mainita mille vaiheelle se on liitetty. Tuotantolaitos saa käyttöluvan, kun käyttöönottopöytäkirja on toimitettu verkonhaltijalle ja on antanut luvan laitoksen käyttöön. Verkkoliitännän saa suorittaa vain sellainen taho, jolla on todennettu ja varmistettu erikoispätevyys kytkeä laitteisto. (SFS 607 2015, 139–145 ja D1-2012, 317-318)

3.3 Sähkölaitteiden valinta ja asennus

Kaikkien tehomuunninlaitteiden on täytettävä IEC 62109-9 vaatimukset ja muiden komponenttien on täytettävä laitetyyppien vaatimukset. Kaapelointi ja siihen liitetyt komponentit altistuvat UV-säteilylle, tuulen, veden, lumen ja muiden sääilmiöiden vaikutuksille. Kaapeloinnin ja komponenttien tulee soveltua olosuhteisiin ja niiden tulee kestää asennusympäristön sääolosuhteet. Veden pääsy on estettävä kaapeloinnin tai paneeliston tukirakenteisiin ja sitä kautta rakennuksen rakenteisiin. Lisäksi on otettava huomioon kattorakenteiden kantavuus. Kattorakenteiden mitoituksessa ei ole välttämättä otettu huomioon, että sinne asennetaan ylimääräistä painokuormaa. Tarvittaessa on kattorakenteita vahvistettava, jotta katolle on turvallista asentaa ja että rakenteet kestäväntä asentaa aurinkopaneelistorjärjestelmän aiheuttaman lisäkuorman.

Aurinkosähköpaneelien tulee noudattaa laitestandardeja ja jos paneeliketjun jännite ylittää 120 V, suositellaan käyttämään luokan II rakennetta tai jossa on vastaava eristys. Paneelisto tulee asentaa valmistajan ohjeiden mukaisesti siten, että lämpö pääsee haihtumaan silloin, kun auringonsäteily määrä on voimakkaimmillaan. Valosähköisiä paneelistoja voidaan asentaa sarjaan suurimpaan sallittuun käyttöjännitteeseen saakka tai muuttajan käyttöjännitteeseen saakka, riippuen kumpi on alempi.

Ohitusdiodeja tulee käyttää järjestelmässä silloin, kuin järjestelmän tasajännite ylittää 50 V ja paneeliston valmistaja vaatii ohitusdiodin käyttöä. Ohutkalvotekniikkaa käyttävät paneelistot eivät vaadi ohitusdiodia. Estodiodia käytettäessä diodin mitoitus on oltava kaksinkertainen järjestelmän mitoitusjännitteeseen verrattuna ja kytketään sarjaan paneeliketjun kanssa.

Tasasähkölaitteiden ja komponenttien tulee täyttää laitevaatimukset, jotka sopivat tasajännitteelle ja tasavirralle. Laitteiden valinta ja asentaminen on suoritettava niin, että laitteiston kunnossapito on turvallista suorittaa aiheuttamatta laitteistolle vahinkoa. (SFS 607 2015, 35–36)

3.3.1 Kaapelit

Johtojärjestelmien valinnassa ja asennuksessa on otettava ulkoiset olosuhteet huomioon. Paneeliketjukaapelit, paneelistokaapelit ja tasajännitekaapelit on valittava ja asennettava siten, että minimoidaan maasulkujen ja oikosulkujen vaikutukset. Vaikutukset minimoidaan yleensä käyttämällä kaapeleita, joissa on vahvistettu tai kaksoiseristys. Asennusvaiheessa on oltava huolellinen ja varmistettava oikeanapaisuudesta.

Johtojärjestelmän on kestävä ulkoisia olosuhteita kuten vettä, tuulta, jään muodostumista, lämpötilaa ja auringonsäteilyä. UV-valoa kestävä kaapeli on yleensä mustaa. Jos kaapeli altistuu ympäristössä suolalle, johtimen tulee olla tinattua monisäikeistä kuparia. Tällöin estetään johtimien johtokyvyn heikkeneminen. Kaapeleiden tulee olla lämmön- ja palonkestäviä, koska kaapelit sijaitsevat sellaisissa paikoissa, että lämpötila voi nousta hyvinkin korkealle. Paneeliketjussa on suositeltavaa käyttää kaapeleita, jotka sallivat lämmön tai tuulen vaikutuksesta johtuvan paneeliston liikkumisen sekä lumen aiheuttaman rasituksen ja tarvittaessa on käytettävä vedonpoistoa.

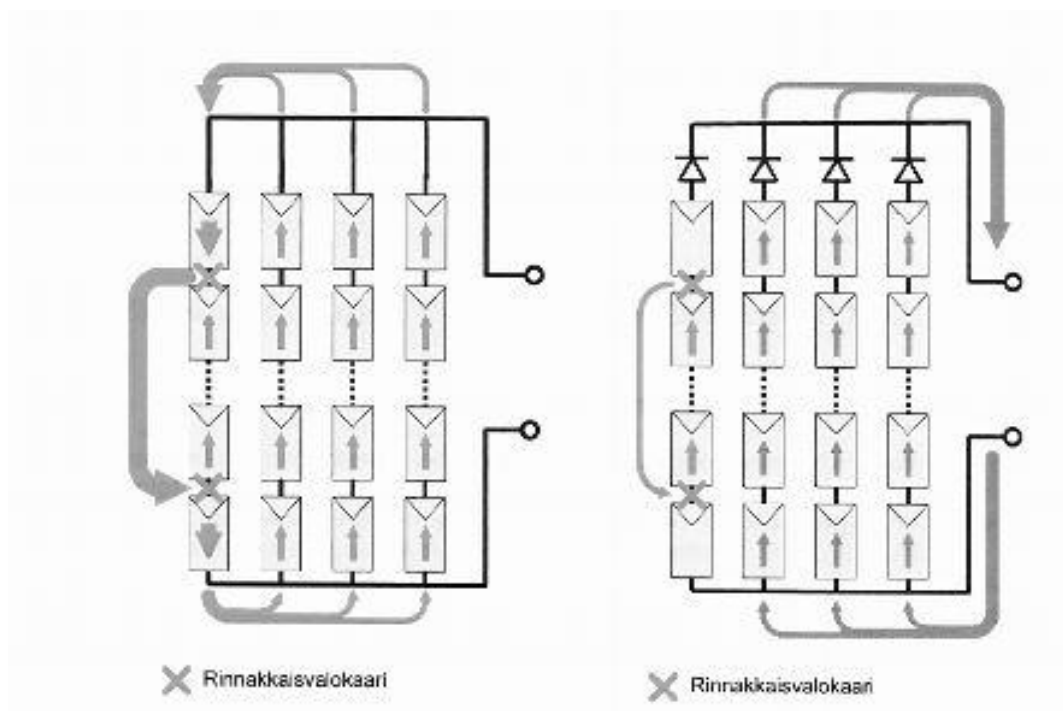
Lisäksi kaapelin valinnassa on otettava huomioon jännitteenalenemat, oikosulkukestävyys, johtimenpoikkipinta-ala ja johtimen suurin mahdollinen pituus. Aurinkosähköjärjestelmissä käytetään monisäikeisiä johtimia. Jännitteenalenema otetaan huomioon käyttämällä suurinta mahdollista jännitettä ja mahdollisimman suurta johdinpoikkipinta-alaa, jotta jännitteenalenema olisi mahdollisimman pieni. Johtojärjestelmien suojausta voidaan parantaa käyttämällä vaipallista yksijohdinkaapelia tai asentamalla kaapelit suojaputkeen tai kaapelikanavaan. Suojaputkeen asennettaessa on otettava johtimen lämpeneminen huomioon.

Kaapeliston ja asennustavan on kestävä koko suunnitellun käyttöiän, jossa on otettu huomioon ympäristötekijät. Asennustavassa on otettava huomioon johtimien mekaaninen kuluminen ja siitä johtuva vaurioituminen. Salama vahinkoja minimoiden tulee kaapelisto asentaa niin, että johdinsilmukoiden pinta-alat pidetään mahdollisimman pienenä ja kaapeliston reititys on optimoitu. Kun kaapeli tuodaan asennusrasialle, on käytettävä vedonpoistoa, jolla estetään johtimien irtoaminen liitoksesta. Lisäksi on otettava huomioon, että kotelointiluokka ei muutu kaapeloinnin sisäänkäynnissä. (SFS 607 2015, 38–40)

3.4 Estodiidi

Estodiodeilla estetään tehokkaasti aurinkosähköjärjestelmien takavirrat. Paneelistojen ylikuormitus- ja vikavirrat muodostuvat normaalisti toimivissa osissa, joiden virrat kulkeutuvat paneeliston vialliseen osaan. Vikavirrat kulkevat normaaliin toimintaan nähden vastakkaiseen suuntaan. Oikein mitoitettut ja toimivat estodiodit estävät vastakkaiseen suuntaan kulkevat vikavirrat ja vikavirrat poistuvat

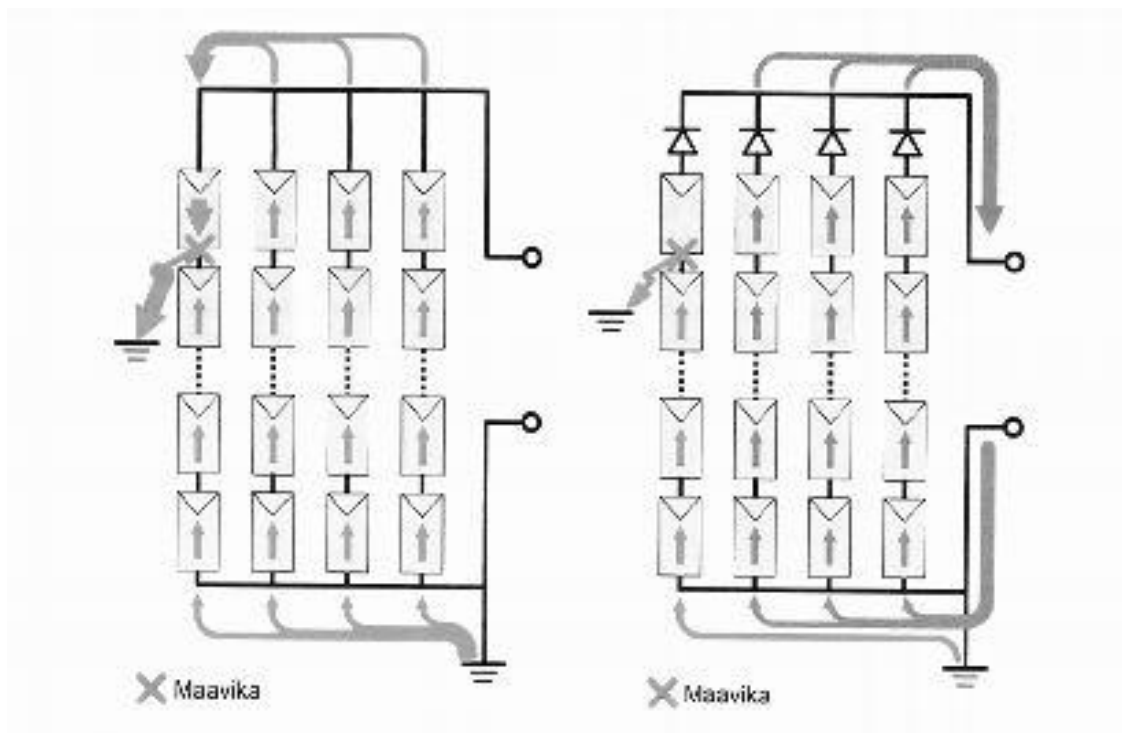
kokonaan tai ne pienenevät merkittävästi. Diodien toiminnan luotettavuus on voitava varmistaa paneeliston koko elinkaaren ajan.



