



Arttu Laitinen

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu kiinteistöihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

22.8.2023

Tiivistelmä

Tekijä(t): Arttu Laitinen
Otsikko: Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu kiinteistöihin
Sivumäärä: 67 sivua + 1 liite
Aika: 22.8.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Kiinteistöjen sähkötekniikka
Ohjaaja(t): Kai Virta, Lehtori
Roni Leppänen, Vanhempi asiantuntija

Opinnäytetyön aiheena oli perehtyä aurinkosähköjärjestelmiin ja niiden suunnitteluun. Työn tavoitteena oli selvittää aurinkosähköjärjestelmien standardeja, ohjeistuksia ja suunnittelutapoja ja kerätä niistä tietoa sähkösuunnittelijoille sekä tähän työhön.

Työn aihe tuli Rejlers Rakentaminen Oy:ltä. Yrityksessä on huomattu paljon epäselvyyttä aurinkosähköjärjestelmiin liittyen. Aurinkosähköjärjestelmiin liittyvät määräykset ja suositukset ovat myös vielä vaikeasti löydettävissä, eikä niitä välttämättä ole suomennettu. Työssä keskitytään isompiin kiinteistöihin, joihin tulee valtakunnan verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä, jonka tuottama sähkö käytetään pääasiassa kiinteistössä ja ylijäämä myydään verkkoon.

Työssä käydään läpi teoria aurinkoenergiasta ja valosähköisestä ilmiöstä, aurinkosähköjärjestelmän toiminta ja siihen liittyvät osat, aurinkosähköjärjestelmiin koskevat lait, säädökset, standardit ja ohjeet ja sähkösuunnittelijan näkökulmasta huomioitavat asiat. Työhön sisällettiin työkohte Kannelmäen koulu, johon Rejlers Rakentaminen Oy on suunnitellut aurinkosähköjärjestelmän.

Työn lopputuloksena aurinkosähköjärjestelmistä voidaan todeta, että aurinkosähköjärjestelmien määräykset ja ohjeistukset ovat vielä kehitysvaiheessa ja ne voivat muuttua paljon lähivuosien aikana. Työn aihe oli myös niin laaja, ettei voi tehdä yhtä mallipohjaa voi tehdä, mikä sopisi kaikkiin kiinteistöihin tai aurinkosähköjärjestelmiin. Työn avulla yritykseen tuli uutta tietoa aurinkosähköjärjestelmien suojalaitteista ja muusta järjestelmän kokoonpanosta. Yrityksen aurinkosähköjärjestelmien mallikaa- viot voidaan päivittää tämän työn pohjalta.

Avainsanat: aurinkosähköjärjestelmät, aurinkoenergia, sähkösuunnittelu, kiinteistöt

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author(s): Arttu Laitinen
Title: Designing of Solar Sower Systems in Properties
Number of Pages: 67 pages + 1 appendix
Date: 22 August 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Specialisation option: Electrical Building Services
Instructor(s): Kai Virta, Senior lecturer
Roni Leppänen, Senior specialist

The purpose of this study was to get acquainted with solar power systems and the process of designing them. The goal was to examine the standards, guidelines and design styles of the solar power systems and to collect the information into this thesis for use of electrical designers.

The subject originated from Rejlers Buildings Oy due to the company noticing uncertainties related to solar power systems. Regulations and guidelines concerning solar power systems are difficult to find and some of them have not been translated into Finnish. This thesis focuses on larger properties with a solar power system connected to the national grid, the generated electricity of which is primarily used in the property itself and the surplus is sold to the grid.

This thesis covers theory of solar energy and the photoelectric effect, operation and component of solar power systems, laws, regulations, standards, and guidelines concerning solar power systems, and matters that electrical engineer must take into consideration when designing solar power systems. The thesis includes one project case, the solar power system of which was designed at Rejlers Buildings Oy.

As the result of this study, it was observed that the regulations and guidelines for solar power systems are still in developmental stage and may undergo significant changes in the near future. Due to the broad scope of the study, a universal template that could be used for all kinds of properties and solar power systems was impossible to make. The company gained new insight about the protective devices and configurations of solar power systems during the research phase of the thesis. Also, the company's model diagrams for solar power systems could be updated based on this study.

Keywords: Solar power systems, solar energy, electrical designing, properties

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Aurinko energialähteenä	2
2.2	Aurinkoenergian tulevaisuus	3
3	Aurinkovoimalat	5
3.1	Valosähköinen ilmiö	5
3.2	Aurinkosähköjärjestelmän toiminta	6
3.3	Aurinkopaneelit	7
3.3.1	Kennojen rakenne ja toimintaperiaate	8
3.3.2	Yksikidepaneelit	9
3.3.3	Monikidepaneelit	10
3.3.4	Ohutkalvopaneelit	11
3.4	Vaihtosuuntaaja eli verkkoinvertteri	12
3.5	Erotin	13
3.6	Kaapelointi ja liittimet	14
3.7	Kustannukset	15
3.8	Sähkön myynti	16
4	Säädökset, standardit ja ohjeet	19
4.1	Paloviranomainen	19
4.1.1	Aurinkovoimaloihin liittyvät riskit	20
4.1.2	Vaatimukset ja suositukset paloluokittain	22
4.1.3	Ohjeet ja suositukset paloturvallisuuden parantamiseksi	24
4.2	Säädökset	32
4.3	Standardit	33
4.3.1	Asennus	33
4.3.2	Suunnittelu	43
5	Sähkösuunnittelussa huomioitavat asiat	44
5.1	Tilavaraukset, sijoittelu ja ryhmittely	44
5.2	Järjestelmät ja suojalaitteet	46

5.3	Johtotiet ja mekaaninen suunnittelu	49
5.4	Potentiaalintaus	50
5.5	Energiamittaus ja tuotannon seuranta	51
5.6	Urakkarajat	51
6	Esimerkkikohde Kannelmäen koulu	52
6.1	Järjestelmän kuvaus	52
6.2	Työmaakierros	55
7	Yhteenveto	60
	Lähteet	63
	Liitteet	
	Liite 1: Kannelmäen peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän kohdekortti	

Lyhenteet ja käsitteet

- A2-s1, d0: Paloluokitus, jossa ensimmäiset kaksi merkkiä kertovat materiaalin osallistumisesta paloon, seuraavat kaksi merkkiä savuntuotosta palossa ja viimeiset kaksi merkkiä kertoo, miten materiaali pisaroi palossa. A2 on osallistuminen paloon erittäin rajoitettu, s1 on savuntuotto erittäin vähäistä ja d0 on palavia pisaroita tai osia ei synny.
- ARA: Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus.
- BREEM: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. Ympäristösertifikaatteja myöntävä järjestö.
- B_{roof}(t2): Paloluokitus rakennuksen katteille. Suomessa vaadittava katteiden paloluokitus.
- c/kWh: Senttiä per kilowattitunti. Yksikkö, jolla käytettyä sähkötehon hintaa mitataan.
- EMC: *Electromagnetic compatibility*. Sähkömagneettinen yhteensopivuus. Sähkölaitteen kyky toimia tavallisesti sähkömagneettisen voiman alaisuudessa.
- GWp: *Gigawatt peak*. Yksikkö, jolla mitataan aurinkosähköjärjestelmän huipputehoa.
- kVA: Kilovoltttiampeeri. Yksikkö sähköiselle näennäisteholle.
- kWp: *kilowatt peak*. Yksikkö, jolla mitataan aurinkosähköjärjestelmän huipputehoa.
- LEED: *Leadership in Energy and Environmental Design*. Kiinteistöiden ympäristösertifiointijärjestelmä.

- MWh/a: Megawattituntia vuodessa. Yksikkö, jota käytetään sähköenergian kulutukseen.
- PELV: *Protective extra low voltage*. Sähköjärjestelmistä käytettävä nimitys, joissa jännite ei tavallisissa olosuhteissa voi nousta pienoisjännitteen yli ja joissa on lisäksi suojamaadoitus.
- ROCOF: *Rate of change of frequency*. Taajuuden muutosnopeus.
- RTS: Rakennustietosäätio. Suomalainen rakennustiedon omistajayhteisö.
- SELV: *Safety extra low voltage*. Sähköjärjestelmistä käytettävä nimitys, joissa jännite ei tavallisissa olosuhteissa voi nousta pienoisjännitteen yli ja jotka on lisäksi erotettu suojamaadoituksesta.
- TWp: *Terawatt peak*. Yksikkö, jolla mitataan aurinkosähköjärjestelmän huipputehoa.
- VAK: Valvonta-alakeskus. Yleinen nimike rakennusautomaation sähkökeskuksesta.

1 Johdanto

Tässä työssä tutustutaan aurinkosähköjärjestelmiin, niiden toimintaan ja mitä niiden suunnittelussa täytyy huomioida kiinteistökohteissa. Työssä myös tutustutaan hieman aurinkovoimaloiden asennustekniseen puoleen. Työn lopputuloksena kuuluisi tulla eräänlainen käsikirja tai ohjeistus sähkösuunnittelijoille aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun. Työn aihe tuli Rejlers Rakentaminen Oy:ltä, kun yrityksessä on huomattu aurinkosähköjärjestelmiin liittyen olevan paljon epäselvyyksiä, eikä ole yhtä koottua ohjekirjaa tai standardia järjestelmän suunnittelusta. Työssä tullaan käyttämään paljon ammattisuunnittelijoita ja asiantuntijoita lähteinä, sillä heillä on runsaasti tietoa aiemmista ongelmakohtista sekä tavoista, jotka ovat toimineet.

Aurinkoenergia on käsitteenä laaja, ja se kattaa monen tieteenalan osa-alueita. Aurinkovoimalat, kuten monet muutkin teknologian alat, kehittyvät nopeasti. Työssä käydään läpi teoriaa aurinkoenergiasta ja valosähköisestä ilmiöstä ja aurinkovoimalan kokoonpanoa sekä siihen kuuluvien osien toimintaa. Työssä tutustutaan säädöksiin ja standardeihin aurinkosähköjärjestelmiin liittyen ja sähkösuunnittelijoiden näkökulmasta huomioitaviin asioihin aurinkosähköjärjestelmää suunnitellessa. Lopuksi työssä on esimerkkikohte, johon Rejlers Rakentaminen Oy on suunnitellut aurinkosähköjärjestelmän.

Aihe on lähtökohdalta insinööriyön tekijälle melko tuntematon, mutta kiinnostus aiheeseen heräsi törmätessä ongelmakohtiin työpaikalla. Työtä tehdessä ammatillinen osaaminen karttuu laajasti. Tavoitteena on, että insinööriyö helpottaa sähkösuunnittelijan työtä.

2 Aurinkoenergia

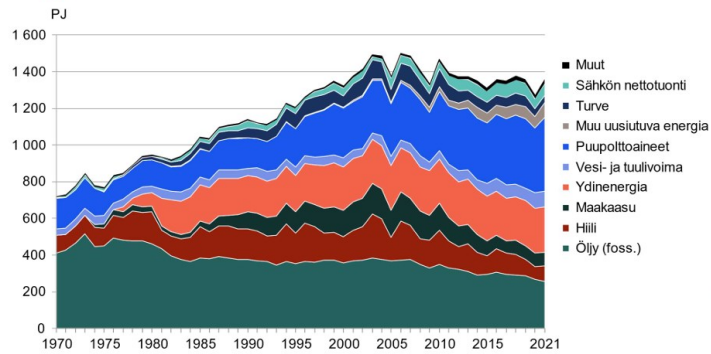
2.1 Aurinko energialähteenä

Ihminen on käyttänyt aurinkoa energialähteenä koko ihmishistorian ajan. Auringosta tulee maapallolle energiaa 120 petawattia, eli 120 tuhatta biljoonaa wattia. Maahan tulee siis tunnissa enemmän energiaa kuin ihmiskunta käyttää vuosittain. [1, s. 10.]

Auringosta tuleva energia on peräisin fuusioreaktiosta, joka tapahtuu auringon ytimessä. Reaktiossa vedyn atomit törmätessään suurella nopeudella muiden hiukkasten kanssa fuusioituvat heliumiksi. Reaktiossa vapautuu valtava määrä energiaa fotonien muodossa. [2.] Yksittäisten fotonien matka auringon ytimestä pinnalle kestää jopa miljoonia vuosia, ja matkalla fotonit törmäilevät ja absorboituvat muihin hiukkasiin luovuttaen osan energiastaan. Auringon pinnalta energia vapautuu avaruuteen valona, lämpönä ja aurinkotuulena. [3.]

Muutaman vuosisadan aikana ihmiskunnan energiantarve on kasvanut valtavasti teollisen vallankumouksen myötä. Suurin osa tästä energiasta on tuotettu fossiilisilla polttoaineilla, mistä syntyy suuria määriä kasvihuonekaasuja. [4.] Kasvihuonekaasut jäävät maan ilmakehään ja aiheuttavat siellä nimensä mukaisesti kasvihuoneilmiön, jossa auringon lämpösäteet pääsevät kaasuista läpi, mutta maasta nouseva lämmin ilma absorboituu niihin nostaen ilmakehän lämpötilaa [5]. Kuvassa 1 näkyy energian lähteet sekä kokonaiskulutus viimeisen 50 vuoden aikana. Fossiilisten energialähteiden määrä on korkea vielä tänäkin päivänä, noin kolmasosa tuotetusta energiasta. [6.]

Energian kokonaiskulutus 1970–2021



Tilastokeskus

Kuva 1. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin 1970–2021 [6].