KUVA 6. Estodiodin toiminta paneeliston oikosulkutilanteessa (SFS 607 2015, 56)

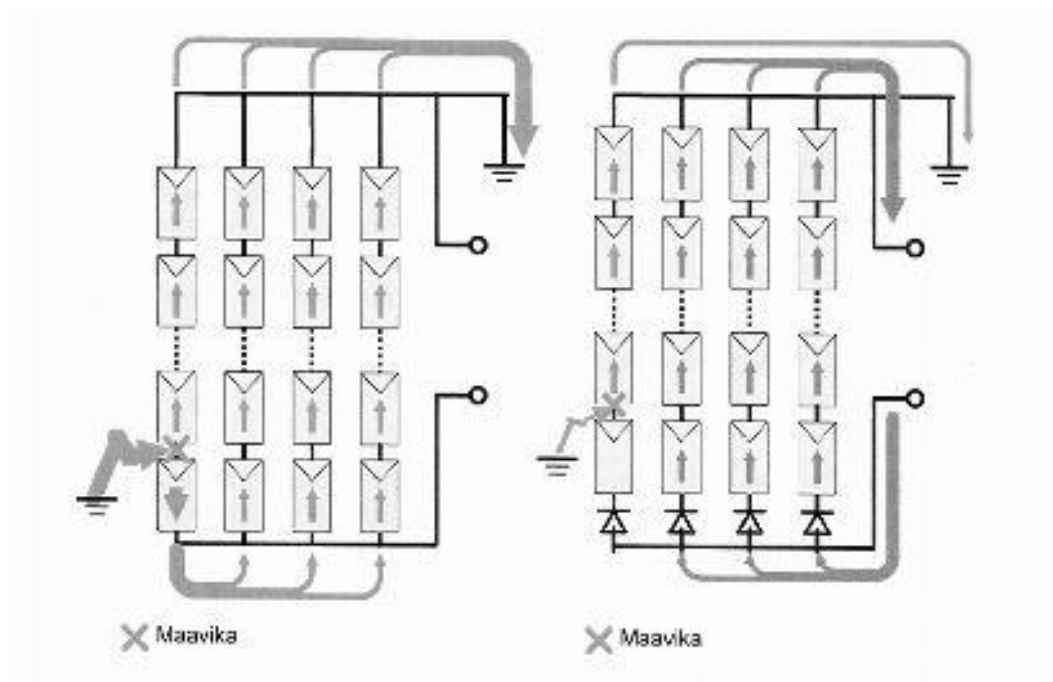
Paneeliketjussa, jossa ei ole estodiodeja muodostuu oikosulku, jolloin vikavirta kulkee viallisten paneelien kautta ja lisäksi kulkee muista paneeleista peräisin oleva vastakkaisuuntainen lisävirta. Vastakkaisuuntainen lisävirta voidaan keskeyttää ylivirtasuojauksella, jos vikavirta on suurempi kuin suojalaitteentoimintavirta.

Paneeliketjussa, jossa on estodiodeja käytetty, vikavirtaa ei voida täysin katkaista, mutta estodiodien käyttö alentaa merkittävästi vikavirtaa. Toiminta on hyödyllinen tämän tyyppisissä vioissa riippumatta siitä, onko paneelisto maadoitettu tai järjestelmässä käytetyn invertterirakenteesta huolimatta.



KUVA 7. Estodiodin toiminta paneeliston maavikatilanteessa, jossa miinusnapa on maadoitettu (SFS 607 2015, 56)

Paneeliketjun maavikatilanteessa vikavirtojen kulku, kun negatiivinen napa on maadoitettu. Huonoin tilanne on silloin, kun vikatapaus on paneelistoketjun alkupäässä, jolloin vikakohta on kaukana maadoituspisteestä. Tässä tapauksessa estodiodit tulee asentaa positiiviselle puolelle.

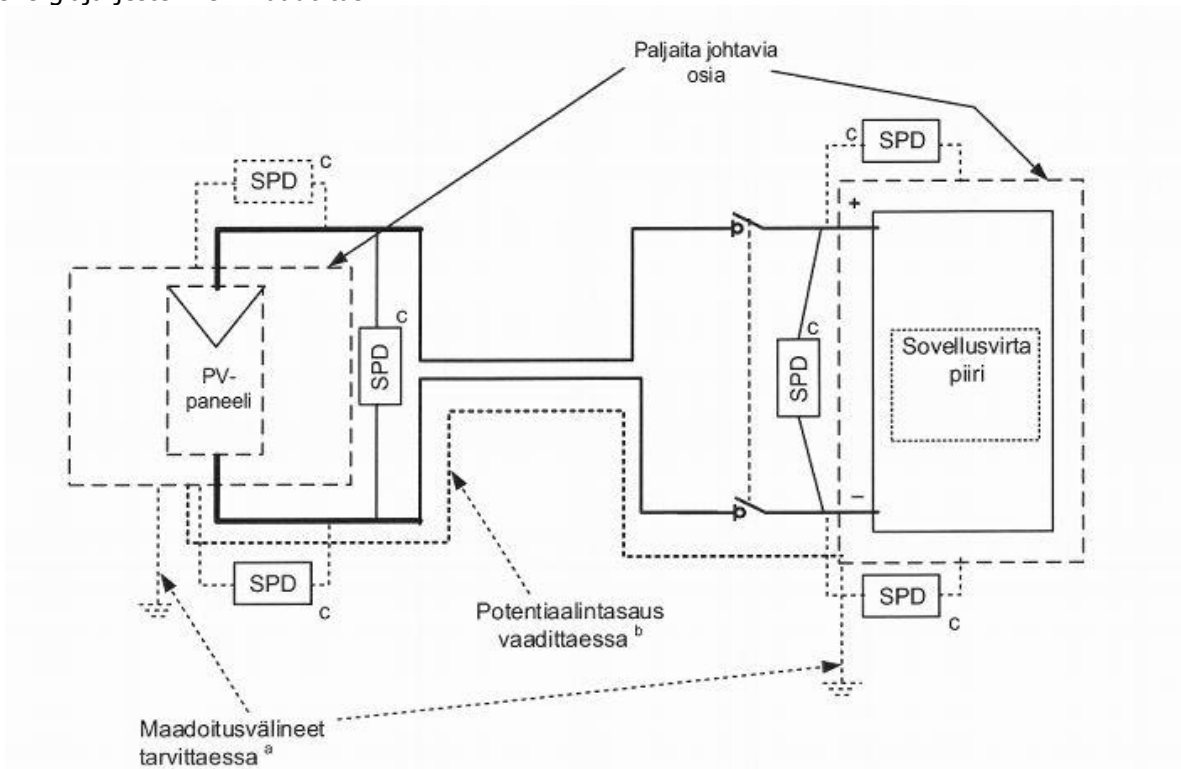


KUVA 8. Estodiodin toiminta paneeliston maavikatilanteessa, jossa plusnapa on maadoitettu (SFS 607 2015, 57)

Estodiodien käytön hyödyt tulevat selkeästi esille paneeliketjujen vikavirtojen suojauksessa (ks. kuvat 7 ja 8). Kaaviokuvissa esitetään maadoitetun paneeliston tilanteen, jossa ei ole paneeliston ja

maadoituksen välillä sarjaimpedanssia. Järjestelmään suositellaan asennettavaksi sarjavastus paneeliston ja maadoituksen välille, joka alentaa merkittävästi mahdollisen vikavirran suuruutta. Estodiodeja käytettäessä on kuitenkin huomioitava jännitehäviö, joka voi olla suuruudeltaan yli 1 V (SFS 607 2015, 58). Mitoituksessa ja suunnittelussa tulee ottaa huomioon häviöistä muodostuva lämpö ja sen johtuminen. Diodin lämpötilojen hallinta turvallisissa rajoissa, voi olla tarpeellista käyttää jäähdytyslementtiä. (SFS 607 2015, 55–58)

3.5 Aurinkoenergiajärjestelmien maadoitus



KUVA 9. Aurinkosähköjärjestelmän paljaiden johtavien osien maadoitus (SFS 607 2015, 47)

Paljaiden metalliosien maadoituksessa ja potentiaalintasauksessa on käytävissä seuraavat vaihtoehdot.

- 1) Muiden kuin virransyöttöön kuuluvien johtavien osien toiminnallinen maadoittaminen ja potentiaalintasaus on tarvittaessa toteutettava kytkemällä sähköasennuksen päämaadoitusliittimeen.
- 2) Maadoitus toteutetaan yhtenä osana salamasuojajärjestelmää.
- 3) Potentiaalintasaus tehdään eri potentiaalierojen estämiseksi asennuksissa
- 4) Toiminnallinen maadoitus voidaan käyttää myös virransiirtotienä käytettyä napaa, jolloin maadoittaminen on toiminnallinen maadoitus

Maadoitus voidaan toteuttaa yhdellä tai useammalla edellä mainitulla tavalla ja koko sekä sijainti riippuvat sen toiminnasta. Paljaiden johtavien osien maadoitus toteutetaan vähintään käyttäen 6 mm² kuparijohtinta tai vastaavaa. Mikäli samassa kokoonpanossa on salamasuojaus, niin silloin on käytettävä suurempia johtimia. Tällöin minimi maadoitusjohtimen poikkipinta on 16 mm².

Erillisiä maadoituselektrodeja käytettäessä on elektrodi kytkettävä päämaadoitusliittimeen käyttäen potentiaalintasausjohtimia. (SFS 607 2015, 45–46)

3.6 Akusto

Akuston päätehtävä on varastoida ylituotettu sähköenergia talteen myöhempää käyttöä varten. Tarpeelliseksi varastoidun energian hyödyntäminen tulee kyseeseen silloin, kuin sähköenergian kulutus ylittää paneelistojen tehon tuoton. Kyseessä voi olla hetkellisestä kulutuksesta johtuvaa tai sääolosuhteista johtuvaa energiantuottovajetta.

Akustojen perussuojausta ei välttämättä vaadita. Suojaus vaaditaan yli 60 V tasajännitteelle. Akusto suositellaan sijoitettavaksi sellaiseen paikkaan, etteivät sivulliset henkilöt pääse koskettelemaan jännitteisiä osia. Akustojen navat suojataan kosketussuojalla. Jos napojen kosketussuojausta ei käytetä tulee akusto sijoittaa sähkötilaan. Sähkötilassa akusto sijoitetaan mieluiten omaan tilaan. Jakokeskus- tai kytkinlaitetilassa akusto sijoitetaan riittävän kauaksi keskuksen hoitotilasta ja varustetaan varoituskyltillä. Kyltissä tulee olla varoitus akuston ja maan sekä napojen välisestä kosketusjännitevaarasta. Akuston syöttämästä piiristä suojataan kaikki jännitteiset osat. Akkupiiriin liitettyihin laitteisiin on suhtauduttava kuin tavalliseen verkkojännitteiseen piiriin liitettyihin laitteisiin.

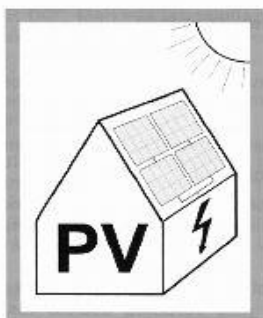
Sähkötilassa pyritään akusto sijoittamaan siten, että minkään kahden samanaikaisesti kosketeltavan johtavan osan välinen ei ole vaarallisen suuri. Kosketusetäisyydeksi määritellään 2,5 m, eikä missään olosuhteessa jännite johtavien osien välillä saisi ylittää 250 V:a. Akustolle on varattava 0,8 m leveät huoltokäytävät. Huoneessa, jossa akusto sijaitsee ja varataan, on oltava hyvä ja tarvittaessa koneellisesti tehostettu ilmanvaihto. Huoneen ilmanvaihdossa on tärkeää, että tuloilmakanavat sijaitsevat lattiatasolla ja poistoilmakanavat katon rajassa. Akustojen huonetilan sähköasennuksissa noudatetaan märkien tilojen asennusmääräyksiä ja asennukset on oltava korroosionkestäviä.

(SFS 607 2015, 25 ja D1-2012, 323–324)

3.7 Merkinnät ja dokumentointi

3.7.1 Merkinnät

Henkilöturvallisuuden liittyvistä syistä on erityisen tärkeää ilmoittaa, että kiinteistössä on aurinkosähkölaitteisto. Lisäksi on oltava varoitusmerkinnät sellaisissa kohdissa, jossa henkilö voi päästä käsiksi jännitteisiin osiin ja että huomaa varoituksen jännitteen tulemisesta kahdesta eri suunnasta. Tällöin syöttö on erotettava kahdesta eri suunnasta ja varmistettava kohteen jännitteettömyys.



KUVA 10. Esimerkki sähkökeskukseen laitettavasta aurinkosähköjärjestelmästä ilmaiseva merkintä (SFS 607 2015, 52)

Kaikki laitteet tulee merkitä standardien vaatimalla tavalla. Standardit vaativat, että merkinnät tulee tehdä paikallisella kielellä tai käyttäen soveltuvia turvallisuus- ja varoitusmerkkejä.

Merkistöjen vaatimukset:

- a) oltava IEC vaatimusten mukaisia
- b) oltava häviämättömiä
- c) oltava luettavissa 0,8 m etäisyydeltä, ellei muuta vaadita
- d) rakenteelta ja kiinnitystavalta oltava laitteen käyttöiän kestäviä
- e) oltava käyttäjän selkeästi ymmärrettävissä



SOLAR DC

KUVA 11. Esimerkki kaapelin merkinnästä (SFS 607 2015, 52)

Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat kaapelit on oltava tunnistettavissa pysyvällä merkinnällä, joiden on kestävä koko käyttöiän ja oltava selkeästi ymmärrettävissä. Kaapeleiden tunnistus on toteutettava yhdellä seuraavista menetelmistä:

- 1) kaapelit on merkitty kuuluvaksi aurinkosähköjärjestelmään ja merkintä on pysyvä sekä helppoluokainen (esimerkiksi TUV 2 pfg)
- 2) jos merkintä ei ole selkeä, kaapelit merkitään selkeästi erottuvilla värillisillä lapuilla, jossa teksti SOLAR DC. Merkinnät normaaleissa oloissa vähintään 5 m välein ja asennuskohdissa joissa merkintä on selkeästi nähtävissä vähintään 10 m välein.
- 3) jos kaapeli on asennettu suojaputkeen tai kaapelikanavaan, merkintä on tehtävä 5 m välein suojarakenteen ulkopuolelle

Osapaneelistojen tai paneeliketjujen johtimet tulee ryhmitellä tai johdinparit merkitä, jotta saman virtapiirin positiiviset ja negatiiviset johdinparit ovat selkeästi tunnistettavissa.

(SFS 607 2015, 50–52)

3.7.2 Dokumentointi

Dokumentoinnin päätehtävä on, että pystytään jälkeenpäin varmistamaan asennuksen turvallisuus ja asennus toimii oikein sekä antaa tietoa asennuksesta ja järjestelmään liitetyistä laitteista. Lisäksi dokumentoinnin tehtävä on osoittaa, että järjestelmä täyttää standardien minimivaatimukset käyttöönototesteissa ja tarkastuksissa. Dokumentointi tulee tehdä aina, kun laitteisto on liitetty sähköverkkoon. Informaation tarkoitus on varmistaa, että järjestelmän tiedot ovat käyttäjän, tarkastajan ja kunnossapitohenkilökunnan saatavilla.

Dokumentaatio sisältää järjestelmän perustiedot sekä käyttö- ja huolto-ohjeet, jossa tulee olla:

- käyttökohde
- mitoitusteho (kW DC tai kVA AC)
- valosähköiset paneelit ja invertterit – valmistaja, malli ja lukumäärä

- asennuspäivä
- käyttöönottopäivä
- asiakkaan nimi
- asennuskohteen osoite

Lisäksi on oltava suunnittelijasta ja mahdollisista urakoitsijoista ja yrityksen roolista seuraavat tiedot:

- yritys
- yhteyshenkilö
- postiosoite, puhelinnumero ja sähköpostiosoite

Dokumentaatiosta on löydettävä kaapelointi ja johdinkaaviot, joissa on yksityiskohtaista tietoa mitä järjestelmä pitää sisällään.

Paneeliketjun tiedot:

- kaapelin koko ja tyyppi
- ylivirtasuojalaitteiden tiedot - tyyppi, sijainti ja mitoitus (jännite/virta)
- sulkudiodin tyyppi (jos oleellinen tieto)
- liitännäskäytännön sijainti
- tasasähköerotuslaitteen tyyppi, sijainti, mitoitus (jännite/virta)

Maadoitus ja ylijännitesuojaus:

- yksityiskohdat kaikista maadoituksista/potentiaalintasausjohtimista – poikkipinta ja liitännäspisteet
- yksityiskohdat kaikista liitännöistä ukkosuojajärjestelmään
- yksityiskohdat kaikista ylijännitesuojista sisältäen sijainnin, tyypin ja mitoituksen

Vaihtovirtajärjestelmä:

- vaihtoerotuslaitteen sijainti, tyyppi ja mitoitus
- ylivirtasuojalaitteen sijainti, tyyppi ja mitoitus
- vikavirtasuojalaitteen sijainti, tyyppi ja mitoitus

Datalehdet:

- valosähköisten paneelien datalehdet
- inverttereiden datalehdet

Datalehdet on oltava saatavilla kaikista järjestelmään kiinnitetyistä laitteista.

Käyttö ja kunnossapito

- toimenpiteet oikean toiminnan varmentamiseen
- tarkistuslista tehtävistä jotka pitää tehdä kun järjestelmä vikaantuu
- järjestelmän hätäsulkeminen ja erotustoimenpiteet
- suositukset kunnossapitoon ja laitteiston puhdistamiseen
- huomioitava kaikki mahdolliset muutos- ja korjaustyöt, jotka voivat vaikuttaa järjestelmän toimintaan

- järjestelmäkomponenttien takuehtodokumentit, josta tulee ilmi takuun alkamispäivä ja pituus
- dokumentaatio kaikista sovellettavista työmenetelmistä tai säänkestoisuuteen liittyvistä takuutiedoista

(SFS 607 2015, 83–86)

3.8 Käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastukset

Ennen käyttöönottoa järjestelmälle on tehtävä kattavat tarkastukset ja niistä on tehtävä kattava dokumentointi. Tarkastukset noudattavat kaikille uusille sähköasennuksille noudattavaa tarkastuskäytäntöä ja säännöllisin väliajoin suoritettavaa kunnossapitotarkastusta. Käyttöönotossa on varmistettava, ettei se vaikuta heikentävästi aikaisempien asennuksien turvallisuuteen. Käyttöönottotarkastus vaaditaan yli 120 voltin tasajännite laitteistoille.

Kunnossapitotarkastuksessa on tarkoitus tutkia, ovatko sähköasennukset ja laitteet kunnossa käyttöä varten ja että sähköasennukset täyttävät sähköturvallisuusmääräykset. Kunnossapitotarkastuksesta vastaa laitteiston haltija.

Käyttöönottotarkastuksen saavat suorittaa valtuutetut ja todetun pätevyyden omaavat asentajat ja valtuutetut laitokset. Kunnossapitotarkastuksen voi tehdä riittävän perehdytyksen saanut ammattihenkilö tai opastettu ja perehdytetty maallikko.

(SFS 607 2015, 145)

3.8.1 Aistinvaraiset tarkistukset

Tasasähköjärjestelmän aistinvaraiseen tarkistukseen sisältyy seuraavat asiat:

- Järjestelmä on määritelty, suunniteltu ja asennettu vaatimusten mukaisesti.
- Kaikki tasasähköjärjestelmään liitetyt komponentit ja laitteet ovat mitoitettu jatkuvaan tasasähkökäyttöön ja soveltuvat suurimmalle mahdolliselle tasajännitteelle ja virralle.
- Suojaus on toteutettu käyttäen luokan II sähkölaitetta tai vastaavaa eristystasoa.
- Paneeliketjujen kaapelit, paneelitojen kaapelit ja tasasähköjärjestelmän pääkaapelit ovat valittu ja asennettu minimoiden oikosulkujen ja maadoitusvikojen riskejä. Käyttämällä kaapeleita joissa on suojaava- tai vahvennettu eristys eli kaksoiseristys saavutetaan riittävän pieni riski vikaantumiselle.
- Kaapelointi joka on valittu, tulee kestää ulkoiset rasitukset kuten tuuli, jää, lämpötila ja auringsäteily.
- Järjestelmät joissa ei ole peräkkäisiä ylivirtasuojalaitteita: Tarkistetaan että paneelin mitoitettu takavirta (I_r) on suurempi kuin järjestelmän suurin mahdollinen takavirta ja että paneeliketjun kaapelien koko vastaa rinnakkain kytkettyjen paneelien yhdistettyä maksimivirtaa.
- Järjestelmät joissa on peräkkäisiä ylivirtasuojalaitteita: Ylivirtasuojalaitteet on määritelty ja mitoitettu vastaamaan paikallisia olosuhteita tai on noudatettu valmistajan ohjeita paneelien suojauksessa.

- h) Tarkistetaan että erotus- ja kytkentälaitte on mitoitettu vastaamaan tasasähköpuolen invertteriä.
- i) Estodiodien mitoitus tarkastetaan ja että estojännite on vähintään 2 x paneeliketjun mitoitustasojännite.
- j) Jos yksi tasasähköjärjestelmän johdin on kytketty maahan, tarkistetaan että käytössä on vähintään yksinkertainen erotus vaihtosähköpuolen ja tasasähköpuolen välillä ja että maadoitusliitäntä on toteutettu korroosion kestäväksi. (SFS 600–1 2012, 354 ja SFS 607 2015, 87)

Aistinvaraiseen tarkistukseen kuuluu myös oikeanlaisten merkintöjen tarkistus, jotta ne ovat selkeästi tunnistettavissa aurinkosähköjärjestelmään kuuluvaksi.

Merkintöihin ja tunnistamiseen kuuluu:

- a) kaikki virtapiirit, suojalaitteet, kytkimet ja liittimet on merkitty
 - b) tasasähkökytkentärasiat on merkittävä varoitusmerkinnällä joka osoittaa, että rasian sisällä on aktiivisia osia ja että ne voivat olla jännitteisiä vaikka invertteri on erotettu sähkönjakeluverkosta
 - c) vaihtosähköpuolen erotuskytkin on selkeästi merkitty
 - d) kaksoissyötön varoitusmerkinnät ovat liitäntäpisteissä
 - e) kaapelointi- ja johdotuskaavio on esitetty asennuskohteessa
 - f) invertterin suojausasetukset ja asentajan tiedot on esitetty asennuskohteessa
 - g) hätäpysäytyksen toimenpiteet on esitetty asennuskohteessa
 - h) varoitusmerkinnät oltava helposti tunnistettavissa
 - i) kaikki tunnuksat ja kilvet ovat kiinnitetty käyttöä kestäväällä tavalla
 - j) Liitetyistä laitteista on oltava CE-merkki
- (SFS 607 2015, 88, 96 ja D1-2012, 332)

3.8.2 Testaukset

Testauksen päätarkoitus on täydentää asitinvaraisia tarkastuksia ja määritellä järjestelmän käyttöturvallisuus eri tilanteissa ja että järjestelmä toimii luotettavasti sekä turvallisesti. Tärkeää on muistaa testauksessa, että testausmenetelmät ja tulokset tulee olla luotettavia. Mittalaitteita käytettäessä on huomioitavaa, että mittalaitteiden kalibrointi on voimassa ja tulee käyttää vain kalibroituja laitteita. Tällä taataan mittaustulosten oikeellisuus ja luotettavuus.

Testaukset tehdään mieluiten seuraavasti:

- suojajohtimen, pää- ja lisäpotentiaalintasausjohtimen jatkuvuus
- sähköasennuksen jatkuvuus
- SELV- ja PELV-piirien ja sähköisesti erotettujen piirien erotus
- lattia- ja seinäpintojen resistanssi
- syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- lisäsuojaus
- napaisuus
- avoimen piirin jännite- ja virtatestaus
- kiertosuunnan mittaus

- toiminta- ja käyttötesti
- jännitteenalenemat

Jos jossakin testauskohdassa on havaittu vika tai poikkeama, niin se on voinut vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Tällöin mittaukset tulee tehdä uudelleen korjauksen jälkeen. Testauksessa on oltava erityisen huolellinen ja varovainen, koska testauksessa on huomioitava eri tilojen käyttöturvallisuustekijät. (SFS 607 2015, 89; SFS 600–1 2012, 354–355 ja D1-2012, 337–338)

Eristysresistanssin mittauksessa mitataan kaikkien jännitteisten ja maadoitusjärjestelmän johtimien välistä eristysresistanssia. Jännitteiset ja nolajohdin voidaan kytkeä yhteen. Palovaarallisissa tiloissa mitataan kaikkien johtimien välinen eristysresistanssi ja voi olla syytä mitata ennen laitteiden kytkentää.