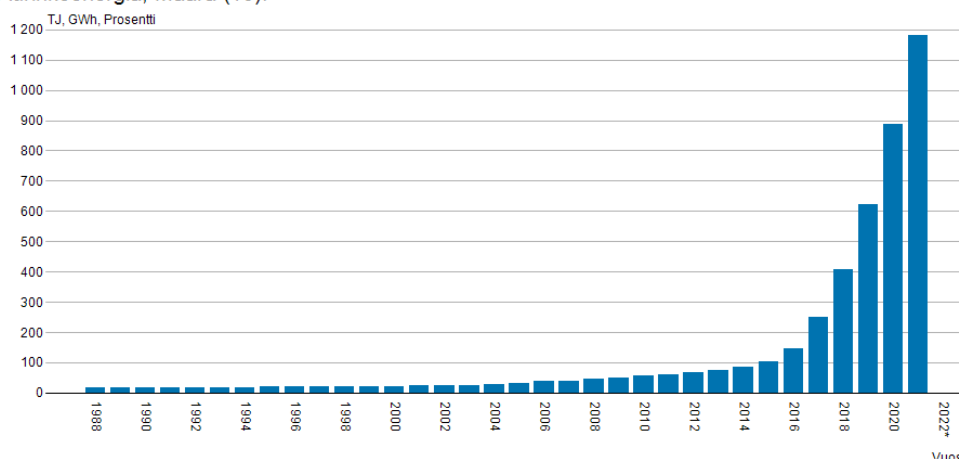
2.2 Aurinkoenergian tulevaisuus

Fossiilisten polttoaineiden haitat on tiedetty jo pitkään ja niiden käyttöä on pyritty rajoittamaan. Merkittävimpiä ilmastomuutosta koskevia sopimuksia on Pariisin ilmasopimus, johon on liittynyt 2023 mennessä 195 jäsentä. Sopimus pyrkii rajoittamaan maapallon keskilämpenemisen 1,5 celsiusasteeseen vuodessa ja laskemaan kasvihuonekaasupäästöt mahdollisimman pian. [7.]

Aurinkoenergiassa on myös vielä ongelmia, sillä energian tuotannossa on suuria vuorokausivaihteluita ja energian varastoiminen on vaikeaa ja kallista. Talvisaikaan, jolloin energiantarve on monin paikoin suurinta, on aurinkoenergian tuotto vähäisimmillään. [8.]

Aurinkoenergia on nopeimmin kasvava energianmuoto maailmalla. Teknologinen kehitys aurinkoenergiassa on ollut merkittävää, ja aurinkoenergiajärjestelmien hinnat ovat laskeneet tasaiseen tahtiin. [9.] Kuvassa 2 on kuvaaja aurinkoenergian kokonaiskulutus viimeisen 33 vuoden aikana. Kuvasta näkee aurinkosähkön tuotannon räjähtävän kasvun viimeisen 7 vuoden aikana.

Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (kaikki luokat) muuttujina Vuosi. 1.4.1
Aurinkoenergia, Määrä (TJ).



Kuva 2. Aurinkoenergian kokonaiskulutus 1988–2021 [10].

Aurinkoenergian kapasiteetti Suomessa on ylittänyt 1 TWp (terawatt peak) rajapykälän maaliskuussa 2022. Kapasiteetin uskotaan saavuttavan 2 TWp:n rajan vuonna 2025. Suomessa pelkkällä asuintalojen kattojen pinta-alalla on potentiaali tuottaa aurinkosähköä on noin 10 GWp (gigawatt peak). [11.]

Aurinkopaneelien pääraaka-aineena käytetään piitä. Vaikka pii on aineena maapallon kuorella yleinen, on sen jalostaminen aurinkokennoihin sopivaksi kallista ja monimutkaista. Piitä täytyy sulattaa ja käsitellä vaarallisilla kemikaaleilla, jotka nostavat aurinkopaneelien neliöhintaa. Aurinkokennoille on löydetty uusi valmistusmateriaali, joka ei tarvitse kemikaalikäsittelyä eikä kuumentamista. Aineen nimi on perovskiiitti, ja sen uskotaan mullistavan aurinkokennoteknologian. [12.] Perovskiiittistä valmistettujen aurinkopaneelien hyötysuhde on teoreettisesti 66 %, kun piikennoilla teoreettinen hyötysuhde on vain 31 % [12; 13, s. 43]. Piipaneelien hyötysuhde on parhaimmillaan saatu noin 26 %:iin ja perovskiiittistä valmistetun aurinkokennon hyötysuhde on saatu jo yli 30 %:iin, mutta vain hyvin pienikokoisella kennolla. Perovskiiittikennojen valmistaminen voi tapahtua tulostimilla, mikä mahdollistaisi aurinkopaneelien saatavuuden kaikkialle ja paneelien neliöhinnan putoamisen alle 2 €/m², joka on noin kymmenen kertaa halvempaa kuin piipaneeleilla. [12; 14.]

Ympäristöluokitukset

Rakennusten ja rakennushankkeiden energiatehokkuuteen ja ympäristöystävällisyyteen on luotu erilaisia mittaamenetelmiä, joita kutsutaan ympäristöluokituksiksi. Näistä yleisimmät maailmanlaajuisesti ovat ympäristösertifikaatit BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) ja LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Ympäristösertifikaateissa tutkitaan ja pisteytetään rakennuksen ympäristövaikutukset, kuten sijainti, energian, veden ja materiaalien käyttö ja johtaminen. [15.]

Ympäristöluokitukset auttavat sijoittajia, viranomaisia ja tilojen käyttäjiä vertailemaan esimerkiksi kiinteistöjen energiaominaisuuksia, ja ympäristösertifikaatti itsessään nostaa kiinteistön arvoa ja haluttavuutta. [15.] Suomen oloihin on kehitetty RTS-ympäristöluokitus (Rakennustietosäätiö), joka pyrkii muun muassa vähentämään rakennuksen hiilidioksidipäästöjä. RTS-ympäristöluokitus myös tukee rakennuksen vastuullista johtamista ja palvelujen hankintaa, sekä sillä myös pyritään parantamaan rakennuksessa työskentelevien hyvinvointia. [16.]

Aurinkosähkö ja muut uusiutuvat energianlähteet on pisteytetty edellä mainituissa ympäristösertifikaateissa. Ympäristösertifikaattien tärkein tavoite on vähentää rakentamisen ja kiinteistöjen hiilijalanjälkeä. [17.]

3 Aurinkovoimat

3.1 Valosähköinen ilmiö

Valosähkölliseksi ilmiöksi kutsutaan ilmiötä, jossa elektroni vapautuu atomista valon osuttua siihen. Ilmiön havaittiin 1870-luvulla, kun fyysikot huomasivat seleenin sähkönjohtavuudessa muutoksia aineen ollessa auringonvalossa. Vasta 1900-luvun alussa kuuluisa saksalainen tiedemies Albert Einstein kehitti teorian, jossa hän kertoi valon koostuvan pienistä hiukkasista, fotoneista, jotka riittävän suurenergisinä pystyvät irrottamaan elektronin atomeista niiden osuttua siihen.

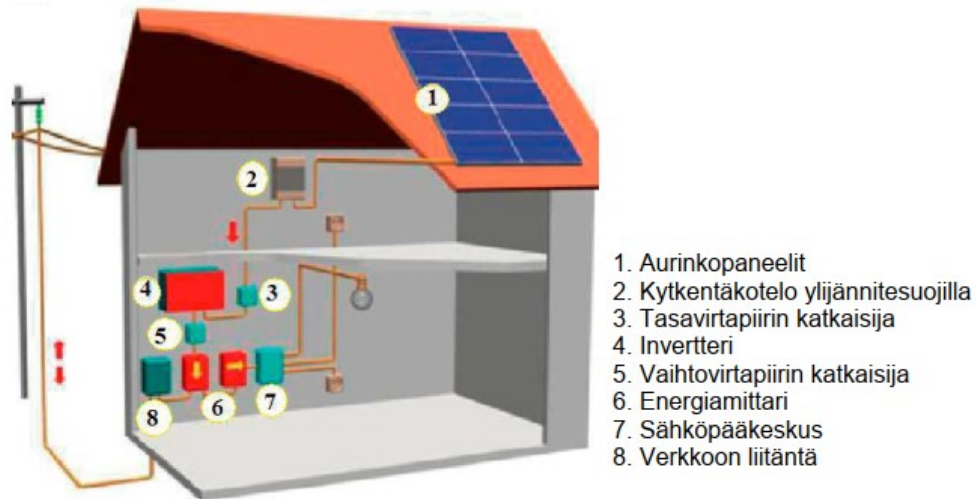
Tämä elektronien irtoaminen aiheuttaa aineessa sähkövirtauksen. Einstein sai teoriastaan fysiikan Nobel-palkinnon. [18, s. 24.]

Ihminen pystyy hyödyntämään aurinkoenergiaa kahdella eri tavalla, joko varastoimalla ja käyttämällä aurinkosäteiden lämpöenergiaa tai hyödyntämällä valosähköistä ilmiötä ja tuottamalla sillä sähköä [13, s. 20]. Tämä työ keskittyy aurinkosähköjärjestelmiin, joissa auringon energiaa muunnetaan sähköksi.

3.2 Aurinkosähköjärjestelmän toiminta

Aurinkosähköjärjestelmiä on kiinteistökäytössä pääasiassa kahta erilaista: valtakunnan verkkoon kytketyt järjestelmät tai valtakunnan verkosta erillään olevat järjestelmät. Valtakunnan verkossa olevissa aurinkovoimaloissa paneelien tuottama tasasähkö muutetaan vaihtosähköksi ja ensisijaisesti kulutetaan itse tai myydään sähköverkkoon. Valtakunnan verkosta erillään olevat järjestelmät laa- taavat paneeleista tulevan sähköenergian akustoon siitä edelleen käytettäväksi. [18, s. 43.] Tässä työssä keskitytään valtakunnan verkkoon yhdistettyjä järjestelmiä, joissa ylituotantosähköä ei varastoida vaan se myydään takaisin verkkoon.

Verkkoon liitettyyn aurinkosähköjärjestelmään kuuluu yksinkertaistettuna aurinkopaneelit, verkkoinverterti, erotin ja johdotus näiden sekä muun kiinteistön sähköverkon välillä [19]. Kuvassa 3 on yksinkertainen aurinkosähköjärjestelmä kiinteistössä.



Kuva 3. Yksinkertainen aurinkosähköjärjestelmä kiinteistössä [19].

Suomessa aurinkosähköjärjestelmät rakennetaan kiinteistön pääkulutusmittarin jälkeen muun kulutuslaitteiston rinnalle [20].

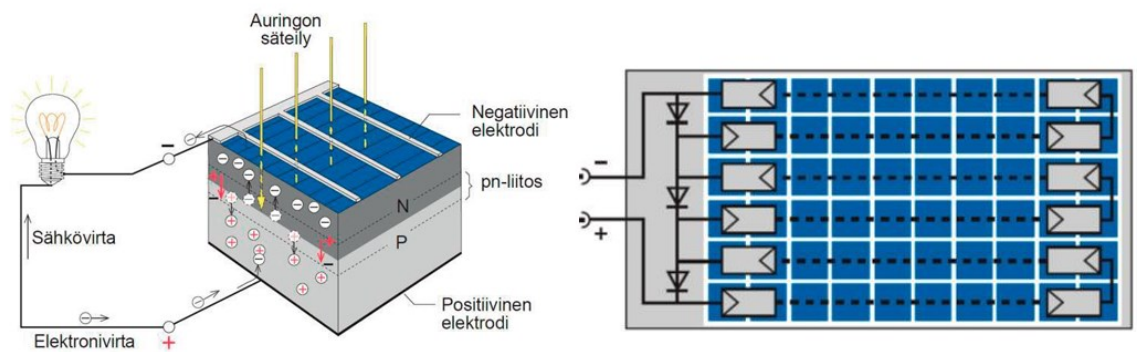
3.3 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit ovat aurinkosähköjärjestelmän energiaa tuottava osa. Aurinkopaneelit koostuvat yksittäisistä aurinkokennoista. Kennot valmistetaan yleisimmin piistä. Pii on puolijohde, mikä tarkoittaa, että pii on normaalisti eristävää materiaalia, mutta ulkoisen voiman vaikutuksesta, kuten lämmön tai valon, osa aineen elektroneista irtoaa. Tämän vaikutuksesta aineen kyky johtaa sähköä nousee. [13, s. 31–32.]

Aurinkokennojen pii on seostettu eri aineilla, kuten boorilla tai fosforilla puolijohdeen tarpeiden mukaan. Piin seostus boorilla synnyttää aineen booriatomeihin aukkoja, joista puuttuu elektrodi. Nämä aukot yrittävät täyttää itsensä puuttavalla elektronilla, mikä luo aineeseen positiivisen varauksen. Tällaisia kutsutaan p-tyyppin puolijohteiksi. Fosforilla seostettuun piihin taas syntyy vapaita elektroneja fosforiatomien ympärille, mille ei ole aineessa paikkaa. Ylimääräinen elektroni luo aineeseen negatiivisen vetovoiman, joten niitä kutsutaan n-tyyppin puolijohteiksi. [13, s. 32–34.]