Jännitteenalenemaa ei tarvitse erikseen mitata järjestelmästä, koska jännitteenalenemista ei ole vaatimuksia, mutta liian suuret alenemat voivat häiritä laitteiden toimivuutta. Jännitteenalenema voidaan todeta myös laskemalla, jolloin saadaan alenemasta riittävän luotettava tulos.

TAULUKKO 7. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot (SFS 607 2015, 92)

Testimenetelmä	Järjestelmän jännite V	Koejännite (DC) V	Minimieristysresistanssi MΩ
Testimenetelmä 1			
Erilliset testit paneeliston positiiviselle ja negatiiviselle	< 120	250	0,5
	120..500	500	1
	> 500	1000	1
Testimenetelmä 2			
Paneeliston positiivinen ja negatiivinen oikosuljettu yhteen	< 120	250	0,5
	120..500	500	1
	> 500	1000	1

Eristysmittausta ennen on huomioitava järjestelmään liitettyjen ylijännitesuojien ja muiden laitteiden vaikutus testaustuloksiin ja niiden mahdollinen rikkoontuminen. Tällaiset laitteet tulee erottaa ennen eristysresistanssin mittausta. Jos erotus ei ole mahdollista, niin koejännitettä voidaan pienentää 250 V tasajännitteeseen ja eristysresistanssin on oltava vähintään 1 MΩ. (SFS 600–1 2012, 354–356)

Toiminnalliset testaukset on tehtävä kytkin-, käyttö-, ohjaus- ja lukituslaitteille, jotta voidaan todeta niiden toimivan vaatimusten mukaisesti. Samalla tarkastetaan, että ne on asennettu ja aseteltu oikein.

3.8.3 Tarkistusraportointi

Tarkastustuloksista on laadittava raportti ja raportissa tulee olla seuraavat tiedot:

- yhteenveto järjestelmän tiedoista

- luettelo tarkistetuista ja mitatuista virtapiireistä
- tarkastuspöytäkirja, joka sisältää jokaisen testatun virtapiirin testituloksen
- suositeltava tarkastusväli
- tarkastajan tai tarkastajien allekirjoitukset

(SFS 607 2015, 92–93)

3.8.4 Käyttöönottotarkastus

Käyttöönottotarkastuksessa käydään läpi raportointi, jossa on oltava tiedot henkilöistä, jotka vastaavat järjestelmän suunnittelusta, rakentamisesta ja tarkastamisesta sekä niiden vastuiden laajuudesta. Samalla annetaan suositus kunnossapitotarkastuksen aikavälistä, jonka aikana on tehtävä kunnossapitotarkastus. Tarkistusväli määräytyminen perustuu laitteiden ja laitteistojen tyyppin, käytön ja toimintaan, kunnossapidon laatuun ja kunnossapitojaksoihin sekä laitteistoon kohdistuvien ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta. Verkkoon liitetyt aurinkosähköjärjestelmät on ilmoitettava sähköenergian toimittajalle omistajan toimesta ja mittaroinnista vastaavalle taholle aurinkoenergijärjestelmän käyttöönotosta mahdollista sopimusmuutosta varten.

(SFS 607 2015, 93 ja D1-2012, 330)

3.8.5 Kunnossapitotarkastukset

Kunnossapitotarkastuksen tarkoitus on tarkastaa ja varmistaa, että laitteisto täyttää uusimmat laitteistostandardit ja määräykset. Kuntotarkistuksilla varmistetaan, että laitteiston käyttö on turvallista, eikä laitteistoon ole muodostunut riskitekijöitä käytön aikana. Samalla tarkastetaan mahdolliset laitteiston viat ja niiden korjaaminen ja että havaitut viat on korjattu mahdollisimman pian. Kunnossapitoraportista tulee olla esitettyinä kaikki esille tulleet viat ja niiden korjaaminen tai päivittäminen, jotta laitteisto vastaa tarkastushetken standardeja ja määräyksiä. Tarkastajan tulee olla sähköalan ammattihenkilö ja hänen tulee pystyä arvioimaan sähköturvallisuuden vaikuttavia puutteita sähkölaitteistoissa.

Tarkastuksen sisältö:

Ennen tarkastusta on hyvä selvittää seuraavat asiat:

- Milloin asennukset on tehty?
- Onko asennuksiin tehty muutoksia?
- Onko rakennukseen tehty sellaisia muutoksia, jotka voivat vaikuttaa sähkölaitteisiin?
- Onko sähkölaitteistossa havaittu ongelmia käytön aikana, jos on niin minkälaisia?

Tarkastukset kohdistetaan seuraaviin kohteisiin:

- liittymän ja pääkeskuksen tarkistus
- maadoitus ja potentiaalintasaukset
- ryhmäkeskukset
- ryhmäjohdot ja sähkölaitteet

(SFS 600–1 2012, 361–362 ja D1-2012, 353)

4 HAASTATTELUT

Haastattelujen tarkoitus oli saada mahdollisimman kattavasti tietoa aurinkoenergiajärjestelmien asennuksesta ja käytöstä sekä niihin liittyvistä riskitekijöistä. Haastatteluaineiston laadin perehtyessäni asiaan ja koin haastattelukysymyksen merkityksen, niin urakoitsijoiden- ja käyttäjien näkökulmasta. Haastattelut toimivat johdattelevana aineistona aurinkoenergiajärjestelmien riskienkartoitusta. Haastatellut yritykset joilta sain vastaukset, nimeän ne urakoitsija A, B ja C. Haastatteluaineiston otanta on varsin kapea ja pintapuolinen. Haastattelukysymyksiä lähetettiin useammalle taholle, vain kolmelta urakoitsijalta ja kahdelta käyttäjältä sain vastaukset. Haastattelujen tulokset ovatkin suuntaa antavia.

4.1 Urakoitsijoiden kokemuksia

4.1.1 Mitä turvallisuuteen liittyviä asioita on otettava huomioon asennettaessa ja käyttöönotettaessa aurinkoenergiajärjestelmiä?

- A. Aurinkoenergiajärjestelmien asennus tapahtuu yleensä korkealla. Asennusvaiheen turvallisuus painottuu henkilöturvallisuuteen ja asentajien valjaiden käyttö vinoilla katoilla on välttämätöntä.
- B. Yleiset rakentamiseen liittyvät turvallisuustekijät ja erityishuomiota vaativa kattotyöskentely ja siihen liittyvät turvallisuustekijät, kuten putoamissuojaus ja katon liukkaus.
- C. Asennusympäristön riskien tunnistaminen, kuten kattorakenteiden kantavuuden ja kunnan huomioiminen ja asennustavan vaikutukset kiinteistöön. Henkilöturvallisuudessa turvallisuusasiat keskittyvät putoamissuojaukseen ja kattojen liukkauteen.

4.1.2 Yleisimmät ongelmat, joita kohdataan aurinkoenergiajärjestelmiä asennettaessa?

- A. Aurinkopaneelien nostaminen katolle on hankalaa ja paneelisto voi vaurioitua tai pudota nostovaiheessa. Kaapelointien reitit ovat hankalia katolle, johtuen korkeista asennuspaikoista.
- B. Haastavimpia asioita, joita usein joutuu miettimään ovat: Paneelien nosto katolle ja kiinnitys kattorakenteisiin sekä johtoreitit.
- C. Turvallinen työskentely korkealla, paneelien nosto katolle turvallisesti, kaapeleiden asennus ja suojaus, maadoitus. Kaapelointien kulkureitit ovat monesti hankalissa paikoissa.

4.1.3 Aurinkoenergiajärjestelmien yleisimmät ongelmat ja viat käytön aikana? Syyt niille ja kuinka niitä voidaan ennaltaehkäistä ja minimoida seuraukset?

- A. Yleisimpiä ongelmia aurinkoenergiajärjestelmissä on lumi ja inverttereihin liittyvät ohjelmalliset bugit.

- B. Yritys ei ole havainnut ongelmia ja asennetut laitteistot ovat toimineet luotettavasti
- C. Yleisimmät viat liittyvät ulkoisten tekijöiden aiheuttamiin laite- tai komponenttirikkoihin sekä kosteuden seurauksesta johtuviin kontaktivikoihin.

4.1.4 Energialaitosten vaatimukset aurinkoenergiajärjestelmille?

- A. Energialaitoksen vaatimukset perustuvat käytettäviin standardeihin. Turvakytkin sijoitus ulkoseinälle, johon energiayhtiöllä on pääsy tai sähkön katkaisupaikka voi olla myös esimerkiksi kiinteistön pääkeskuksessa, minne energiayhtiöllä on pääsy.
- B. Sähkölaitteistolle on tehtävä aina ennen käyttöönottoa käyttöönottotarkastus, jossa sähköurakoitsija selvittää riittävässä laajuudessa, ettei sähkölaitteistosta aiheudu sähköturvallisuuslain (410/96) 5 §:ssä tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Invertterin tulee täyttää Suomen asetukset ja vaatimukset (VDE-AR-N 4105 2011-8 tai SFS-EN 50438). Erotuskytkimelle tulee olla verkkoyhtiöllä vapaa pääsy.
- C. Laitteisto soveltuu laadullisesti aurinkoenergian tuotantoon ja on CE-hyväksytty. Asennukset on tehty oikein ja turvallisesti. Käyttöönottotarkastus ja dokumentit on oltava esittää verkkovalvottajalle sekä laitteisto täyttää laadullisesti jakeluverkonhaltijan vaatimukset ja standardit. Lopuksi vaaditaan jakeluverkonhaltijan lupa kytkeä laitteisto yleiseen sähköverkkoon ja kytkennät saa suorittaa vain ammattihenkilö. Erotuskytkimelle on oltava energiayhtiöllä esteetön pääsy.

4.2 Kuluttajien kokemuksia

4.2.1 Minkälaiseen käyttötarkoitukseen ja minkä kokoinen aurinkoenergiajärjestelmä on hankittu?

- A. Asuntolautan energian lähteeksi. Paneelien tuotto on noin 4000 W
- B. Aurinkoenergiajärjestelmä on hankittu kesämökeille valaistukseen sisällä ja ulos kuistille, varastoon ja ulkokäymälään. Lisäksi saunaan pumpulla tuleva vesi toimii aurinkoenergialla. Mökkeihin on asennettu myös pistorasioita, jolloin radio on uusien johtoasetusten jälkeen mahdollista liittää järjestelmään, tämän lisäksi on hankittu adapterit, jolloin matkapuhelimen lataaminen onnistuu. Mökeissä 4 kpl ja kussakin mökissä on 140 W aurinkosähköjärjestelmä ja varastossa 50 W aurinkosähköjärjestelmä. Ylijäämäenergiaa varastoidaan akustoihin myöhempää käyttöä varten.

4.2.2 Onko aurinkoenergiajärjestelmä täyttänyt sille asetetut odotukset ja vaatimukset?

- A. On täyttänyt
- B. Aurinkoenergiajärjestelmä sopii tällaiseen mökkitoimintaan, joka on käytössä vain kesäaikaan. Taloudellisesti kannattavaa verrattuna sähköistettyyn mökkiin. Iltojen pimetessä on hyvä laittaa valaistusta mökkiin ja ulkokuistille, tämä tuo turvallisuutta liikkumiseen myös pimeään aikaan.

4.2.3 Aurinkoenergiajärjestelmien ongelmat, viat ja huoltotoimenpiteet käytön aikana?

- A. Ei ole vielä ollut
- B. Aurinkoenergiajärjestelmän akkujen varauksen riittävyys. Pitkän pilvisen ja sateisen sään aikaan energia saattaa loppua, kunnes pääsee uudelleen latautumaan. Myöskin useamman pisteen valaistus tai runsaasti virtaa vievät laitteet syövät nopeasti energiaa kuten invertteri.

4.2.4 Toimenpiteitä joita käyttäjä joutuu tekemään aurinkoenergiajärjestelmille?

- A. Lokin jätösten ja muiden partikkeleiden pesu paneelien päältä
- B. Aurinkopaneelien puhdistaminen, akuston kunnon- ja varauksen tarkistaminen, lamppujen ja sulakkeiden tarkistaminen.

4.3 Päätelmät haastatteluista

Yleisesti urakoitsijat noudattavat kansallisia laitestandardeja ja haasteena on tällä hetkellä yhtenäisen rakennuslupakäytännön noudattaminen, koska lupakäytännöt vaihtelevat paikkakunnittain. Suomessa joillakin paikkakunnilla vaaditaan aina laitteistolle rakennuslupa ja on syytä varmistaa asennuspaikkakunnan rakennuslupakäytäntö.

4.3.1 Päätelmät urakoitsijoitten kokemuksista

Turvallisuus asiat

Haastatteluista tuli ilmi, että turvallisuuskysymyksissä pääpainopiste on henkilöturvallisuudessa. Työskentelykohteet sijaitsevat useimmiten korkealla ja kattorakenteiden kaltevuus ja liukkaus muodostavat merkittävän turvallisuuteen liittyvän riskitekijän. Kattotyöskentelyssä kiinnitetäänkin runsaasti huomiota asentajien turvalliseen työskentelyyn.

Asennusympäristön riskitekijöiden tunnistaminen nousee myös esille. On huomioitavaa suunniteltaessa aurinkoenergiajärjestelmää kiinteistön katolle, että kuinka suuri lisäkuormitus kohdistuu kattorakenteisiin.

Haasteet asennustyössä

Urakointien haasteita asennustyössä on paneelistojen nostaminen korkealle haastavaa. Haasteet muodostuvat nostovaiheen riskitekijöistä, jotka on huomioitava nostoa suunniteltaessa. Nostovaiheessa on varmistettava, ettei paneelista vaurioidu tai pääse putoamaan.

Asennusvaiheessa kiinnitetään huomiota asennustapaan ja että kattorakenteiden tiiveys ei saa heikentyä asennuskiskostoja kiinnittäessä. Kaapeloinnissa on huomioitavaa johtoreitit ja niihin on selvästi kiinnitetty huomiota. Kaapelireittien huolellinen suunnittelu ennakolta helpottaa asentajia työsään. Kaapelityössä joudutaan monesti työskentelemään hankalissa paikoissa, kuten räystäiden alla. Räystäiden alustat ovat ahtaita ja hankalia työskentelypaikkoja.

Yleisimmät viat käytön aikana

Käytön aikaisia ongelmat ja viat ovat haastattelujen perusteella ulkoisista tekijöistä johtuvia. Suomessa se tarkoittaa eri vuodenaikoihin liittyviä tekijöitä. Talvella lumen ja jään kertyminen paneeliston päälle voi aiheuttaa mekaanisia vaurioita. Kuorman kasvaessa liian suureksi tai painotaakan siirtyminen toiselle laidalle voi aiheuttaa paneeliston rikkoantumisen. Lisäksi talvella laitteistoon kohdistuva mekaaninen taakka koettelee kaapelointia ja paneelistojen kiinnityksiä. Mekaaninen uhka kohdistuu myös johtimien ja laitteistojen suojaukseen, kuten kosteus, korrosio ja muut ulkoiset tekijät. Muita kuin ulkoisia tekijöitä ovat laitteiston ohjelmalliset vikatilanteet. Vikatilanteita joita on esiintynyt liittyvät inverttereiden ohjelmistoperäisiin vikoihin.

Energialaitosten vaatimukset laitteistolle

Yhteiset standardit asettavat laitteistolle raja-arvot ja määritelmät, kuinka ja miten aurinkoenergiajärjestelmät tulee asentaa. Yksi keskeisin vaatimus on, että laitteiston erottimelle tulee olla verkonhaltijalla vapaa pääsy, eikä laitteisto aiheuta häiriötä jakeluverkkoon.

Ennen laitteiston kytkemistä verkkoon tulee laitteistolle tehdä käyttöönottotarkastus ja siihen liittyvä kattava dokumentointi. Käyttöönottotarkastuksessa käydään läpi laitteisto ja varmistetaan että laitteisto täyttää verkonhaltijan laite- ja laatuvaatimukset verkkoon liitettäväksi. Jakeluverkonhaltija tarkastaa dokumentit ja antaa luvan kytkeä laitteisto verkkoon, mikäli laitteisto täyttää laatuvaatimukset.

4.3.2 Päätelmät kuluttajien kokemuksista

Opinnäytetyöni kannalta oli merkittävää kerätä kuluttajien kokemuksia aurinkoenergiajärjestelmistä ja niiden toimivuudesta. Tärkeä asia joka haastatteluista tuli esille, oli laitteiston oikeanlainen sijoittelu ja mitoitus käytön tarpeen mukaan. Haastattelujen perusteella aurinkoenergiajärjestelmät ovat varsin kuluttajaystävällisiä ja helppohoitaisia. Mökkikäytössä iso tekijä on aurinkoenergiajärjestelmien varsin edullinen hankintahinta. Kertainvestoinnin hyödyt tulevat esille käytöstä aiheutuvien pienten käyttökustannusten muodossa, mikäli mökissä ei ole ennestään sähköjä.

Aurinkoenergialaitteiston käyttötarkoitus ja koko

Aurinkoenergiajärjestelmien käyttö ja sen hyödyntäminen on hyvin laaja-alainen käsite. Haastateltujen kuluttajien kokemukset ovat varsin myönteisiä ja käyttökohteiden vaatimukset ovat täyttyneet. Pienet laitteistot edustavat mökkikäyttöä, jossa sähköenergian tarve on varsin pieni. Suurempia laitteistoja edustaa asuntolautan laitteisto, jota voidaan käyttää varsin laaja-alaisesti. Molemmissa tapauksissa laitteisto edustaa omavaraista energiantuotantoa ja energia varastoidaan akustoihin, jota hyödynnetään myöhempää käyttöä varten. Asuntolautan järjestelmää voidaan tietyin ehdoin hyödyntää myös ylijäämäenergian myymiseksi sähköyhtiölle tai erillisen kiinteistön energiantarpeen täyttämiseksi.

Odotukset ja vaatimukset laitteistolle

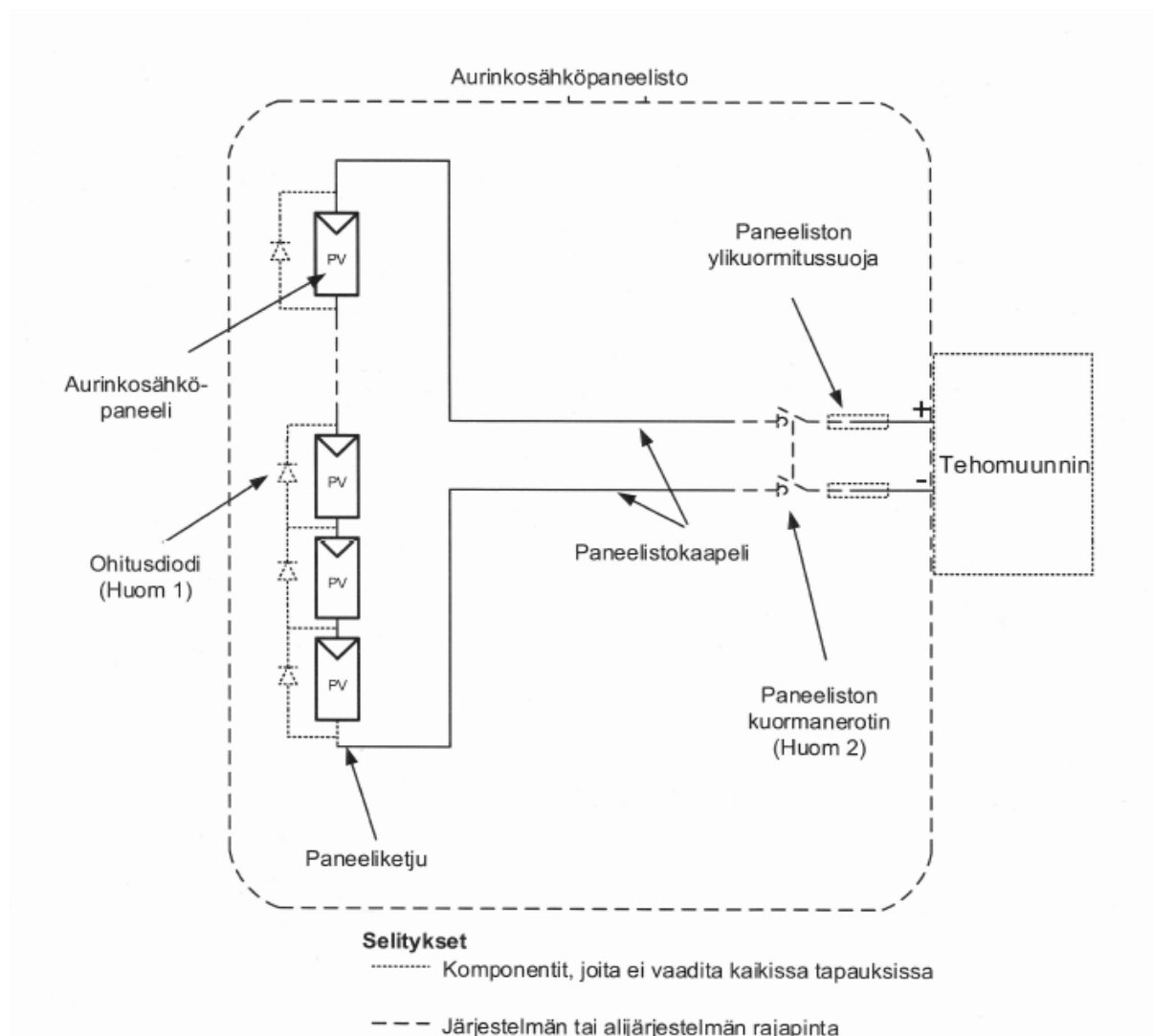
Haastatteluista tuli selkeästi esille, että käytössä olevat laitteistot ovat täyttäneet haastateltujen odotukset. Kuluttajilla merkittävä tekijä hankintoihin oli laitteiston kokonaiskustannukset, kun verrataan yleisen jakeluverkon hankintakustannuksiin.

Ongelmat, viat ja huoltotoimenpiteet käytön aikana

Laitteistojen on havaittu olevan varsin luotettavasti toimivia. Mahdolliset ongelmat keskittyvät lähinnä energian varastointiin liittyviin tekijöihin ja kapasiteetin riittävyteen. Heikkotuottoisina päivinä vaaditaan suurempaa akustoa, jotta sähköä riittää käytettäväksi silloin, kun sitä tarvitaan. Käyttäjän toimenpiteet ovat lähinnä paneelistojen puhtaanapito, akuston kunnonvalvonta ja suoja-laitteiden tarkistus. Lisäksi varjostusta aiheuttavien puiden raivaaminen paneeliston edestä, koska jo pieni varjostus heikentää merkittävästi paneelien energiantuottoa.