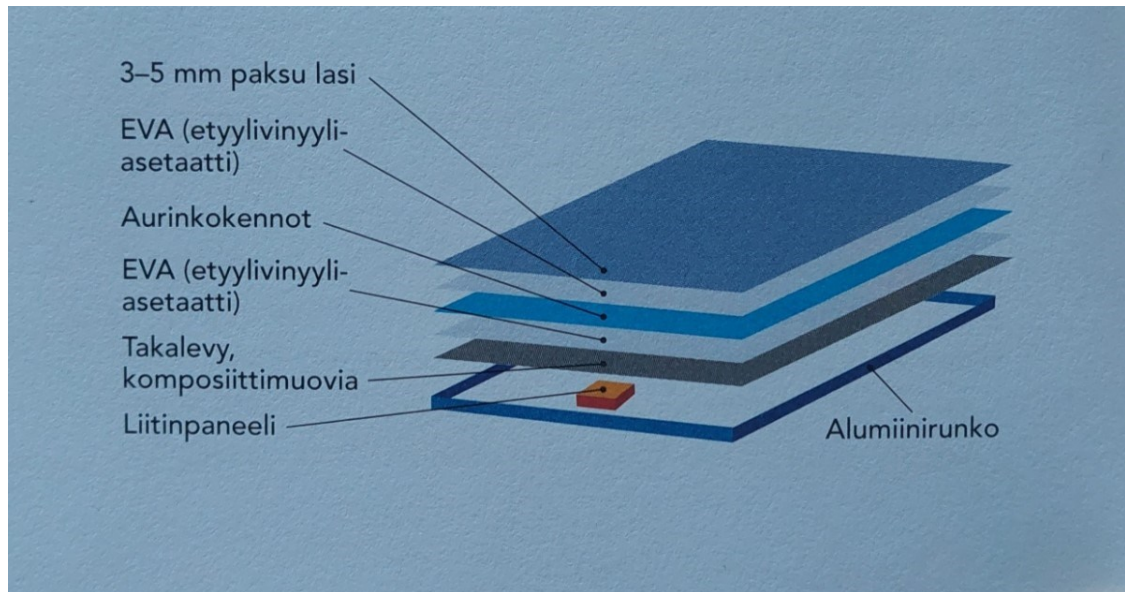
3.3.1 Kennojen rakenne ja toimintaperiaate

Aurinkokennojen pintamateriaali on ohut kerros n-tyypin puolijohdetta, yleensä yksi- tai monikiteistä piitä. Toinen kerros aurinkopaneeleista on tehty p-tyypin puolijohdesta. Auringonvalon osuttua kennon pintaan irtoaa siitä elektroneita, jotka siirtyvät puolijohdeiden välillä aiheuttaen potentiaalieron. Yksittäisestä aurinkokennosta muodostuu pariston tapainen jännitelähde miinusnapana kennon pinta ja plusnapana kennon pohja. [19.] Kuvassa 4 on esitetty yksinkertaistettuna paneelien rakennetta ja kennon toimintaa.



Kuva 4. Aurinkopaneelin rakenne ja aurinkokennon toiminta [19].

Yksittäisen kennon tuottama jännite on noin 0,6 V, joten niitä pitää kytkeä useampi sarjaan halutun käyttöjännitteen saavuttamiseksi. Yhden aurinkopaneelin nimellisjännite on tyypillisesti noin 20 V. [13, s. 46.] Aurinkokennot tuottavat aina tasasähköä [13, s. 42]. Kennojen välissä on ohitusdiodi, jonka avulla yhden kennon ollessa varjossa tai rikkouduttua koko kenno ei muutu toimintakyvyttömäksi [19]. Kennojen sähköntuotanto toimii kemiallisesti, joten ne eivät tarvitse liikkuvia osia [18, s. 59]. Tämä tekee aurinkopaneelien elinkaarista pitkiä, mutta niiden sähköntuotokkyky laskee vähitellen, noin 0,5 % vuodessa [13, s. 47]. Kuvassa 5 näkyy paneelien yksityiskohtaisempi rakenne.



Kuva 5. Aurinkopaneelin rakenne [18, s. 67].

3.3.2 Yksikidepaneelit

Yksikidepaneeleiksi kutsutaan aurinkopaneeleja, joiden aurinkokennot on valmistettu yhdestä kiekoksi sahatusta piikiteestä. Tällaisten paneelien hyötysuhde on käytännössä 17–21 %. Markkinoilla yksikidepaneelit ovat harvinaisempia, sillä niiden valmistaminen on kalliimpaa kuin monikidepaneelin. Yksikidepaneelin osittainen varjostus pienentää myös paneelin tuottavuutta enemmän verrattuna monikidepaneeliin. Yksikidepaneelit voi tunnistaa aurinkokennojen välistä salmiakkikuviosta. [13, s. 44–45.] Kuvassa 6 on esimerkki yksikidepaneelistä.



Kuva 6. EGE 375W -yksikidepaneeli [21].

3.3.3 Monikidepaneelit

Monikidepaneeleiden kennot ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin yksikiteisten, mutta paneelien kennot valmistetaan useasta pienemmästä piikiteestä. Paneelien hyötysuhde on 16–19 %:n luokkaa. Monikidepaneelien huonompi hyötysuhde johtuu kennoihin muodostuneista kidevirheistä. Vaikka hyötysuhde monikidepaneelilla on huonompi, on se halvemmän hintansa takia yksikidepaneelia suosittu kiinteistökohteissa. Monikidepaneelin pinta on yhtenäinen ja tasainen. [13, s. 44; 18, s. 58.] Kuvassa 7 on esimerkki monikidepaneelistä.



Kuva 7. 210W-P MAXX -monikidepaneeli [22].

3.3.4 Ohutkalvopaneelit

Ohutkalvopaneelit koostuvat ohutkalvokennoista, jotka valmistetaan levittämällä ohut kerros valoherkkää materiaalia, kuten amorfista piitä tai kadmiumtelluridia, pohjamateriaalille, joka on yleensä lasia, ruostumatonta terästä tai muovia [23, s. 5]. Ohutkalvopaneeleista pystyy valmistamaan taipuisia, jos kennojen pohjamateriaali on myös taipuisaa. Hyötysuhde tällaisilla paneeleilla on yleensä kidepaneeleita huonompi, noin 9–11 %. Auringonvalo pääsee paneelista osin läpi aiheuttaen hyötysuhteen alenemisen. Taipuisuuden ansioista ohutkalvopaneeleita voi käyttää monenlaisiin käyttötarkoituksiin, esimerkkinä aurinkosähköä tuottavat kattotiilet ja mobiililaitteet. [23, s. 5; 24.] Kuvassa 8 on taipuisaa ohutkalvopaneelia.



Kuva 8. Taipuisaa ohutkalvopaneelia [23, s. 6].

3.4 Vaihtosuuntaaja eli verkkoinvertteri

Paneelien tuottama tasasähkö täytyy muuttaa vaihtosähköksi, jotta sen voi liittää rakennuksen sähköverkkoon. Laitetta, jolla muutos tehdään, kutsutaan vaihtosuuntaajaksi ja puhekielessä invertteriksi. Yksinkertaistettuna verkkoinvertteri analysoi verkkovirran taajuutta ja jännitettä ja muuttaa paneeleilta tulevan tasasähkön napaisuutta ja jännitettä vastaamaan verkkovirtaa. Verkkovirtaan liitettävien invertterien tulee olla paikallisen sähköverkkoyhtiön hyväksymiä. Verkkoinvertterin tärkeimmät ominaisuudet ovat kytketyn verkon tukeminen, aurinkopaneelien tuottaman sähkön muunto hyvällä hyötysuhteella verkkovirraksi, kyky kestää invertteriin kytketyiden aurinkopaneeleiden määrä sekä sopeutua sähkötuotannon vaihteluihin ja olla elinkaareltaan pitkäikäinen, halpa ja helppo-huoltoinen. [25, s. 57–60.]

Verkkoinverttereitä on joko yksi- tai kolmivaiheisia. Lähes kaikki kaupallisiin tai muuten isoihin kiinteistöihin tulevat invertterit ovat kolmivaiheisia, sillä yksivaiheinvertterit ovat vain pienille, alle 3 kWp:n voimaloille. Kolmivaiheinverttereissä aurinkopaneelit jaetaan tasaisesti tuottamaan energiaa kaikkien kolmen vaiheen

kesken ja kiinteistönkin kulutus tulisi olla mahdollisimman tasaista kaikilla kolmella vaiheella. [13, s. 80.]

Invertteri on aurinkosähköjärjestelmän komponenteista lyhyin elinkaareltaan ja eniten huoltoa tarvitseva osa. Keskimäärin invertterin tulisi kestää 15 vuotta. [26.]

3.5 Erotin

Invertterin huollon ja vaihtamisen mahdollistamiseksi on järjestelmään sisällytettävä tasa- sekä vaihtosähkön erotin. Vaihtosähköpuolen erottimena käytetään yleisemmin turvakytkintä sekä ylivirtasuojasta. Tasasähköpuolen erotuksena voidaan käyttää DC-turva- ja erotuskytkimiä, koteloituja liittimiä, varokkeita, invertterin DC-kytkintä tai erotus-MC4-liittimiä. [27.] Kuvassa 9 lueteltu tarkemmin vaaditut erotuslaitteet tasasähköosalle.

Erotuslaitteet tasasähköosassa		
Piiri tai piirin osa	Erotuslaitteet	Vaatus
Paneelistoketju	Erotin ^a	Vaaditaan
Osapaneelisto, jota ei ole liitetty suoraan vaihtosuuntaajaan	Erotin ^a	Vaaditaan
	Kytkenäkykyinen erotuslaite ^{b, c}	Suosittelaa
Paneelisto tai osapaneelisto, joka on liitetty suoraan vaihtosuuntaajaan	Kytkenäkykyinen erotuslaite ^{b, c}	Vaaditaan

^a Koteloitu liitin, varoke tai erotin ovat esimerkkejä sopivista erotuslaitteista
^b Kytkinvaroke, erotuskytkin ja katkaisija ovat esimerkkejä kytkenäkykyisistä erotuslaitteista
^c Erotuslaite voi olla yksittäinen laite tai yhdistelmä laitteita, jotka saavat aikaan katkaisun ja erotuksen

Huomautus c) yllä:
 Erotus voidaan tehdä erillisillä laitteilla, esimerkiksi virrankytkentä invertterin DC-kytkimellä ja erotus MC4-liittimillä.

Kuva 9. Vaaditut erotuslaitteet ja esimerkkejä erotuslaitteista aurinkovoimalan tasasähköosiossa [27].

Turvakytkin on suojalaite, jolla pystytään erottamaan sähkölaitteen kuten aurinkovoimalan, sähköverkosta. Laite on yksinkertaisuudessaan katkaisija, joka oikein asennettuna katkaisee kaikki jännitteet virtapiiriltä. [28.] Kuvassa on 10

Katkon valmistama Suomessa yleisesti käytössä oleva vaihtosähkön turvakyt-kin. Aurinkosähköjärjestelmä täytyy olla erotettavissa vaihto- sekä tasasähkö- puolelta [25, s. 133].



Kuva 10. Katkon turvakytin vaihtosähkölle [28].

Turvakytkimet ja muut erottimet on sijoitettava paikkaan, johon on esteetön pääsy sähkölaitteiston käyttäjälle ja sähköverkon haltijalle. Turvakytkimen voi esimerkiksi sijoittaa ulkoseinälle tai erilliseen tekniseen tilaan, johon verkkoyhtiöllä on pääsy. Kytkimen sijoitus tulee olla sovittuna sähköverkkoyhtiön kanssa. [25, s. 133.]

3.6 Kaapelointi ja liittimet

Aurinkopaneelit tulevat tehtaalta valmiiksi kaapeloituina. Tasavirtapuolen kaapelityyppinä käytetään useimmiten joko 4 tai 6 mm²:n yksijohtimista suojattua teräskaapelia tai eristettyjä johtimia asennettuna asennusputkiin tai johtokana- viin eristeaineisiin. Kaapelien sekä liittimien täytyy kestää erilaiset sääolosuh- teet, 1000 VDC:n jännitekestoisuus ja vähintään 70 °C:n lämpötilan. [25, s. 129.] Kuvassa 11 on tyypillinen kaapeli aurinkopaneelien tasavirtajohdotuksiin. DC-puolen kaapeleita ei välttämättä tarvitse suojata erikseen ylivirtasuojilla [25, s. 129].



Kuva 11. Aurinkopaneelikaapeli, HF-SOLARFLEX-X-TWIN 2X6 [29].

Aurinkopaneelit kytketään sähköisesti toisiinsa pikaliittimillä. Pikaliittimet saa käsin kytkettyä yhteen, mutta tarvitsevat työkalun tai avaimen irrotukseen. Yleisimmin käytetään MC-4-liitintyyppiä. [18, s. 160.] Kuvassa 12 on MC-4-uroslitin sekä -naarasliitin. Aurinkopaneelien liittimet eivät ole standardoituja [18, s. 160].



Kuva 12. MC-4-aurinkopaneeliliittimet [30].

Vaihtosähköpuolen kaapeloinnille ei ole omia erityismääräyksiä, ja se pitää mitoitaa kuin muutkin ryhmäjohtimet SFS 6000 standardin mukaisesti. Suosituksena on käyttää kaapeleita, joissa on konsentrisen maadoitusjohdin sekä EMC-vedonpoistoholkkeja häiriösuojauksen takia. [25, s. 131.]

3.7 Kustannukset

Aurinkosähköjärjestelmien kustannukset muuttuvat tiuhaan tahtiin tekniikan kehittyessä ja energiamurroksen edetessä. Hintoihin vaikuttavat paljon myös maailman tapahtumat, kuten Ukrainan sota ja koronapandemia, jotka vaikuttavat raaka-aineiden ja laitteiden saantiin. [31.]

2010-luvulla aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat pudonneet voimakkaasti [32]. Hintojen alenemiseen suurimmat syyt ovat aurinkopaneelien hintojen putoaminen ja asennushinnan lasku kysynnän nousun takia [33].

Aurinkovoimalan kustannuksissa kannattaa ottaa huomioon takaisinmaksuajat ja järjestelmän yksikköhinta tuotantoon suhteutettuna. Järjestelmän suhteutettu hinta tuotantoon pienenee järjestelmän koon kasvaessa, eli suurempi voimala on lähes aina kannattavampi sijoitus, mutta aurinkovoimala tulisi useimmiten mitoittaa kiinteistön oman kulutuksen mukaan. [34.]

Aurinkosähköjärjestelmän kallein yksittäinen osa on invertteri. Aurinkosähköjärjestelmän hankinnan suunnittelussa kannattaa mitoittaa tarve invertterin mukaan, sillä paneelien yksikköhinta ei ole paljoa verrattuna isomman invertterin hintaan. [31.]