5 ASENNUSTAVAT JA KOKOONPANO

5.1 Yhden tai useamman sarjaan kytketyn aurinkosähköpaneelin kokoonpano

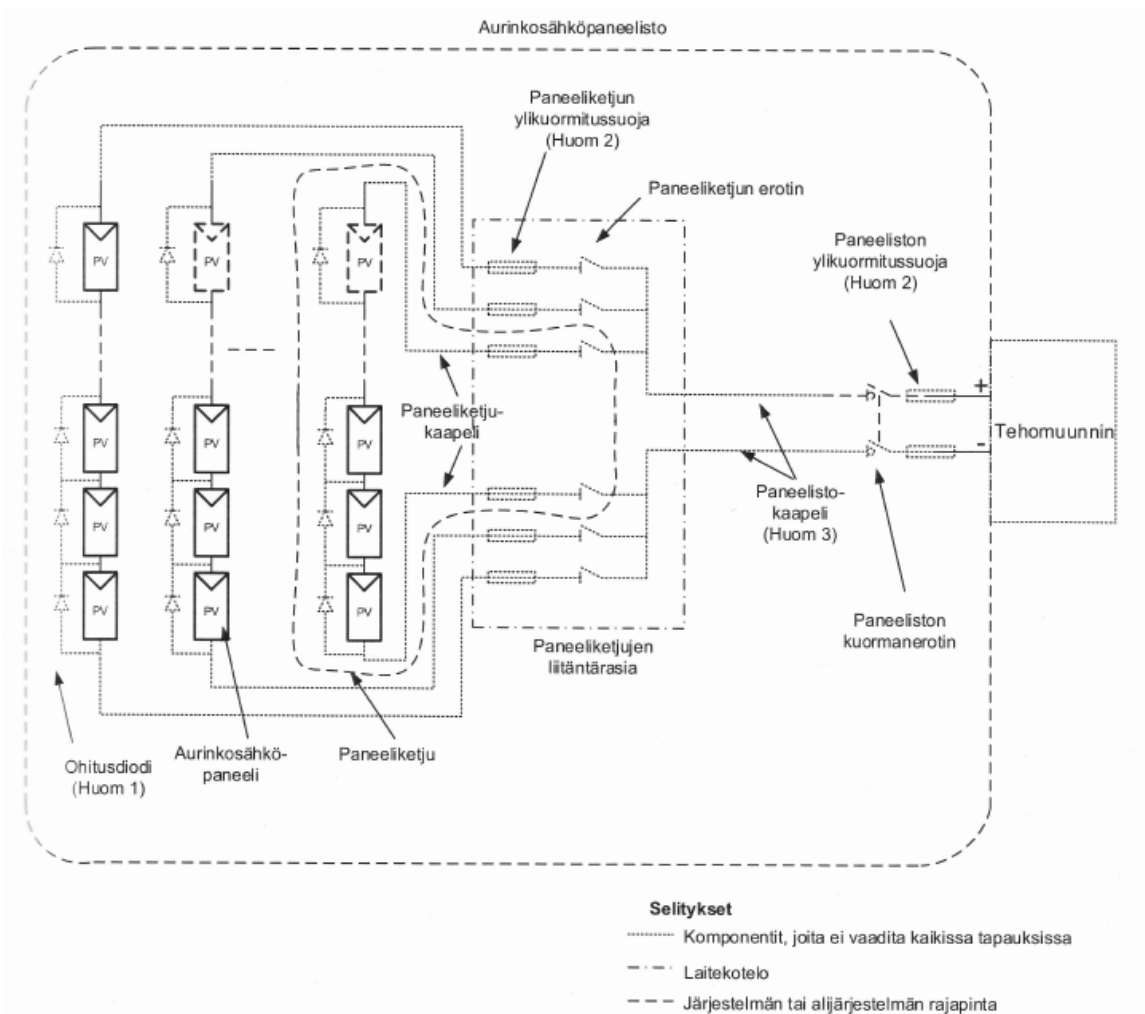


KUVA 12. Kaaviokuva yhdestä sarjaankytketystä paneeliketjusta (SFS 607 2015, 20)

- Huom. 1: Valmistajat sisällyttävät ohitusdiodin paneeliston rakenteeseen, jos sellainen vaaditaan
- Huom. 2: Kuormanerottimien tehtävä on kytetä erottamaan paneelisto ja tehomuunnin toisistaan suurimman mahdollisen vikavirran tai suurimman mahdollisen kuormituksen aikana. Kuormanerotitmet vaaditaan yleensä yli 30 V tasajännitteisissä piireissä valokaarivaaran vuoksi.

Kuvassa 8 nähdään kaaviokuvana kytkentäperiaatteesta, jolla muodostetaan paneeliketju. Paneelisto voi käsittää yhden tai useamman sarjaan kytketyn aurinkosähköpaneelin. Paneeliston ketjutuksessa miinusnapa (-) kytetään aina matalamman potentiaalinen (+) napaan. Sarjaan kytkettäessä on aina muistettava tarkistaa valmistajan antamat tiedot, joista tulee ilmi suurin sallittu käyttöjännite, jota ei saa ylittää. Suurin sallittu käyttöjännite määräytyy ohitusdiodien ja estodiodien mitoituksesta ja sitä ei saa ylittää. Tehomuunninissa voi olla yksi tai useampi tasasähkötulo, joihin eri paneelitulot voidaan kytkeä. Jos järjestelmän tasajännite on suurempi kuin 50 V, silloin tulee käyttää ohitusdiodeja. (SFS 607 2015, 20, 36–37)

5.2 Rinnankytketyn aurinkosähköpaneeliston rakenne



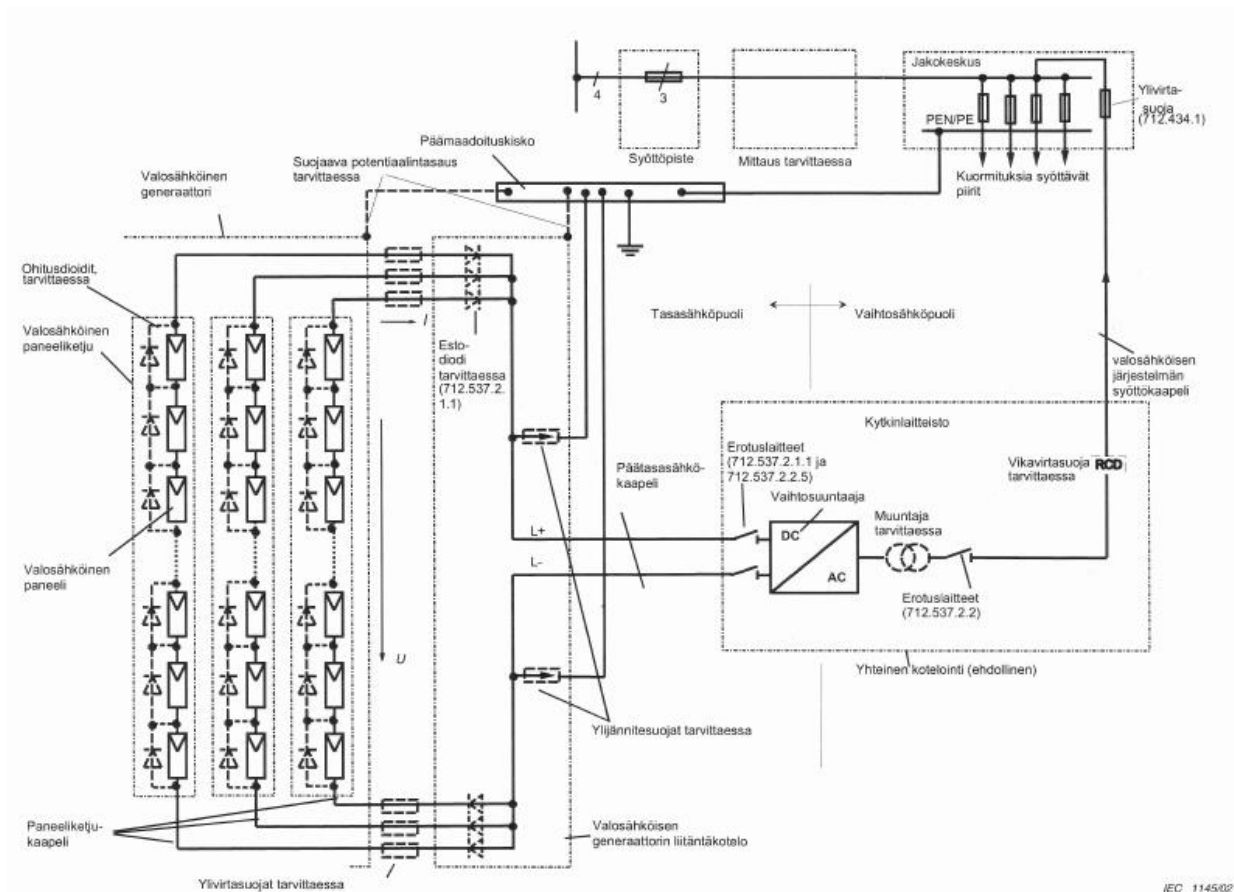
KUVA 13. Kaaviokuva useammasta rinnankytketyistä paneeliketjuista (SFS 607 2015, 21)

- Huom. 1: Valmistajat sisällyttävät ohitusdiodin paneeliston rakenteeseen, jos sellainen vaaditaan
- Huom. 2: Jos vaaditaan ylivirtasuojalaitteet. Vaatimuksena on yleensä se, että järjestelmää suojataan ylivirralla, joka voi rikkoa tai aiheuttaa muuta vaaraa. Paneeliston valmistaja yleensä vaatii ylivirtasuojauksen. Kaikki järjestelmät joihin on kytketty akusto, on toteutettava ylivirtasuojaus.
- Huom. 3: Kaikissa järjestelmissä ei ole välttämättä käytetty paneeliston kaapelia ja kaapelit voidaan olla kytketty kytkentärasiaan tehomuuntimen läheisyydessä.

Kuvasta 12 nähdään, kuinka paneeliketju muodostetaan ja kun siihen liitetään rinnalle samanarvoisen paneeliketju (kuva 13) siitä muodostuu rinnankytketty paneeliketju, joita kutsutaan osapaneelitoiksi. Paneeliketjun (+) johdin liitetään saman potentiaalinen omaavan johtimen kanssa yhteen ja liitetään paneeliston kaapelin. Paneeliston (-) johdin liitetään saman potentiaalinen omaavan johtimen kanssa yhteen ja liitetään paneeliston kaapelin. Näistä johtimista muodostuu paneeliston kaapeli, jossa on positiivinen ja negatiivinen potentiaali erotettuna toisistaan. Ylikuormituksen tehtävä on

suojata piiriä ylivirralla ja ylikuormitukselta. Kuormanerotuksen tehtävä on kytä erottamaan paneeliston ja tehomuunnin toisistaan suurimman mahdollisen vikavirran tai kuormituksen aikana. Jos järjestelmän tasajännite on suurempi kuin 50 V, silloin tulee käyttää ohitusdiodeja. (SFS 607 2015, 21, 36)

5.3 Verkkoon kytketty aurinkosähköpaneelisto



KUVA 14. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän yleiskaavio (SFS 607 2015, 74)

Verkkoon kytketty aurinkoenergiajärjestelmä noudattaa menetelmää, jossa osa paneeleista on kytketty sarjaan ja muut samanarvoiset paneeliketjut rinnankytkettynä eli kokonaisuus muodostuu osapaneelistosta. Sarjaankytkennällä pyritään saavuttamaan tavoitejännite ja rinnankytkennällä pyritään lisäämään tehontuottokykyä. Tavoitejännite pyritään mahdollisuuksien mukaan kasvattamaan mahdollisimman suureksi, jolloin sähkönsiirrossa paneelilta vaihtosuuntaajalle muodostuneet häviöt pysyvät mahdollisimman pieninä. Sarjaankytkettyyn paneeliketjuun suositellaan asentamaan estodiodit positiivisessa potentiaalissa, jotka estävät takavirran aiheuttamat ongelmat paneelistossa ja mahdolliset oikosulkujen aiheuttamat ylivirrat. Miinuspuolen estodiodit estävät vikavirtojen pääsyn matalampaan potentiaaliin eli miinusnavalle. Tämä suojaa vaihtosuuntaajaa ja paneelistoa rikkoutumasta.

Kytkinlaitteistossa on tarvittaessa muuntaja, jolla muutetaan jännitetasoa halutuksi. Lisäksi ovat erottimet, jolla aurinkoenergiajärjestelmä voidaan erottaa hallitusti verkosta. Erottimelle tulee olla sähköyhtiöllä esteetön pääsy.

Verkkoon kytketyt järjestelmät vaativat sähköturvallisuusmääräysten mukaan maadoituksen ja potentiaalintasauksen. Maadoitus on oltava suojaamassa kulutuskohdetta ja käyttöhenkilöitä vaarallisilta vikavirroilta. Lisäksi kulutuspiisteet on liitettävä samaan maadoituspotentiaaliin järjestelmän kanssa. Maadoitus suojaa samalla järjestelmää ja kohdetta mahdollisilta salamaniskuilta.

Energiankulutusta mittaamaan tarvitaan kahteen suuntaan mittaava energiamittarilaitteisto, jotta laitteiston läpikulkevan energian suuntaa ja määrä voidaan mitata. Mittalaitteen toimittaa verkkoyhtiö ja energiayhtiön kanssa tehdään sähkönmyynti ja ostosopimus.

Syöttöpisteessä on ylivirtasuojalaitteet eli pääsulakkeet, jotka suojaavat ylivirroilta ja ylikuormituksesta. Syöttöpisteessä energiankulkusuunta voi olla molempiin suuntiin, riippuen kiinteistön energiantarpeesta.

Aurinkoenergiajärjestelmiä joita käytetään verkon rinnalla, on olemassa yksi- ja kolmivaiheisia. Järjestelmien tulee olla automaattisesti synkronoituvia, kun järjestelmä on liitetty yleiseen jakeluverkkoon. Jakeluverkonhaltijalle on ilmoitettava verkkoon liitetyn laitteiston kytkentä tapa ja tulee ilmoittaa vaihe jolle aurinkoenergiajärjestelmä on liitetty, mikäli yksivaiheinen järjestelmä.

Yhden paneelin asennuksissa käytetään yksinkertaisia asennustelineitä (Kuvat 15 ja 16). Asennuskulmalla vaikutetaan paneeliston vastaanottamaan valomäärään. Kun tulee kyseeseen suurempitehoiset järjestelmät, niin paneelisto asennetaan asennuskiskostoon ja kiskosto kiinnitetään kiinteäksi osaksi kattorakennetta (Kuva 17). Paneelitot pyritään Suomessa asentamaan 40–45 asteen kulmaan ja asennus suunta asetetaan mahdollisuuksien mukaan siihen suuntaan, jossa aurinko on korkeimmillaan.



KUVA 15. Yhden aurinkopaneelin kiinnitys kattorakenteisiin (valokuva 2016)



KUVA 16. Yhden aurinkopaneelin kiinnitys seinärakenteeseen (valokuva 2016)



KUVA 17. Aurinkoenergiapaneelisto asennettuna kiskostoon (wikipedia 2005)

5.3.1 Asennustavat

Asennus katolle

Aurinkoenergiajärjestelmää asennettaessa on huomioitava kattorakenteen materiaali, jotta kiskostojen kiinnitystapa ei aiheuta kattorakenteelle vahinkoa. Aurinkosähköjärjestelmän lisätaakka kiinteistön katolle on huomioitava ja otettava tarkasteluun, jotta lisätaakka ei aiheuta kattorakenteille rikkoontumisen riskiä. Lisäksi kattoasennuksissa on huomioitava kattorakenteen vedenkestävyys, jotta katolle kertyvä vesi ei pääse kiinteistöön ei toivotulla tavalla. Kiinnitystarvikkeisiin on valmistajat laittaneet tiivisteet, mutta lisäksi suositellaan käyttämään tiivistysmassaa.

Kiinteistöjen katolle asennettaessa ei tarvitse pääsääntöisesti erillistä rakennuslupaa. Yhtenäistä lupakäytäntöä ei vielä ole ja voi vaihdella eri paikkakuntien kohdalla.

(Lähienergia Ahola 2014)

Asennus seinälle

Seinään asennettaessa on huomioitava seinärakenteen soveltuvuus sekä kestävyys ja kiinnityskohdan kantavuuden varmistaminen. Kuvassa 16 on käytetty seinäasennusta puurakenteiselle seinälle, jossa asennustelineiden kiinnityspisteet on huolella varmistettu asennettavaksi seinän runkorakenteeseen.

Kiinteistöjen seinälle asennettaessa ei tarvitse pääsääntöisesti erillistä rakennuslupaa. Yhtenäistä lupakäytäntöä ei vielä ole ja voi vaihdella eri paikkakuntien kohdalla.

(Lähienergia Ahola 2014)

Asennus maahan

Erillisesti maahan asennetut aurinkoenergiajärjestelmien kiinnitystelineistöjen ja tukirakenteiden rakennuslupakäytännöt vaativat erillisen rakennusluvan ja muutoslupakäsittelyn yleiskaavoitukseen. Yleiskäytäntönä lupa-asioissa sovelletaan toistaiseksi toimenpideilmoituksen tekemistä kunnan rakennusviranomaisille, jotka arvioivat hankkeelle rajaehdot, jossa tarkastellaan rakenteen vaikutuksia välittömään läheisyyteen. Maa-alueiden käytön ja rakentamisesta sovelletaan lakia (MRL 123/1999 ja MRA 895/1999), jossa määritellään kuntien rakennusjärjestyksestä (14 §). Kuntien tehtävä on määritellä rakentamiseen vaikuttavat tekijät kuten koko, sijoitus, sopeutuminen ympäristöön, rakennustapa ja ilmoitus naapurille erillisen rakennelman rakentamiseksi. Yhtenäinen rakennuslupakäytäntölaki aurinkoenergiajärjestelmille on tekeillä, jotta maassamme olisi yhtenäinen lupakäytäntö. (Anne Tarvainen; Opinnäytetyö Aurinkosähkön pientuotannon lupa-, sopimus- ja kaavoitusprosessit Varsinais-Suomessa 2016)

6 AURINKOENERGIAJÄRJESTELMIEN RISKIKARTOITUS

Aurinkoenergiajärjestelmien riskikartoituksen tarkoituksena on tarkastella mahdollisia vaaratilanteita, joista voi aiheutua suurtakin vahinkoa henkilöturvallisuudelle ja omaisuudelle. Vika- ja vaaratilanteet johtuvat yleensä ympäristötekijöiden vaikutuksesta, mutta voi olla myös käyttäjän varomattomuudesta johtuvia. Tarkastelu on merkittävä osa ennakoivaa riskienhallintaa, jotta kyetään tunnistamaan järjestelmän mahdolliset vaaranpaikat jo asennusvaiheessa. Tärkeää on minimoida tunnistettuja vaaratekijöitä, eliminoimalla vaaratekijät hyvissä ajoin ennen todellista vaaratilannetta. Lisävaaraa aiheuttaa, mikäli järjestelmään on liitetty akusto, joka pyrkii säilyttämään omalla varuksellaan syötettävää jännitettä halutulla tasolla.

6.1 Ympäristötekijöiden vaikutukset ja seuraukset

Ilman epäpuhtaudet

Ilman epäpuhtauksiin luetaan katupöly, epäpuhtaasta palamisesta muodostuneet pienhiukkaset, orgaaniset ainekset ja muut ilmassa olevat partikkelit, jotka aiheuttavat paneeliston likaantumisen. Likaantuminen aiheuttaa paneelistojen energiantuotantoon häviöitä ja lyhentää paneeliston käyttöikä.

Korroosio

Korroosio vaikuttaa monella tapaa liitännöiden ja rakenteellisten osien luotettavuuteen sekä lujuuteen. Merkittävin yksittäinen tekijä on sähköisten liitosten toimivuus ja korroosio, joka vaikuttaa oleellisesti laitteiston luotettavaan toimintaan. Riittävän pitkälle edennyt korroosio johtaa laitteistojen toimimattomuuden. Korroosio saa alkunsa, kun likaantuminen ja kosteus kohtaavat ja saa aikaan elektrolyytin, joka aiheuttaa ja nopeuttaa metalliosien syöpymistä. Korroosio alkaa liitosten hapettumisella ja johtaa ajan kuluessa korroosioon. Rakenteelliset osat pyritään valmistamaan sellaisista materiaaleista, jotka kestävät hyvin korroosiota.

Lumi ja jää

Arktisissa olosuhteissa lumi ja jää ovat suuressa roolissa, kun tarkastellaan laitteistojen ulkoisten tekijöiden vaikutusta laitteiston käyttöturvallisuuteen. Lumi ja jää muodostavat Suomessa merkittävän riskipotentiaalin aurinkoenergiälaitteistoille, josta voi seurata vaaraa henkilöille ja ympäristölle. Lisäksi lumi ja jää heikentää merkittävästi paneeliston saamaa valomäärää. Suuri jää- ja lumimassa voi saada paneelistot ja asennustelineet irtoamaan kiinnityksistään. Lisäksi lumi ja jää aiheuttaa kaapeloinnille haasteita, jotta kaapelisto kestää lumen ja jään aiheuttamat rasitukset.

Paneelistojen lisätaakka yhdessä lumen ja jään kanssa muodostavat kattorakenteille ja kiinnikkeille lisäpainoa ja on suuri turvallisuuteen vaikuttava tekijä. Yhteispaino tulee ottaa aina huomioon aurinkoenergiajärjestelmiä suunnitellessa ja asennettaessa. Lisäksi se aiheuttaa kaapelistolle mekaanisen

vaaratekijän, jota vastaan varaudutaan suunnitelmalla kaapelireiitit huolella ja laittamalla kaapeleihin vedonpoistajat. Jään ja lumen sulaessa paneelin painokuorma siirtyy paneeliston toiselle reunalle ja voi aiheuttaa paneelin rikkoontumisen tai kiinnityskiskoston vaurioitumisen.

Auringon valo

Auringonvalo eli korkeataajuinen ultraviolettivalo aiheuttaa ongelmia lähinnä kaapeloinnille ja sen eristeiden kestävyydelle. Kaapeloinnissa on huomioitava UV-kestävyys, lämmönkestävyys ja kaksoiseristys. Kaapelointi suoritetaan usein putkessa, jolloin minimoidaan mekaaniset vauriot, mutta silloin on huomioitava kaapeliston lämmönkestävyys.

Poikkeukselliset sääolosuhteet

Poikkeuksellisia sääolosuhteita ovat voimakas tuuli, ukonilma salamoineen ja trombit. Voimakas tuuli ja trombit aiheuttavat monia hankaluuksia, kuten puitten kaatumisia, oksien katkeilua sekä koettelevat paneelitojen kiinnitystä rakenteisiin. Riskikartoituksessa huomioitavaa on paneeliston mekaaniset vauriot, jotka aiheuttavat sähköturvallisuuden kannalta merkittäviä uhkatekijöitä. Voimakkaat tuulet katkovat puita ja puiden oksia ja ne voivat aiheuttaa pudotessaan vakaviakin vaurioita aurinkoenergiajärjestelmille.

Ukonilmalla laitteiston salaman aiheuttamat vauriot voivat johtaa laitteiston rikkoontumiseen ja kaapeleiden eristeiden vaurioitumiseen. Eristeiden vaurioitumisesta johtuvat viat heikentävät laitteiston käyttöturvallisuutta ja on syytä tarkistaa laitteiston kunto ennen, kuin jatkaa laitteiston käyttöä. Salaman aiheuttamat laiterikot ovat varsin yleisiä, kun kohdalle sattuu. Laiterikot paneelistossa johtavat useimmiten laitteiden toimimattomuuteen, tehontuoton heikkenemiseen tai verkkoon kytkettynä aiheuttaa häiriöitä.

Muut riskitekijät

Luonnon eläimet ovat myös omalta osaltaan merkittävä riskitekijä. Jyrsijät voivat pureskella kaapeleita ja isohkot linnut voivat painollaan aiheuttaa paneeliston rikkoontumisen ja muita mekaanisia vaurioita.

Käytönaikaiset riskitekijät

Käytönaikaiset riskitekijät johtuvat pääasiassa käyttäjän itse aiheuttamista varomattomista toimista. Käytönaikaisia toimia talvisaikaan ovat lumen ja jään poistaminen paneeliston päältä sekä paneeliston puhtaanapitoon liittyvät ennakoivat huoltotoimenpiteet. Suuret käytönaikaiset lämpötilat aiheuttavat omalta osaltaan myös riskitekijän.