3.8 Sähkön myynti

Jos aurinkosähköjärjestelmä tuottaa enemmän energiaa kuin kiinteistössä on kulutusta, pitää ylimääräinen energia siirtää valtakunnalliseen sähköverkkoon paikallisen verkkoyhtiön kautta. Jokaisella sähkön pientuottajalla on oikeus liittää tuotantolaitoksensa sekä siirtää tuotettua energiaa sähköverkkoon, kunhan voimala täyttää kaikki sille annetut tekniset vaatimukset. Sähköenergian siirrolle valtakunnan verkkoon on myös vaatimus, että sille on ostaja. [25, s. 35.] Sähkön pientuotantoa säädellään Suomessa sähkömarkkinalaissa, sähköverolaissa sekä valtioneuvoston asetuksista mittauksesta ja taeselvityksestä. Aurinkosähkön verotuksessa ja mittauksessa on eroavaisuuksia voimalan kokoihin nähden. [25, s. 33.] Taulukossa 1 on lueteltu aurinkovoimalan kokoon vaikuttavat määräykset.

Taulukko 1. Aurinkovoimaloihin vaikuttavat säädökset [25, s. 33]. Muokattu.

Huomioitava vaatimus	< 50 kVA	< 100 kVA	≥ 100 kVA
Ei erillismittausvaatimusta	X	X	
Erillismittausvaatimus			X
Sähkönmyyntisopimus	X	X	X
Vapautus sähköverosta			X
Sähköveroilmoitus ja maksu			Yli 800 MWh/a
Kotitalouden tuloverotus	X		
Sähkönsiirto kiinteistörajan yli	X	X	X

Sähkön myyntiä verotetaan tuloverolain mukaisesti, mutta kotitalouksissa omaa sähkökäyttöä varten hankittua järjestelmää ei pidetä verotuksessa elinkeinotoiminnan harjoittamisena. Omaan käyttöön tuotettu sähkö on aina verovapaata, ja sähkön myynnistä saatu tulo on veronalaista ansiotuloa. Veroilmoituksessa ei ilmoiteta sähkön tuotannosta mitään, jos siitä ei jää verotettavaa tuloa. [35.]

Alle 100 kVA:n aurinkosähköjärjestelmälle ei ole vaatimusta tuotantolaitoksen omalle energiamittarille. Energianmittaukseen riittää, että kohteessa on sähköverkkoyhtiön toimittama energiamittari, joka mittaa verkosta otetun ja siihen syötetyn sähköenergian määrän. Yli 100 kVA:n voimalaan tulee olla voimalalle erillinen energiamittari, vaikka tuotantoa ei siirrettäisi yleiseen sähköverkkoon. Mittaustiedot netotetaan tasejakson mukaisesti. [25, s. 34.] Tasejakso on ollut pitkään tunti, mutta säästä riippuvaisen energiantuotannon lisääntyessä tasejaksoa lyhennetään 15 minuuttiin. Lyhempi tasejakso mahdollistaa sähkömarkkinan osapuolien saavan sähkön tuotannon ja kulutuksen helpommin tasapainoon. Varttitase on Suomessa otettu käyttöön 22.5.2023. [36.]

Aurinkosähköjärjestelmän rakentamiseen voi hakea taloudellista tukea. Tukea myöntää yksityishenkilöille valtio kotitalousvähennyksenä ja ARA (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus) energia-avustuksena. Kotitalousvähennyistä valtio

myöntää vuonna 2023 asennustöiden kustannuksista 40 %, enintään 2250 €. Kotitalousvähennys on henkilökohtainen, eli vähennystä voi hakea taloudessa useampi henkilö. ARA myöntää energia-avustusta myös ARA-yhteisöille ja asunto-osaakeyhtiöille. Yritykset, kunnat ja muut yhteisöt voivat hakea aurinkosähkölaitteiden hankintaan energiatukea elinkeinoministeriöltä. Ohjeellinen energiatuki 1.5.2019 lähtien on 20 % hyväksyttävistä kustannuksista. [37.]

Sähkön myynnistä sähköyhtiöt voivat vaatia perusmaksua sekä välityspalkkiota, ja jakeluverkkoyhtiö voivat periä sähkön syöttämisestä verkkoon verkkopalvelumaksua. Perusmaksua kirjoittamisen aikaan ei ole kaikilla sähköyhtiöillä, kuten Fortumilla tai Helenillä. Välityspalkkioita on alkanut lokakuuhun 2023 mennessä perimään noin puolet sähköyhtiöstä, ja se vaihtelee 0,20–0,40 c/kWh. [38.] Jakeluverkkoyhtiötä ei voi kilpailuttaa, ja se voi periä voimalan syöttämästä sähköstä ja sen siirrosta palvelumaksun, joka on korkeintaan keskimäärin 0,07 c/kWh vuodessa. Yksityisessä sähköntuotannossa suurimman hyödyn saa, kun tuottaa kuluttamansa sähkön, sillä itsetuotetusta ja -käytetystä sähköstä ei tarvitse maksaa veroja tai sähkönsiirtoa. Tuotot sähkön myynnistä ovat pienet verrattuna hyötyihin, kun vältetään verkosta energian ostoa. [39.] Kuvassa 13 kiitetään sähkön tuotannon hyödyt.



Kuva 13. Hyödyt sähkön omatuotannosta [39].

Myytävän sähkön hinta sovitaan sopimuksen mukaan sähkön vähittäismyyjän kanssa. Sähkönmyyjät hinnoittelevat ostosähkön useimmiten markkinahinnan

perusteella, joka tulee sähköpörssin tunneittain päivittyvän Spot-hinnan mukaan. Tuotettavasta sähköstä voi jopa joutua maksamaan korvauksia sähkön vähittäismyyjälle, jos sähkön pörssihinta on negatiivinen. [39.]

4 Säädökset, standardit ja ohjeet

Aurinkovoimalan suunnittelu kaupallisiin tai muutoin isoihin kiinteistöihin alkaa tilaajan tahdosta. Järjestelmän koon ehdottaa tilaaja tai erillinen energiakonsultti, joka tekee kiinteistön energiasuunnittelun ja -laskennan. Energiakonsultti suunnittelee ja suosittelee kiinteistön lämmitysenergiamuodon, valitsee kiinteistössä käytettävät rakennusmateriaalit sekä niiden energiatehokkuuden ja laskee kiinteistön energiankulutuksen. Energiasuunnitteluun kuuluu myös energiantuotantojärjestelmien mitoitus, jossa vaaditaan kiinteistön tuottavan tietyn osan sen kuluttamasta energiasta. Kun haluttu tuotettavan energian määrä on tiedossa, suunnitellaan voimalan sijainti kiinteistössä. [40.]

Arkkitehti suunnittelee ja ehdottaa sopivan kohdan, minne aurinkovoimala sijoitetaan. Sähkösuunnittelija ja energiakonsultti voivat vaikuttaa päätöksiin, sillä aurinkovoimaloiden tuotantoon vaikuttavat suuresti paneelien suuntaus, sijoittelu ja määrä. Kun voimalan sijoitus ja koko ovat tiedossa, alkaa aurinkovoimalan tarkempi suunnittelu. [40.]

4.1 Paloviranomainen

Aurinkovoimalaa suunnitellessa tulisi ottaa huomioon paloviranomaisten julkaisemat velvoitteet ja suositukset. Pelastuslaitoksen kumppanuusverkosto on julkaissut tammikuussa 2023 aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeen [41], jossa ohjeistetaan aurinkosähköjärjestelmiin liittyvistä vaaroista ja riskeistä pelastuslaitoksen näkökulmasta. Ohje on sovellettavissa kaikissa Suomen pelastuslaitospiireissä, mutta se ei ole oikeudellisesti sitova [41, s. 3].

Paloturvallisuusohjeessa [41] annetaan ohjeistusta sekä pelastuslaitoksen pelastustoimintaan, aurinkosähköjärjestelmien asennukseen ja järjestelmän suunnittelijoille ohjeistuksia, miten toimia paloturvallisen aurinkosähköjärjestelmän saavuttamiseksi. Ohjeistus pyrkii lisäämään pelastushenkilöstön työturvallisuutta mahdollisissa tulipalotilanteissa sekä välttämään aurinkosähköjärjestelmiin liittyvien asennus- ja suunnitteluvirheiden määrää [41, s. 3].

4.1.1 Aurinkovoimaloihin liittyvät riskit

Paloturvallisuusohjeessa [41] kerrotaan, että isoimmat riskit ja vaarat aurinkosähköjärjestelmiin liittyen johtuvat järjestelmän sähkön tuotannon luonnosta. Aurinkopaneelit tuottavat sähköä aina, kun niiden pinnalle tulee valoa, olkoon se sitten auringosta, keinotekoisesta lähteestä kuten LED-valaisimista tai tulipalon liekeistä. Tämän takia paneelit ja niiltä lähtevät kaapelit ovat jännitteiset, vaikka ne kytkettäisiin irti verkosta ja invertteristä. Aurinkopaneelit itsessään tuovat omat paloturvallisuusriskinsä, sillä paneelien ja katon väliin voi muodostua ylimääräisiä lämpökuormia. [41, s. 4–6.]

Rakennuksen paloturvallisuuteen aurinkosähköjärjestelmä vaikuttaa merkittäväällä tavalla. Oikein asennettuna, käytettynä ja huollettuna aurinkovoimalat ovat hyvin turvallisia. Suurin osa aurinkosähköjärjestelmiin liittyvistä tulipaloista johtuu asennus- tai suunnitteluvirheestä. Aurinkosähköjärjestelmistä johtuneita tulipaloja on Suomessa aiheutunut enintään kymmenkunta vuosittain. [41, s. 7–8.]

Katolle sijoitetut aurinkopaneelit luovat katon ja paneelin väliin hormi-ilmiön, jossa savu ja liekit pääsevät kulkemaan paneelien alla levittäen paloa normaalia nopeammin. Katolla olevat paneelit myös vaikeuttavat palon sammutusta muodostaen yhtenäisen pinnan, jonka alle on vaikea saada sammutusvettä. Aurinkosähköjärjestelmä luo ylimääräistä palokuormaa, mikä on este sammutustyössä, paloraivauksessa sekä sammutusvedelle. Järjestelmä myös nopeuttaa romahdusnopeutta tietyillä asennustavoilla, esimerkiksi seinään asennetut paneelit voivat romahtaa tulipalossa paljon nopeammin kuin seinä itse. [41, s. 8.]

Aurinkopaneelit auttavat palon leviämisessä muuttaen palon dynamiikkaa. Niiden paloriskit eivät siis pelkästään liity järjestelmän syttymisriskeihin tai palokuormiin. Paneelit voi olla valmistettu palavatarvikkeesta, jolloin ne syttyessään voivat johtaa tulipalon paneeleita pitkiin seinästä toiselle tai seinästä katolle. Paalissaan paneelien alumiiniset rungot sulavat ja roiskivat sulaa metallia levittäen paloa. [41, s. 8.]

Aurinkosähköjärjestelmä voi luoda rakennukselle paloturvallisuusriskin tulipalon jälkeen, ellei DC-puolen johtimia saada jännitteettömiksi. Jännitteiset johdot voivat palon aikana vaurioitua ja aiheuttaa valokaaren, joka voi sytyttää palon uudestaan. Paloriski on myös olemassa, jos kiinteistössä on varavoimakone ja sähkökatkon jälkeen invertteri sammuttaa itsensä, mutta varavoiman käynnistyessä invertteri voi kytkeä itsensä takaisin verkkoon. Tällaisessa tilanteessa jos rakennuksessa ei kuluteta aurinkosähkön kuluttamaa tehoa, voi invertterin syöttämä teho ohjautua varavoimakoneelle. Tämä voi laukaista varavoiman suoja-laitteet tai jopa rikkoa varavoimakoneen. [41, s. 9–11.]

Rakennuksissa, joissa on aurinkosähköjärjestelmä, täytyy pelastushenkilökunnan työturvallisuuteen kiinnittää erityistä huomiota. Aurinkopaneelit aiheuttaa pelastushenkilökunnalle vaaratilanteita, sillä jo kolmen sarjaan kytketyn paneelin jännite voi olla hengenvaarallisen korkeaa. [41, s. 7.]

Tulipalotilanteessa on huomattu, että aurinkosähköjärjestelmän potentiaalintaus katkeaa aikaisessa vaiheessa, mikä lisää sähköiskun vaaraa sammutusveden keräytyessä katolle, ja aurinkopaneelien ja -johtimien vaurioituessa sähkö voi johtua rakennuksen ja aurinkosähköjärjestelmän metallirakenteisiin. Aurinkosähkön DC-puolella ei ole vikavirtaa tunnistavaa laitetta, eikä vikavirtasuojaa ole ryhmäjohtimelle määrätty, joten kosketettavissa oleva jännite on erityisen vaarallista. [41, s. 9.] Kuvassa 14 on esimerkki pelastushenkilökunnan rakentama kulkureitti rakennuksen katolla, jotta sähköiskun vaara olisi mahdollisimman pieni.



Kuva 14. Rakennuksen katolle rakennettu kulkusilta aurinkopaneelien sammutustyössä [41, s. 17].

Jos aurinkosähköjärjestelmään kuuluu akustoja, täytyy akuston sijoituksessa ja yleisessä suunnittelussa huomioida akkuihin liittyvät lisävaatimukset. Litiumpalot ovat hankalia sammuttaa, ja niistä syntyvä myrkkyykaasu hankaloittaa sammutustyötä. [41, s. 7.]

4.1.2 Vaatimukset ja suositukset paloluokittain

Rakennuksille määrätään käyttötarkoituksen, käyttöriskien ja koon mukaan paloluokitus P0, P1, P2 tai P3. Paloluokitus kertoo, miten tietty kohde syttyy ja kestää paloa. Mitä isompi ja käyttötarkoitukseltaan vaativampi rakennus on, sitä tiukempi paloluokitus sille määrätään. [41, s. 11.]

Paloluokka P3

Paloluokan P3 rakennuksissa suurimmat riskit paloturvallisuudessa liittyvät palaviin rakennustarvikkeisiin. P3-luokan rakennusten riskeihin myös liittyy riskialt-

tiit käyttötavat, kuten yksikerroksiset hoivalaitokset, majoitustilat sekä pienet toimistorakennukset, koulut ja päiväkodit, joissa rakennuksen käyttäjiä voi olla paljon rakennuksen kokoon nähden. [41, s. 13.]

P3-paloluokan paloturvallisuusmääräyksissä ei ole tiukkoja vaatimuksia rakennuksen ulkoverhoilulle tai rakennuksen eristeille, joten on tärkeä huomioida, että aurinkosähköjärjestelmän osat paloeristetään helposti syttyvästä materiaalista ja rakenteista [41, s. 13].

Invertterin ja mahdollisten akkujen sijoituksessa olisi suositeltavaa sijoittaa ne tilaan, jossa on erillinen ilmanvaihto ja palo-osastointi ja jossa ei myöskään oleskella tai yövyä. [41, s. 13].

Paloluokka P2

P2-paloluokan rakennusten vaatimukset ovat P3-tasoa korkeammat. Paloturvallisuus on saavutettu henkilömääriä, korkeutta ja kerroslukua rajoittamalla sekä asettamalla vaatimuksia seinien, sisäkattojen ja lattioiden pintojen paloluokitukselle [42].

Aurinkosähköjärjestelmä ei saa heikentää julkisivupinnalle asetettuja syttymis-herkkyysvaatimuksia. P2-paloluokan rakennuksissa on huomioitavaa, että varatiekäyttöön suunnitellut parvekkeen pinnat ovat paloluokitukseltaan tiukemmat. [41, s. 12.]

P2-paloluokan rakennuksessa invertterin ja mahdollisten akkujen sijoituksessa on suositeltavaa sijoittaa ne palo-osastoihin erilleen poistumistieereiteistä sekä tiloista, joita käytetään majoitukseen ja oleskeluun [41, s. 12].

Paloluokka P1

P1-paloluokan rakennuksia ei ole rajoitettu kooltaan tai ihmismäärältään ja niiden oletetaan pääsääntöisesti kestävän paloa romahtamatta [42].

Suunnitellessa aurinkosähköjärjestelmää P1-paloluokan rakennuksiin, tulisi kiinnittää erityisesti huomiota, ettei aurinkosähköjärjestelmä vaaranna rakennuksesta hätäpoistumista. Tämä voidaan toteuttaa sijoittamalla aurinkosähköjärjestelmän osat riittävän etäälle poistumisreiteistä ja varateistä. Järjestelmän invertterin ja mahdollisten akkujen sijoitus kannattaa tehdä omiin palo-osastoihin tiloihin, jotka ovat erilleen poistumisreiteistä ja tiloista, joissa oleskellaan tai majoitutaan. P1-paloluokan rakennuksissa on tiukat määräykset rakennustarvikkeiden ja eristysten syttyvyydelle, eivätkä aurinkosähköjärjestelmän osat saa heikentää niitä paloturvallisuus vaatimuksiin nähden. [41, s. 12].

Paloluokan P0 rakennukset suunnitellaan osin tai kokonaan oletettuun palonkehitykseen perustuvaa käytäntöä [42]. Tällaisissa kohteissa aurinkosähköjärjestelmä tulisi ottaa huomioon osana paloturvallisuuden erityissuunnittelua, jolla rakennuksen muu paloturvallisuus toteutetaan [41, s. 13].

4.1.3 Ohjeet ja suositukset paloturvallisuuden parantamiseksi

Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeeseen [41] on koottu kappale vaatimuksista ja suosituksista paloviranomaisen näkökulmasta. Vaatimukset ja suositukset koskevat muun muassa aurinkosähköjärjestelmän eri osien sijoittelua, merkintää, suojausta ja huoltoa. [41, s. 26.]

Järjestelmän erottaminen ja merkinnät

Aurinkosähköjärjestelmän on oltava erotettavissa verkkovirrasta sekä paneelien tasasähköstä invertterin huollon ja vaihtamisen mahdollistamiseksi. Tämä on helppo toteutettavissa vaihtosähköosan puolelta AC-turvakytkimellä, joka suositellaan sijoitettavaksi rakennuksen ulkopuolelle tai pelastusviranomaisen kanssa suunnitellusti sähköpääkeskuksen läheisyyteen tilaan, johon verkkoyhtiöllä ja paloviranomaisella on pääsy. Tasasähköpuolen erotus voidaan toteuttaa joko invertteriin integroidulla DC-kytkimellä tai erillisellä DC-turvakytkimellä. Integroidulla DC-kytkimellä invertteri kytketään ensin irti sähköverkosta, jonka jäl-

keen aurinkopaneelien kaapelit voidaan irrottaa invertterin tasasähköpuolen liittimistä virrattomana. Tällöin invertterin huolto tai vaihto voidaan tehdä luotettavasti erotettuna. [41, s. 26.]

Erillisten tasasähkökytkimien lisäämistä tulisi välttää. Erillisiä DC-turvakytkimiä esimerkiksi katolle voidaan perustella silloin, kun DC-kaapelit kulkevat pitkiä matkoja palosuojaamattomana rakennuksen sisällä. DC-kaapeleiden kuljettamista sisätiloissa ja palavissa rakenteissa tulisi kuitenkin välttää. [41, s. 26.]

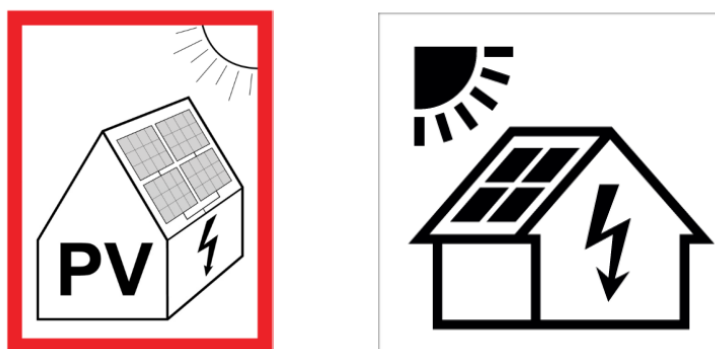
Aurinkosähköjärjestelmä tulisi suunnitella siten, että aurinkopaneelien sarjaan kytkentä voitaisiin erottaa erillisillä erotuskytkimillä. Sarjaan kytkennän erotuskytkin tulisi sijoittaa turvakytkimen tavoin paikkaan, mihin paloviranomaisella on pääsy. [41, s. 26.] Komponenttien paikkaa suunnitellessa on huomioitava, että SFS 6000 standardissa sanotaan:

712.420.101 Aurinkosähkögeneraattorin turvallisuus

HUOM. On noudatettava kansallisia tai paikallisia paloturvallisuusvaatimuksia.

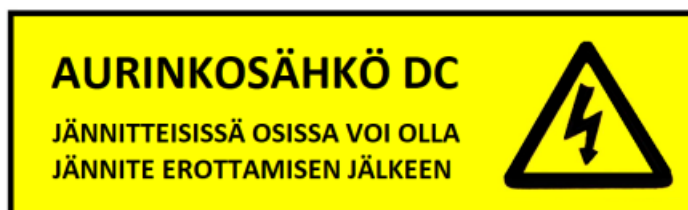
Vaihtosuuntaajien ja tasasähköerotuskytkimien taustalla ja alla on oltava palamatonta materiaalia esim. sementtikuitulevyä, ellei asennusalusta itsessään ole palamatonta. Mikäli palamatonta materiaalia on hyvin lämpöä johtavaa, tulee materiaalin ja puurakenteisen asennusalustan väliin jättää vapaa tuulettuva ilmatila, jonka avulla estetään lämpöjohtumisesta johtuvasta pyrolyysistä aiheutuva asennusalustan suurempi syttymisherkkyys. [43, s. 11.]

Rakennukset, joissa on aurinkosähköjärjestelmä, täytyy varustaa aurinkosähköjärjestelmästä varoittavalla kyltillä (kuva 15) aurinkovoimalan liittymiskohtaan sähköverkossa tai aurinkoenergiaa mittaavalle sähkömittarille, jos se on erillään aurinkovoimalan liittymiskohdasta. Kyltti täytyy myös olla sähkökeskuksissa, joita syötetään vaihtosuuntaajasta, sekä mahdollisissa liittymiskohdissa ja vaihtosuuntaajan liityntäkeskuksen välissä olevassa keskuksessa. Kyltin tarkoituksena on lisätä kiinteistössä huoltotöitä, pelastustöitä tai käyttöä tekevien henkilöiden työturvallisuutta. Varoituskylttejä olisi myös hyvä kiinnittää hyökkäysteiden ja muiden pelastusväylien alkuun. [41, s. 27.]



Kuva 15. Aurinkovoimalasta varoittava kyltti [41, s. 27].

Aurinkosähköjärjestelmän kaikissa jännitteisiä osia sisältävissä tasasähkölaitteissa täytyy olla pysyvä merkintä (kuva 16), joka varoittaa vaihtosähköpuolen erottamisen jälkeen mahdollisesta DC-jännitteistä [41, s. 27].



Kuva 16. Tasasähköosien merkintä, joka varoittaa mahdollisista erottamisen jälkeisistä jännitteistä [41, s. 27].

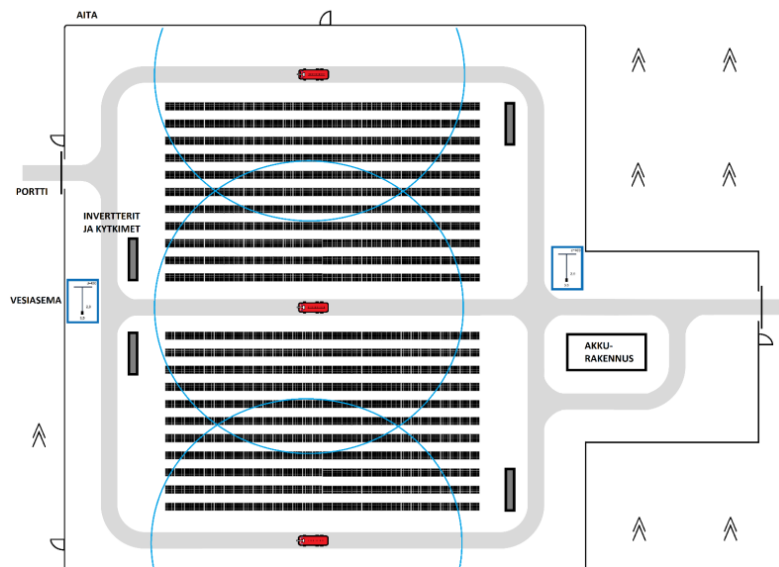
Aurinkosähköjärjestelmän sijoitus

Aurinkopaneelien sijoitus vaikuttaa paljon aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen, mutta paneelien sijoituksessa tulisi huomioida paloturvallisuus. Katolle tai seinille paneeleita sijoittaessa tulee huomioida paneelien lisäämä lumi- ja tuulikuorma sekä paneelien palaessa niiden alumiinirunko sulaa ennen kuin paneelit lopettavat sähköntuotannon, joten palon leviäminen pisaroiden välityksellä tulisi estää. Jos paneelit ovat palavatarvikkeisia, ei niitä tulisi asentaa varateiden, ikkunoiden tai muiden kulkureittien yläpuolelle, alapuolelle tai niiden välittömään läheisyyteen. Paloturvallisuuden kannalta aurinkosähköjärjestelmä tulisi toteuttaa siten, että se olisi rakennuksesta kokonaan erillään. [41, s. 29.]

Erillinen paneelikenttä

Suunnitellessa aurinkosähköjärjestelmää kiinteistöstä erillisenä järjestelmänä isoimmat riskit paloturvallisuuden kannalta ovat paneelikenttien sammutustyöhön vaikuttavat tekijät, kuten sammutusveden saanti, voimalaan pääsy useasta suunnasta ja sammutuskaluston pääsy tarpeeksi lähelle tulipaloa. Paneelien sijoituksessa tulisi huomioida, etteivät paneelikenttien koko ole vesitykkikantamaa isommat (25–30 m), ja paneelikenttien reunoilla tulisi olla paloa rajoittavaa tilaa. Pääsy aurinkovoimalan läheisyyteen tulisi myös sivullisilta estää ilkeivallan ja vaarallisten jännitteiden takia. [41, s. 30.]

Erillisessä paneelikentässä invertteri ja erotuskytkimet tulisi sijoittaa paikkaan erilleen aurinkopaneeleista, mikä on helposti saavutettavissa ja mieluiten säältä suojattu. [41, s. 31]. Kuvassa 17 on esimerkkitapaus erillisestä paneelikentästä, joka on toteutettu paloturvallisuussuosituksia noudattaen.



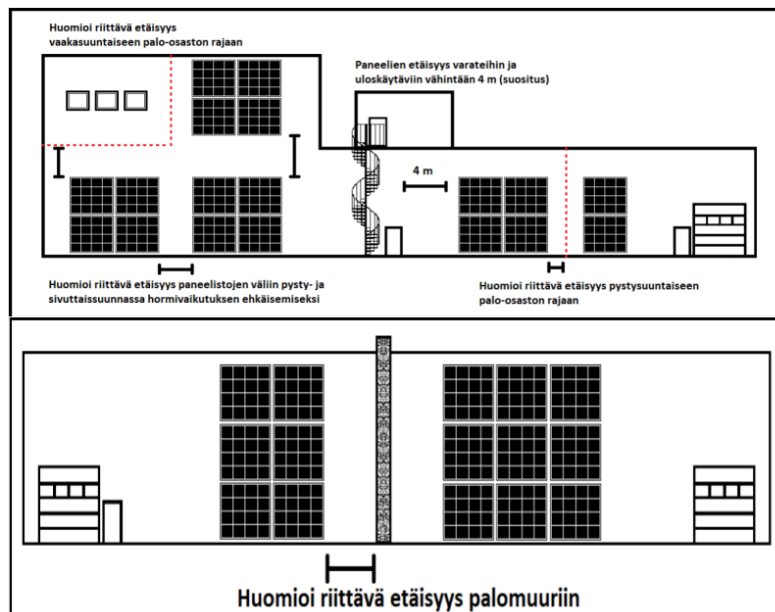
Kuva 17. Esimerkki erillisestä aurinkopaneelikentästä ja sen komponenttien sijoituksesta [41, s. 31].

Aurinkovoimalan tehon ollessa yli 50 kVA tulisi pelastustoiminnan suunnittelusta neuvotella paikallisen paloviranomaisen kanssa jo aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluvaiheessa [41, s. 30].

Sijoitus seiniin

Suunnitellessa aurinkopaneeleita seinäasennettavaksi, on tärkeä huomioida rakennuksen paloluokka ja sen vaatimat määräykset seinien paloturvallisuudesta. Seinälle asennetut paneelit eivät saa heikentää seinän paloluokitusta tai auttaa palon leviämistä palomuurin ja -osaston yli paneelien kautta. Suuret paneelikentät voivat luoda tulipaloa edistävän hormi-ilmiön seinän ja paneelin väliin. Tulipalo ei saisi edetä seinältä räystäään kautta kattorakenteisiin tai ullakkotiloihin, jos ne ovat erillisiä palotiloja, joten räystäään ja seinän paloluokitus sekä paneelien materiaali tulee huomioida tällaisissa kohteissa. [41, s. 35–36.]

Tulipalon aikana paneelien purku on haastavaa ja jopa hengenvaarallista, joten paneelikenttien kokoon tulisi kiinnittää huomiota kiinteistökohteen mukaan. Paneelien takana olevan seinän suositellaan olevan palamatonta materiaalia. [41, s. 35–37.] Kuvassa 18 on esimerkkejä aurinkopaneelien sijoittelusta ulkoseinälle. Kuvassa on huomioitu palo-osastot ja sopivat etäisyydet poistumisteihin.



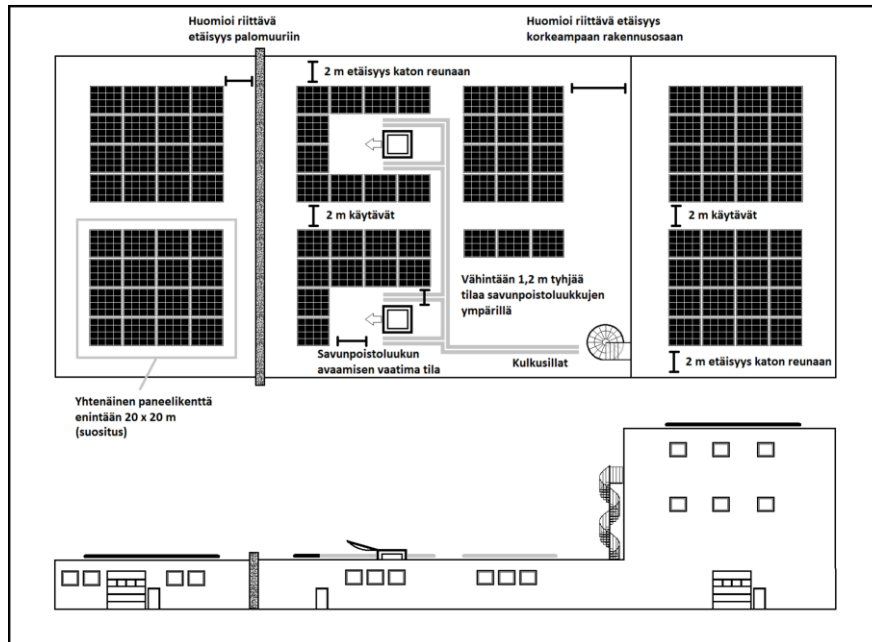
Kuva 18. Seinäasennettujen aurinkopaneelien suositukset ja määräykset [41, s. 37].

Sijoitus katolle

Aurinkopaneelien sijoituksessa katolle on huomioitava palon leviämisen mahdollisuus katteisiin tai seiniin paneeleita pitkin. Pelastushenkilökunnan työturvallisuus huomioiden katolle ei tulisi asentaa aurinkopaneeleita, ellei katteiden materiaali ole vähintään $B_{\text{roof}}(t2)$ -luokkaa, eli pinnallisesti palamatonta materiaalia. Aurinkopaneeleita ei tulisi asentaa puiselle katolle tai viherkatolle, jotka eivät usein täytä $B_{\text{roof}}(t2)$ -luokkaa. [41, s. 32.]

Suuria paneelikenttiä tulisi välttää sammutustyön helpottamiseksi ja palon leviämisen välttämiseksi, varsinkin harjakatollisessa kiinteistössä. Paneelikentän koon ja sijoituksen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon tulipalon aikana paneelien vaikutus palon dynamiikkaan ja niiden vaikutus pelastus- ja sammutustoimintaan. Paneelikentät tulisi myös eristää toisistaan ja tehdä niille sopivia rajauslinjoja. Rajaukset olisi hyvä tehdä alapuolisen palo-osastoinnin mukaan, mutta enimmillään 20 x 20 m kokoiset paneelikentät, ja paneelikenttien väliin tulisi jättää vähintään 2 m tilaa. Putoamissuojauksen takia aurinkopaneelien ja katon reunan väliin tulisi jättää vähintään 2 m tilaa. [41, s. 32–33.]

Paneelikenttien koon ja jaon suunnittelussa tulisi huomioida kattopinnan jako osiin. Aurinkosähköjärjestelmän tulisi noudattaa katon jakoa, eikä sen tulisi heikentää osien jaotusta. Pystysuuntaisissa palokatkoissa aurinkopaneelien ja muiden aurinkosähköjärjestelmän osien tulisi olla vähintään 0,5 m palokatkon alapuolella. Jos korkeussuositus ei täyty, ei aurinkopaneelia tai järjestelmän osia suositella sijoitettavaksi 2,5:tä metriä lähemmäksi palokatkoa. Jos katolla on palomuri tai palavatarviketta, suositellaan aurinkosähköjärjestelmän osien ja palomuurin tai palavatarvikkeen väliin jätettäväksi vähintään 2,5 m. Palomuurin ylityksessä tulisi käyttää palosuojattua kotelointia. Katolla olevien savunpoistoluukkujen ympärille tulisi jättää 1,2 m tilaa ja savunpoistoluukun avaussäteen sisälle ei tulisi asentaa aurinkosähköjärjestelmän osia. [41, s. 32–33.] Kuvassa 19 on tasakattoisen kiinteistön aurinkopaneelijärjestelmä suositellut turvavälit huomioiden.



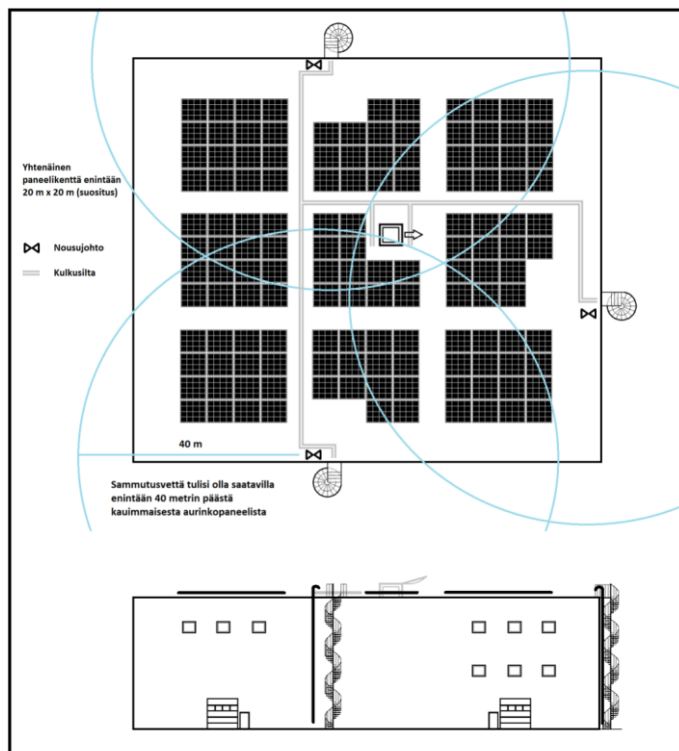
Kuva 19. Aurinkopaneelit tasakatolla suositellut turvavälit huomioiden [41, s. 34].

Tasakatollisissa kohteissa tulisi ottaa huomioon sammutusveden kertyminen katolle ja siitä johtuva sähköiskun vaara. Tasakatollisessa kiinteistössä suositellaan pelastushenkilökunnan työturvallisuuden varmistamiseksi rakennuttamaan kulkusillat huonosti sähköä johtavasta materiaalista aurinkosähköjärjestelmän osien väliin sekä pelastustyöhön kannalta kriittisiin kohteisiin. [41, s. 33.]

Muut tekniset järjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmän osien sijoituksessa, varsinkin aurinkopaneeleiden, tulisi huomioida ilmanvaihdon raitisilmakanavat. Paneelien palossa syntyy vaarallisia kaasuja ja varsinkin isoissa kiinteistöissä ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia muissa kiinteistön osissa tulipalon aikana ja ilmanvaihtojärjestelmä voi levittää vaarallista savua ympäri kiinteistöä. Aurinkosähköjärjestelmän osia ei tulisi sijoittaa raitisilma-aukkojen läheisyyteen, ja jos tämä ei ole mahdollista, tulisi raitisilmakanavaan asentaa savuun reagoiva palonrajoitin. [41, s. 39.]

Sammutusveden saanti on tärkeä huomioitava asia varsinkin isommissa aurinkovoimaloissa. Sammutusvettä tulisi olla saatavissa vähintään 40 m etäisyydellä järjestelmän kauimmasta pisteestä. Tarvittaessa aurinkosähköjärjestelmän yhteyteen suositellaan suunniteltavan erilliset sammutusvesiputkistot. [41, s. 41.] Kuvassa 20 on esimerkki tasakatolla asennetun aurinkosähköjärjestelmän sammutusvesijärjestelyistä.



Kuva 20. Sammutusvesijärjestely aurinkosähköjärjestelmälle tasakatolla [41, s. 41].

Kiinteistöön tulevaan kohdekorttiin on myös suositeltavaa merkata aurinkosähköjärjestelmän paloteknisesti olennaiset komponentit, kuten erotuskytkimet ja sarjaan erotuskytkimet ja liittymäkohdat pelastushenkilökunnan työn helpottamiseksi. Yli 50 kVA:n aurinkosähköjärjestelmissä tulisi tehdä erillinen kohdekortti, joka sisältää järjestelmän perustiedot, ohjeet järjestelmän erottamiseen sekä erottamiseen liittyvien kytkimien sijainnit. [41, s. 42.]

4.2 Säädökset

Aurinkosähköjärjestelmän rakentamista säädellään maankäyttö- ja rakennuslaissa sekä ympäristöministerin asetuksessa rakennuksen paloturvallisuudesta sekä sen muutosasetuksessa. Aurinkosähköjärjestelmän sähköturvallisuutta koskevat vaatimukset ja veloitteet säädetään sähköturvallisuuslaissa ja sen nojalla annetuissa valtioneuvoston asetuksissa sähkölaitteistoista sekä sähkötyöstä ja käyttötyöstä. [41, s. 20.]

Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritetään rakentamiseen liittyvät säädökset. Lain perusteella kunnat ohjeistavat rakentamista asemakaavoilla, ohjeistuksella sekä rakennusjärjestelyillä. Lain ja kunnan rakennusjärjestyksien perusteella määritellään, tarvitseeko aurinkosähköjärjestelmän rakennukseen rakennus- tai toimenpideluvan. Yleisesti aurinkopaneelit asennetaan katolle tai julkisivuun, johon tarvitsee toimenpideluvan. Kunta voi päättää, että toimenpidelupaa ei tarvitse, jos toimenpidettä voidaan pitää vähäisenä. [41, s. 20.]

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017) [44] määrätään vaatimukset katteen syttyvyydestä sekä sen kyvystä levittää paloa. Asetuksessa sanotaan aurinkopaneeleista:

Kate ei saa syttyä helposti naapurirakennuksen palosta. Palo ei saa levitä katteessa eikä sen alustassa vaaraa aiheuttavalla tavalla. Katteen on oltava B_{ROOF(t2)} -luokkaa. B_{ROOF(t2)} -luokkaan kuuluma- ton kate voidaan kuitenkin hyväksyä erilliseen tulisijattomaan rakennukseen tai erityistapauksessa muuhunkin rakennukseen, jos tästä ei aiheudu aluepalon vaaraa.

Suuret kattopinnat on jaettava enintään 2 400 neliömetrin osiin. Vaatimus ei koske tapauksia, joissa katteen alusta on vähintään A2-s1, d0 -luokkaa tai muita ratkaisuja, joiden paloturvallisuustasoa voidaan pitää hyväksyttävänä.

Yleensä aurinkopaneelien asentaminen katolle ei aiheuta paloturvallisuuden kannalta erityistoimenpiteitä. Mikäli rakennuksen katolle asennetaan laajahko pinta-ala aurinkopaneeleita, on tarpeen tarkistaa, että ne eivät oleellisesti lisää palon leviämisen vaaraa katteessa eikä sen alustassa. Tämä voi perustua aurinkopaneelien ja

käytettyjen asennustarvikkeiden palokuorman määrään ja palo-ominaisuuksiin suhteessa hyväksyttäviin katteisiin. Pelastus-henkilöstön työturvallisuutta arvioitaessa otetaan huomioon sähköturvallisuus. [44, § 28.]

Sähköturvallisuuslaissa sekä valtioneuvoston asetuksissa sähkölaitteistosta määrätään aurinkosähköjärjestelmän turvallisuudesta. Sähkölain ohella aurinkosähköjärjestelmiä koskevat myös sähkömarkkinalaki, sähköverolaki ja valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Aurinkosähköjärjestelmän teknisiä vaatimuksia säädellään sähköalan standardeissa ja -ohjeissa. [41, s. 22.]

Laissa määrätään perusvaatimukset sähkölaitteistojen turvallisuudesta. Laki ei anna tarkkoja vaatimuksia, vaan vaatii sähkölaitteistojen, mukaan lukien aurinkosähköjärjestelmän, suunnittelun, rakentamisen, valmistamisen ja korjauksen tehtävän siten, ettei siitä aiheudu hengelle, terveydelle tai omaisuudelle haittaa. Tarkemmat vaatimukset aurinkosähköjärjestelmistä antaa standardi pienjännite-asennuksista SFS 6000 ja generaattoreita koskeva standardi SFS-EN 50549-1. Edellä mainitut standardit antavat enemmän asennusteknisiä vaatimuksia, kun taas standardissa IEC 62548 määritellään aurinkopaneelien yleiset suunnitteluvaatimukset ja ST-käsikirja 40 on ohje aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen. Suomessa turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes julkaisee luettelon standardeista (S10), jota noudattamalla sähköturvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän. [41, s. 22.]

4.3 Standardit

4.3.1 Asennus

Aurinkopaneelijärjestelmän asennuksessa tulee huomioida, että invertterin kytkentä sähköverkkoon on luvanvaraista työtä. Aurinkopaneelien kytkennässä ei tarvitse erityislupaa, kunnes aurinkopaneelien sarjaan kytketty jännite nousee yli 120 V. Yli 120 VDC:n tai 50 VAC:n sähköasennuksia ei saa maallikko tehdä. [45, s. 6.] Kaiken kokoisten aurinkosähköjärjestelmien asennus kannattaa jättää

ammattilaisen vastuulle, sillä virheelliset asennukset voivat aiheuttaa hengen-vaaraa ja tulipaloriskiä. Aurinkopaneelit asennetaan yleensä haastaviin olosuhteisiin, kuten katolle, joten järjestelmiin liittyy myös työturvallisuusriskejä.

SFS 6000 standardissa aurinkosähköjärjestelmille on omat asennusvaatimukset sekä niitä koskevat myös standardit generaattorilaitteistoista. Standardeissa annetaan muun muassa määräykset ja suositukset järjestelmän suojalaitteisiin, mitoitukseen ja kokoonpanoon. [43, s. 6–7.]

Aurinkosähköjärjestelmän tasasähköosa on suojattava käyttäen kaksoiseristystä tai sitä vastaavaa eristystä tai SELV- (safety extra low voltage) tai PELV-pienoisjännitettä (protective extra low voltage). Tasasähköpuolen sähkölaitteet ja johtimet ovat oltava luokan II rakennetta eli kaksoiseristettyjä, tai niillä on oltava luokkaa II vastaava eristys. Tasasähköerottimien ja invertterien asennusalusta on oltava palamatonta materiaalia, ja alusta ei myöskään saa olla hyvin lämpöä johtavaa. [43, s. 11.]

Aurinkopaneelien tasasähköjohtimille voidaan tietyissä tilanteissa vaatia ylivirtasuojauksia. Ylivirtasuojauksia vaaditaan aurinkosähköpaneelistoissa, joissa on yli kaksi paneeliketjua. Jos aurinkosähköpaneelissa tai -paneelistossa vaaditaan ylivirtasuojauksia, täytyy molemmat navat suojata aurinkosähköjärjestelmiin sopivilla sulakkeilla, varokkeilla tai katkaisimilla. Aurinkosähköjärjestelmässä vaihtosähköpuolen johdonsuojalaitteena toimii ylivirtasuojia. Ylivirtasuojia tulee mitoittaa invertterin mitoitusvirran mukaan. Invertterin mitoitusvirta on suurin valmistajan ilmoittama vaihtovirta, tai tiedon puutteessa 1,1-kertainen mitoitusvaihtovirta. [43, s. 11–13.]

Rakennuksen liittymä ja aurinkosähköjärjestelmä pitää tarvittaessa suojata ylijännitteiltä sekä transienttiylijännitteiltä. Transienttiylijännitesuojauksia tulee aina aurinkosähköjärjestelmän tasasähköosaan. Mikäli liittymään ei vaadita transienttiylijännitesuojauksia, on tehtävä kuvassa 21 esitetty riskiarviointi. Transienttiylijännitesuojien tarve lasketaan invertterin ja pisimmän paneeliketjun liittymispisteen välisen reitin pituuden perusteella. [27.]

Ylijännitesuojat on asennettava tasasähköosaan, jossa $L \geq L_{crit}$

L vaihtosuuntaajan ja eri paneeliketjujen paneelien liitäntäkohdan välisen reitin enimmäispituus (m)

L_{crit} (m) riippuu aurinkosähköasennuksen tyyppistä ja se lasketaan [taulukon 712.102](#) mukaisesti:

Taulukko 712.102 Kriittisen pituuden L_{crit} laskenta

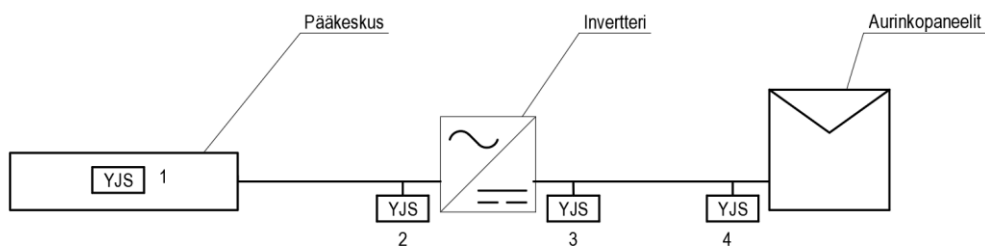
Asennuksen tyyppi	Asuinrakennukset	Ulkoalueen aurinkovoimala	Muut kuin asuinrakennukset
L_{crit}	$115 / N_g$	$200 / N_g$	$450 / N_g$
$L \geq L_{crit}$	ylijännitesuojaus vaaditaan tasasähköosassa		
$L < L_{crit}$	ylijännitesuojausta ei vaadita tasasähköosassa		

N_g on salamaiskutiheys (salama/km²/vuosi) tarkasteltavan sijainnin sähkölinjojen ja rakenteiden ympäristössä. Yleensä tämä arvo voidaan selvittää kohteessa salamapaikannusverkoston avulla (ks. SFS-EN 62305-2:2012, kappale A.1).

Kuva 21. Ylijännitesuojan vaadittavuuden laskentakaava [27].

Jos aurinkosähköjärjestelmä on asennettu salamasuojausjärjestelmän suojaamaan tilaan, kaikki aurinkosähköjärjestelmän kaapelit ja johdot on erotettava kaikista salamasuojausjärjestelmän osista. Jos riittävää erotusta ei pystytä toteuttamaan, aurinkosähköjärjestelmä on kytkettävä salasuojajärjestelmään potentiaalitasauksen kautta. [43, s. 19–20.]

Tasasähköosan ylijännitesuojan tyyppin valinta määräytyy invertterin ohjeiden mukaisesti. Jos valmistaja ei ole määrittänyt ylijännitesuojille tyyppiä, tällöin suojaus on toteutettava ulkoisilla ylijännitesuojilla. Tasasähkön ylijännitesuoja on sijoitettava mahdollisimman lähelle invertteriä. Jos tasasähkökaapelit kulkevat rakennuksen sisällä yli 10 m, tulee suojauksen toteuttamiseksi asentaa täydentäviä ylijännitesuojia kauemmaksi invertteristä. Tasasähköpuolen ylijännitesuojien mitoitus löytyy tarkemmin standardeista SFS 6000 osasta 712.534, SFS-EN 62305-3 ja SFS-EN 62305-4. [43, s. 20–21.] Kuvassa 22 on esimerkkejä ylijännitesuoja asennuksista eri tapauksissa rakennuksen sisäisessä sähköverkossa.



Kuva 22. Ylijännitesuojien asennus eri tilanteissa. YJS on ylijännitesuoja. [43, s. 30].

Kuvan 22 selitteet ovat taulukossa 2. Taulukon ylijännitesuojien tyypit ovat standardin SFS-EN 61643-11 mukaiset, eli tyyppi 1 karkea suoja, tyyppi 2 välisuoja ja tyyppi 3 hienosuoja [46, s. 218].

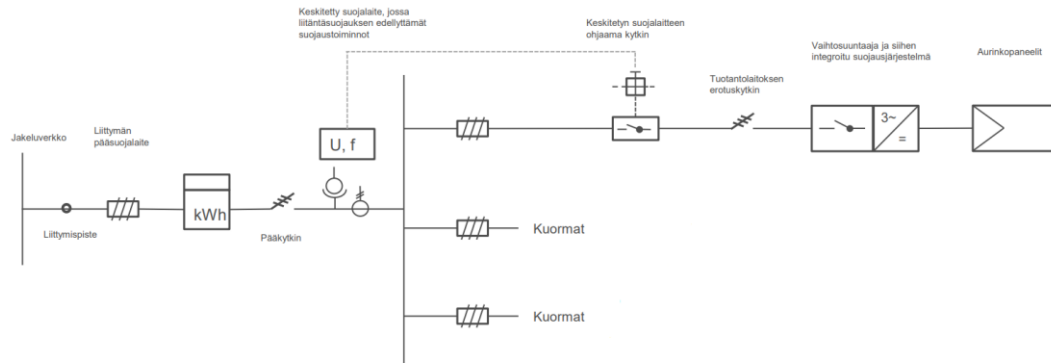
Taulukko 2. Kuvan 22 tilanteiden selitteet [43, s. 30].

Tilanne	Ylijännitesuoja tilanne 1	Ylijännitesuoja tilanne 2	Ylijännitesuoja tilanne 3 ja 4
Ylijännitesuojat aurinkosähkölaitteistossa, jossa ei ole ulkoista salamasuojausjärjestelmää	Tyyppi 2	Tyyppi 2	Tyyppi 2
Ylijännitesuojat aurinkosähkölaitteistossa, kun rakennuksessa on ulkoinen salamasuojausjärjestelmä (erotusetaisyysvaatimus täyttyy)	Tyyppi 1	Tyyppi 2	Tyyppi 2
Ylijännitesuojien asennus aurinkosähkölaitteistossa, kun rakennuksessa on ulkoinen salamasuojausjärjestelmä (erotusetaisyysvaatimus ei täyty)	Tyyppi 1	Tyyppi 1	Tyyppi 1

Jos rakennuksen vaihtosähköpuolella vaaditaan ylijännitesuojaa ja invertterin sijainti on yli 10 metrin päästä asennuksen liitäntäpisteestä, tulee invertterin liitäntäpisteen lisäksi asentaa ylijännitesuojat mahdollisimman lähelle invertteriä [43, s. 21].

Aurinkosähköjärjestelmään täytyy tehdä potentiaalintasaus, jos paneeliston jännite on 60 V tai enemmän [43, s. 24]. Jo kaksi yli 200 W:n aurinkopaneelia riittää 60 V:n jännitteeseen, joten potentiaalintasaus vaaditaan lähes kaikkiin aurinkovoimaloihin [27]. Jos järjestelmään vaaditaan potentiaalintasaus ja käytössä ei ole ulkoista salamansuojajärjestelmää, täytyy se tehdä vähintään 6 mm²:n kuparijohtimella. Jos käytössä on ulkoinen salamansuojajärjestelmä, täytyy potentiaalintasaus tehdä 16 mm²:n kuparijohtimella. Aurinkosähköjärjestelmän metalliset asennustelineet ja kaapelihyllyt sekä niiden läheisyydessä olevat johtavat osat liitetään potentiaalintasaukseen. [43, s. 23.]

Sähköturvallisuuden vuoksi tuotantolaitteiston on katkaistava itsensä sähköverkosta sähkökatkoksen aikana, tai jos jännite tai taajuus poikkeaa laitteiston liittymiskohdasta sähköverkon normaaleista arvoista. Suojaus on yleensä invertterissä itsessään. Yli 50 kVA:n aurinkosähköjärjestelmään vaaditaan myös erillinen keskitetty suojaus. Invertterin oma suojaus ei täytä vaatimusta keskitetystä suojauksesta. Keskitetty suojaus on tuotantojärjestelmästä erillinen laitteisto, joka mittaa rakennuksen sähköverkon jännitettä ja taajuutta ja kytkee järjestelmän irti sähköverkosta suureiden vaihdellessa tarpeeksi paljon ja kauan raja-arvoista. [47.] Kuvassa 23 on esimerkki aurinkosähköjärjestelmästä, jossa keskitetty suojaus.



Kuva 23. Aurinkosähköjärjestelmä, jossa keskitetty suojaus. Suojakytkin on ennen tuotantolaitoksen erotuskytkintä ja mittalaite on pääkytkimen jälkeen. [47.]

Keskitettyyn suojaukseen mittalaitteeksi ja -erotuslaitteeksi täytyy käyttää tuotantolaitoksen liitännäsuojaukseen suunniteltua laitetta [48]. Esimerkiksi taajuuden muutosnopeuteen perustuvaa niin sanottua ROCOF-suojaukseen (rate of change of frequency) ei saa käyttää keskitettyyn suojaukseen [47].

Tarkastukset, testaukset ja dokumentointi

Aurinkosähköjärjestelmälle, kuten muillekin, sähköasennuksille on tehtävä ennen käyttöönottoa käyttöönottotarkastukset. Vaihtosähköpuolen käyttöönottotarkastukset eivät poikkea tavallisista käyttöönottotarkastuksista. Silmämääräisen tarkastuksen lisäksi invertterin syöttöjohdon suojajohdin ja järjestelmän muiden suojajohdimien ja potentiaalintasauksen jatkuvuus mitataan. Ryhmäkaapelille ja invertterille tehdään eristysvastustesti ja jännitteisinä mittauksina testataan oikosulkuvirta ja mahdollinen vikasuojauksen testaus. [43, s. 23–24.]

Aurinkosähköjärjestelmän tasavirtapuolen käyttöönottotarkastukset jaetaan kahteen kategoriaan. Ensimmäisen kategorian testit tulee tehdä kaikkiin aurinkosähköjärjestelmiin ja toisen kategorian testit tulee tehdä suurissa ja monimutkaisissa järjestelmissä. Ensimmäisen kategorian testit kuuluisivat tehdä ennen toisen kategorian testejä. [43, s. 25.] Tasavirtapuolen testaukset tulisi tehdä aurinkoisella säällä, jotta mittatulokset olisivat todenmukaiset [49]. Loka- ja maaliskuun välisenä aikana aurinkosähköjärjestelmän suorituskykyyn liittyvät testaukset voidaan lykätä valoisampaan ajankohtaan. Kuitenkin ennen laitteiston käyttöönottoa tulee turvallisuuteen liittyvät tarkastukset ja testit tehdä. [43, s. 25.]

Ensimmäisen kategorian testeihin kuuluu:

- aistinvarainen tarkastelu
- suojamaadoitusjohtimien ja potentiaalitasausjohtimien jatkuvuus (jos on käytetty)
- napaisuuden testaus
- liitäntäkeskuksen testaus
- paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittaus
- paneeliketjun virran mittaus
- toiminnalliset testit
- tasasähköpiirin eristysresistanssin mittaus [50, s. 19–20].

Toisen kategorian testeihin kuuluu paneeliketjun virta-jännitekäyrän määrittäminen sekä aurinkosähköjärjestelmän osien lämpökuvaukset [50, s. 19–20].

Tasasähköosalle voi joissain tilanteissa tehdä lisäksi täydentäviä testauksia. Nämä testaukset tehdään yleisemmin asiakkaan pyynnöstä, vian selvityksessä tai järjestelmän käyttäytyessä normaalitilanteesta poiketen [50, s. 20].

Täydentäviin testeihin kuuluu:

- Jännitteen mittaus maahan nähden (vastuksen kautta maadoitetut järjestelmät).
- Estodiodien testaus.
- Eristysresistanssin mittaus märissä olosuhteissa.
- Varjojen vaikutuksen arviointi. [50, s. 20–21].

Poikkeuksena testauksiin ovat järjestelmät, joihin kuuluu integroitua elektroniikkaa [50, s. 19]. Muutokset tällaisten järjestelmien testauksiin on lueteltu taulukossa 3.

Taulukko 3. Testimuutokset järjestelmille, jossa integroitua elektroniikkaa sisältäviä paneeleita [50, s. 19].

Järjestelmä	Standarditestiryhmän muutokset
Vaihtovirtapaneeli	Tasasähkön testejä tai tarkastusta ei vaadita
Mikrovaihtosuuntaaja, jossa kohteessa ei ole paneelistokohtaista kaapelointia (kaikki liitokset on tehty paneelin ja invertterin johtimilla)	Tasasähköpiirien testejä ei vaadita Tasasähköasennukset on tarkastettava
Mikrovaihtosuuntaaja, jossa kohteessa on paneelistokohtainen kaapelointi	Tasasähköpiirit on testattava Tasasähköasennukset on tarkastettava
Paneeliin integroitu elektroniikka	Standarditestiryhmiä käytetään missä se on mahdollista Valmistajalta on selvitettävä mahdolliset testien rajoitukset, valmistajalta on selvitettävä testien hyväksyntä/hylkäys kriteerit

Mittauksiin käytettävät laitteet tulevat täyttää sähköasennusten testereille asetetut standardit. Aurinkosähköjärjestelmien asennustestauksille on valmistettu omia testereitä. Kaikista käyttöönottoon liittyvistä testeistä ja mittauksista tulee olla saatavissa kopio. [50, s. 14.]

Mittatuloksista laaditaan raportti, jossa tulee olla vähintään seuraavat tiedot:

- yhteenveto järjestelmän tiedoista
- luettelo virtapiireistä, joille on tehty aistinvaraiset tarkistukset
- täytetty tarkastuspöytäkirja
- pöytäkirja jokaisen testatun virtapiirin tuloksista.
- seuraavan tarkistuksen ajankohta.
- tarkastajan allekirjoitus [50, s. 33].

Aurinkosähköjärjestelmien dokumentointiin annetaan minimivaatimukset standardissa SFS-EN 62446-1:2016. Aurinkosähköjärjestelmiin liittyy myös tietoa,

mikä tulisi olla saatavissa järjestelmän asentajalta ja suunnittelijalta. Jos suunnittelusta tai asentamisesta vastaa useampi yritys tai taho, täytyy tiedot olla saatavilla kaikilta osapuolilta. [50, s. 11–12.]

Järjestelmän tiedoista tulee vähintään olla tiedossa tai saatavilla:

- projektin tunnus
- laitteiston mitoitusteho (kW tai kVA)
- aurinkopaneelien ja invertterin valmistaja, malli ja lukumäärä
- asennuspäivä
- käyttöönottopäivä
- asiakkaan nimi ja asennuskohteen osoite [50, s. 11].

Järjestelmän asentajasta ja suunnittelijasta tulisi olla vähintään seuraavat tiedot tiedossa tai saatavilla:

- yritys
- yhteyshenkilö
- yhteystiedot (postiosoite, puhelinnumero ja sähköpostiosoite) [50, s. 11–12].

Dokumentointiin kuuluu myös aurinkosähköjärjestelmän tasa- ja vaihtosähkösiosta tehdyt johdotuskaaviot. Johdotuskaavioiden laajuus on riippuvainen järjestelmän koosta, mutta dokumenteissa vähintään tulisi olla aurinkosähköpaneeliston kokoonpano ja sähkötekniset tiedot, vaihtosähköjärjestelmän ja sen suojalaitteiden tiedot ja maadoitus ja ylijännitesuojauksen tiedot. Kunkin järjestelmän kokoonpanot ja komponentit tulisivat näkyä johdotuskaavioissa. Aurinkosähköpaneeliketjun kokoonpanosta on tehtävä erillinen piirustus, jos paneeliketjuja on kolme tai enemmän. [50, s. 12–13.]

Järjestelmän dokumenteista tulisi olla saatavilla järjestelmän jokaisen invertterin, paneelin ja paneeliston kiinnitysjärjestelmän datalehti. Järjestelmään liittyvä hätätilannejärjestelmä tulisi olla dokumentoitu sisältäen järjestelmän suunnittelijan tiedot ja käyttöohjeet. [50, s. 13.]

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton ja luovutuksen jälkeen voi sille olla tarvetta tehdä varmennustarkastus. Aurinkosähköjärjestelmälle täytyy tehdä varmennustarkastus, jos se kuuluu sähkölaiteluokkaan 1, 2 tai 3. Sähkölaiteluokkaan 1 kuuluvat aurinkosähköjärjestelmät, jotka ovat asuinrakennuksessa, jossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa, tai aurinkosähköjärjestelmä on muussa kuin asuinrakennuksissa ja sen ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 A. Sähkölaiteluokan 2 aurinkosähköjärjestelmissä on joko yli 1000 V:n nimellisjännitteisiä osia tai laitteiston liittymäteho on yli 1600 kVA. Luokan 3 sähkölaitteistot ovat verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muita vastaavia sähköverkoja. [51, § 44.] Varmennustarkastus täytyy suorittaa 3 kuukauden kuluessa laitteiston käyttöönotosta, ja tarkastuksen saa tehdä siihen valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja [52, § 7; 51, § 76]. Varmennustarkastuksessa tarkistetaan, että sähkölaitteisto täyttää sähköturvallisuusvaatimukset sekä että sille on tehty asianmukainen käyttöönototarkastus [51, § 46].

Käytössä olevalle aurinkosähköjärjestelmälle tulee tehdä määräaikaistarkastus 5–10 vuoden välein, jos aurinkosähköjärjestelmä kuuluu sähkölaiteluokkaan 1,2 tai 3, pois lukien aurinkosähköjärjestelmät, jotka sijaitsevat asuinrakennuksissa [51, § 49]. Määräaikaistarkastuksessa varmistetaan, että sähkölaitteisto täyttää sähköturvallisuusvaatimukset ja että sitä on huollettu ja ylläpidetty oikein. Määräaikaistarkastuksessa myös varmistetaan, että laitteiston laajennus- ja muutostöistä on tehty asianmukaiset pöytäkirjat. Määräaikaistarkastuksen voi tehdä vain siihen valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja. [51, § 50.]

Varmennus- ja määräaikaistarkastusten lisäksi aurinkosähköjärjestelmän toiminnan takaamiseksi sille tulisi tehdä säännöllisiä kunnossapitotarkastuksia. Kunnossapitotarkastuksien ajankohdalle tai sisällölle ei ole annettu tarkkoja säännöksiä sähköturvallisuuslaissa tai SFS 6000 standardissa. Kiinteistöissä, joissa on pakollinen kunnossapito-ohjelma, kuuluu aurinkosähköjärjestelmänkin huolto osaksi sitä. [49.]

4.3.2 Suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelua määrää standardi IEC 62548:2016 [53]. Standardissa annetaan vaatimukset järjestelmän turvallisuusasioista, sähkölaitteiden valinnasta ja merkinnöistä ja dokumentaatioista [53, s. 6].

Standardissa [53] annetaan vaatimukset aurinkopaneelien ja muiden tasasähköosien kytkentään, kokoonpanoon sekä niiden suojalaitteisiin. Tärkeimmät suositukset suojalaitteista ovat vikavirtasuojauksen lisäys akkuja sisältäviin järjestelmiin, mahdollisimman lähelle akkuja yleisemmin akun ja sen latauslaitteen väliin. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa tulee huomioida järjestelmän laitteiden käyttölämpötila ja niiden mahdollinen lämpeneminen. Laitteiden käyttölämpötila ei saa ylittyä, joten niiden sijoittelussa tulee huomioida tilojen ilmanvaihto ja se, etteivät järjestelmän laitteet ja komponentit lämmitä toisiaan. Paneelien sijoituksessa olisi tärkeää, että varjostus jäisi mahdollisimman pieneksi, kuin on käytännöllisesti mahdollista. [53, s. 23–24.]

Aurinkosähköjärjestelmän mekaanisessa suunnittelussa tulee ulkopuolisten tekijöiden vaikutukset ottaa huomioon. Varsinkin paneelien sijoitusta suunniteltaessa saatavilla olevien kiinnikkeiden ja tukirakenteiden vaihtoehtoja tulisi miettiä. Tuulen, lämpötilavaihteluiden, korroosion vaikutus ja materiaalin keräytyminen paneelille tulee ottaa huomioon mekaanisessa suunnittelussa, ja kiinnitys- ja tukirakenteiden tulee kestää kaikki nämä elementit. [53, s. 24–25.]

Aurinkosähköjärjestelmän koon ja yleisen turvallisuuden suunnittelussa tulee ottaa huomioon, ettei järjestelmän jännite saisi nousta yli 1000 V. Jos paneelien jännite ylittää 1000 V, tulee järjestelmään ja sen osiin pääsy rajoittaa vain sähköalan ammattihenkilöille. [53, s. 26.]

Salamansuojausjärjestelmää aurinkosähköjärjestelmälle ei tarvitse toteuttaa, ellei sitä rakennuksessa vaadita tai sitä ei ennestään ole. Aurinkosähköjärjestelmä itsessään lisää salamaniskun todennäköisyyttä hyvin vähän. Tasasähkökaapelien positiivinen ja negatiivinen johdin tulisi niputtaa yhteen silmukoiden muodostumisen estämiseksi. [53, s. 36.]

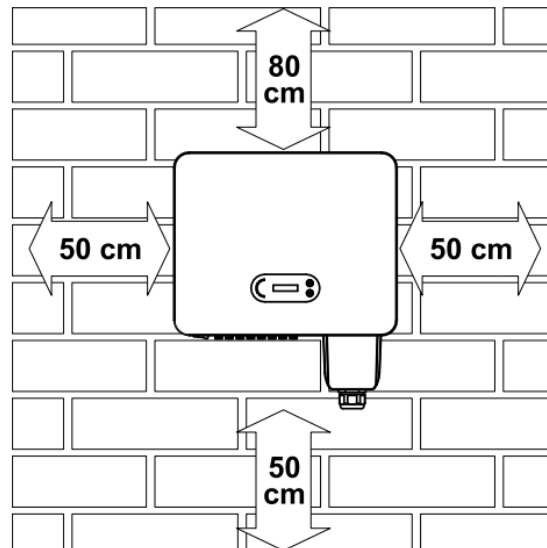
Aurinkosähköjärjestelmän laitteet ja osat tulevat olla hyväksytyjä niiden käyttöolosuhteisiin ja -tarkoituksiin, ja ne tulevat olla mitoitettu oikein. Aurinkosähköjärjestelmän osat voivat olla haastavissa olosuhteissa veden ja UV-säteilyn armoilla, joten asennuspaikkaan ja koteloitiluokitukseen tulisi kiinnittää huomiota. [53, s. 27.]

5 Sähkösuunnittelussa huomioitavat asiat

Tässä osiossa käydään läpi asioita, joita sähkösuunnittelijan pitää huomioida suunnitellessa ja konsultoidessaan aurinkosähköjärjestelmää uusiin tai saneerattaviin