6.1.1 Toimenpiteet ympäristötekijöiden vaikutuksilta

Toimintaa turvaavat menetelmät ovat lähinnä ohitusdiodeilla toteutettava rikkoontuneen paneelin ohitus, jotta laitteiston katkeamaton toiminta voi jatkua. Rikkoutuneen paneelin ohituksesta seuraa laitteiston tehonalenema, joka ei sellaisenaan aiheuta vaaraa kuluttajalle eikä ympäristölle. Laitteistoon liitetään estodiodit ja ylikuormitussuojat estämään laitteiston ylivirrat ja ylikuormituksen. Kaapeloinnissa huomioidaan kaapeleiden UV-kestoisuus ja käyttölämpötila, lisäksi kaapelit asennetaan kiinnittäen huolellisuutta, jolla minimoidaan kaapelistoon kohdistuva mekaaninen kuormitus ja tarvittaessa käytetään mekaanista vedonpoistoa. Estodiodeilla estetään takavirtojen pääseminen paneelistöön, joka voi kasvaa vaarallisen suureksi.

Maadoituksen ja potentiaalintasauksen tehtävänä on suojata järjestelmää ja käyttäjää vaarallisilta kosketusjännitteiltä. Maadoituksessa otetaan yleensä huomioon myös salamasuojaus. Salamasuojaus toteutetaan kasvattamalla merkittävästi maadoituskapeelin poikkipinta-alaa. Kotelointiluokilla suojataan kytkennät ulkosilta partikkeleilta ja kosteudelta.

Aurinkopaneeliston toiminnan kannalta on merkittävää kiinnittää huomiota paneeliston läheisyydessä oleviin puustoon, joka heikentää auringonvalon pääsyä paneelistöön. Valomäärän heikkeneminen vaikuttaa varsin merkittävästi paneeliston energiantuottoon. Lisäksi puusto aiheuttaa potentiaalisen riskin laitteistovaurioille.

6.2 Järjestelmän toiminta ja suojaus vikatilanteissa

Järjestelmän toimintaa rajoitetaan tietyin ehdoin, jotta sähkönlaadun vaatimukset täyttyvät. Lisäksi ylijännitesuojilla ja ylikuormitussuojilla rajoitetaan ylisuuret kuormitustilanteet, josta voisi seurata laitteiston rikkoontuminen. Verkkoyhtiöt vaativat, että verkkoon syötetty sähköenergia täyttää yleiset laatuvaatimukset ja laitteisto ei saa aiheuttaa häiriötä jakeluverkkoon.

Jos järjestelmästä rikkoutuu yksi tai useampi paneeli, niin järjestelmä pyrkii jatkamaan sähköntuottoa pienemmällä teholla ja ohitusdioidien ansiosta se on mahdollista. Vikapaikan sijainti vaikuttaa vikavirtojen suuruuteen ja vikavirran suuruus voi olla suuruudeltaan sellainen, etteivät suojalaitteet reagoi vikatilanteeseen.

Vikavirroille, jännitteille ja taajuudelle on asetettu ylä- ja alaraja-arvot muuntimeen ja liian suurissa vikatilanteissa laitteiston on kytkeydyttävä irti jakeluverkosta. Irtikytkeytyminen tapahtuu, jos jännite tai taajuus poikkeaa yli raja-arvojen.

6.3 Ennakoivahuolto ja siihen liittyvät huoltotoimenpiteet

Ennakoivaan huoltoon kuuluu laitteiston kunnonvalvonta ja paneelistojen puhtaanapito. Kunnonvalvontaa voidaan seurata järjestelmän käyttösovelluksilla, josta saa ajantasaista tietoa järjestelmän toiminnasta.

Laitteiston valmistaja ja asentaja laativat ohjeistuksen kuluttajan huoltotoimenpiteistä ja määräaikaistarkastuksista, koskien aurinkoenergijärjestelmiä. Suositukset ovat, että huoltotoimenpiteet suorittaa pätevä ammattihenkilö, jolloin minimoidaan varomattomista huoltotoimenpiteistä johtuvat laitteistorikot ja vaaratilanteet sekä varmistetaan, että laitteisto täyttää ajantasaiset laitteistovaatimukset.

7 ENERGIALAITOKSEN ROOLI

Energialaitoksien päätehtävä on huolehtia energian riittävästä tuottamisesta kuluttajien tarpeiden mukaan. Nykyisin energialaitokset ovat pääasiassa CHP- laitoksia, joissa tuotetaan energiaa lämpönä ja sähköinä.

Aurinkoenergialle energialaitos tarkoittaa sitä, että se toimii ylituotetun energian ostajan roolissa ja monella paikkakunnalla se toimii myös jakeluverkon haltijana. Jakeluverkon haltijana energialaitos määrittelee verkkoon liitettävien aurinkoenergiajärjestelmien sähkönlaatuvaatimuksista ja lupamennettelyistä. Aurinkoenergiajärjestelmää ei saa kytkeä yleiseen jakeluverkkoon, jos sille ei ole annettu lupaa liittyä siihen. Energialaitos toimittaa mikrotuottajalle tarvittavat mittalaitteet energian kaksisuuntaista mittausta varten, jotta voidaan mitata kulutetun ja tuotetun energian määrää.

Käytön aikana energialaitos tarkkailee jakeluverkon toimivuutta ja siihen liittyviä mahdollisia häiriötekijöitä. Jakeluverkon huoltotoimenpiteiden aikana energialaitoksen on kyettävä erottamaan yksittäiset aurinkoenergiajärjestelmät jakeluverkosta, jotta huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa jännitteettömänä ja turvallisesti. Tästä johtuen jokainen verkkoon liitetty mikrotuotantolaitos tulee verkkoyhtiön pystyvä erottamaan yleisestä sähköjakeluverkosta.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyöni merkittävin ja haastavin työvaihe oli suunnitella kattava tutkielma aurinkoenergiajärjestelmien riskienhallinnasta ja sähköturvallisuudesta. Tuotokseni tavoitteet tavoitettiin ja toi lisää tietoa aurinkoenergiajärjestelmistä. Aihealueen rajaus oli haastavaa, koska vaarana oli, että käsiteltävät asiat eivät liity aihealueeseen. Haastatteluaineiston pieni otantamäärä ja siitä johtuva epätarkkuustekijät muodosti oman haasteen, jota paikkasin lueskelemalla eri foorumeilla olevia keskusteluja aurinkoenergiasta.

Sähköturvallisuuden kannalta työ oli tärkeä ja ajankohtainen, koska mikrotuotantolaitoksien määrä kasvaa nopeasti. Samalla oli tärkeää kiinnittää huomiota mikrotuotantolaitosten kasvavaan riskipotentiaaliin ja sähköturvallisuuteen. Työssäni käsittelin mahdollisimman kattavasti aihetta ja mielestäni saavutin työn tilaajan tavoittelemat vaatimukset. Työkenneltyäni opinnäytetyön parissa havaittiin, että Suomessa ei ole yhtenäistä lupakäytäntöä työntekohetkellä, mutta saamieni tietojen mukaan sellainen on tekeillä.

Sähköturvallisuuden kanalta työssä tarkasteltiin eri riskitekijöitä, jotka voivat aiheuttaa vaaraa henkilöturvallisuudelle ja omaisuudelle. Työn merkittävin anti oli saada tietoa laitteiston käyttöturvallisuudesta ja laitteiston toimivuudesta eri vikatilanteissa. Lisäksi oli tärkeää oppia mikrotuotantolaitteistojen erilaisista suojausmenetelmistä vikatilanteissa. Vikatilanteiden haasteet voivat olla joskus vaikeita tunnistaa ja paikantaa, koska laitteisto voi toimia normaalisti viasta huolimatta.

Työhön kuului myös haastatteluosio, jossa haastateltiin urakoitsijoita ja kuluttajia. Haastatteluaineisto ja otanta oli aika kapea. Tulokset haastatteluista vastaavat yleisesti keskustelufoorumeilla ja mediassa oleviin kokemuksiin. Tällöin voin todeta haastattelutulosten vastaavan keskimääräistä otantaa aiheesta. Aurinkoenergia on suuressa murroksessa ja käyttökokemusten kasvaessa myös kokemukset kasvavat.

Yhtenä käsittelyosiona oli käydä eri asennustavat ja suojausmenetelmät erilaisissa tilanteissa, joita voi käytön aikana tulla. Yksi keskeinen käsittelyosio, joka annettiin tarkasteltavaksi opinnäytetyöhöni, oli rikkoontuneen aurinkopaneelin vaikutukset aurinkosähköjärjestelmän toimintaan. Ongelman ratkaisu löytyy laadukkaista aurinkopaneeleista, joissa valmistaja on lisännyt ohitusdiodin ohittamaan paneelin vikatilanteessa. Ohitusdiodi asettaa omat vaatimukset, kuinka suureksi voidaan paneeliketjun tuottama jännite nostaa. Ylivirtasuojauksessa tuli esille estodiodien ja ylivirtasuojalaitteiden käyttö. Merkittävin suojausmenetelmä on kuitenkin toimiva ja oikein mitoitettu maadoitusjärjestelmä sekä potentiaalintasaus salamasuojauksen kanssa. Estodiodien käyttö toimii olennaisena osana ylivirtasuojauksessa, koska se estää tehokkaasti takavirtojen vaikutukset paneelistossa. Ylivirtasuojalaitteiden käyttö osoittautui tutkielmassani ongelmalliseksi. Suojalaitteiden mitoitus on osoittautunut haasteelliseksi, koska järjestelmässä voi esiintyä vikavirtoja, joita ylivirtasuojalaitteet eivät havaitse.

Riskikartoituksessa tehtävänä oli tarkastella aurinkoenergiajärjestelmien eri riskitekijöitä ja niiden vaikutuksia aurinkoenergiajärjestelmien toimintaan ja mahdollisesti vaurioiden seurauksiin. Riskikartoituksessa oli pohtia kuinka suojautua ennakolta eri riskitekijöihin. Suomessa merkittävin riskipotentiaali on eri vuodenaikoihin liittyvät tekijät. Lumi ja jää osoittautuivat suurimmaksi riskitekijäksi, josta voi seurata suurtakin vahinkoa. Tähän varaudutaan tekemällä tarkka suunnitelma ja mitoitus kiinnitysmenetelmistä ja kaapeleiden suojaukseen mekaanisilta vaikutuksilta.

Loppupäätelmänä voinee pitää, että aurinkoenergiajärjestelmät ovat erittäin kannattava investointi, koska energiansiirtomaksut ja mahdollisesti energian hinnankasvu tuo lisäkustannuksia energiamaksumiin. Erityisen kannattavaa on hankkia aurinkoenergiajärjestelmä silloin, kun kiinteistössä ei ole ennestään sähköjä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ANJ SOLUTIONS OY 2016 Verkkokaupan kuvamateriaalia [viitattu 4.4.2017]

D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista

IRENA 2016 Renewable capacity statistics [viitattu 22.4.2017] saatavissa: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2016.pdf

MOTIVA 2016 Auringosta sähköä [viitattu 19.4.2017] saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa

NEROWATT OY 2016 Aurinkoenergia Suomessa [viitattu 22.4.2017] saatavissa: <http://aurinkoenergia.fi/aurinkoenergia.html>

PIRILÄ PEKKA 2007 Energiatalous [viitattu 22.4.2017]

SFS käsikirja 607, 2015 1. painos

SFS 600-1, 2012 sähköasennukset SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset

SUOMEN LÄHIENERGIALIITTO RY 2014 Jero Ahola Vaatiiko aurinkoenergiajärjestelmä rakennuslupaa-sitä ei tiedä kaikki kunnatkaan [viitattu 21.4.2017] saatavissa: <http://www.lahienergia.org/vaatiiko-aurinkoenergiajarjestelma-rakennuslupaa-tata-ei-tieda-kaikki-kunnatkaan/>

SÄHKÖINFO OY 2015 Mäkinen Pertti Kotelointi kertoo sähkölaitteesta kaiken oleellisen [Viitattu 21.4.2017] saatavissa: http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi_FI/011015_kotelointiluokat

TARVAINEN ANNE; Opinnäytetyö Aurinkosähkön pientuotannon lupa-, sopimus- ja kaavoitusprosessit Varsinais-Suomessa 2016 saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/105190/Tarvainen_Anne.pdf?sequence=1

WIKIPEDIA 2005 ja 2007 Aurinkoenergia [Viitattu 21.4.2017] saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkoenergia>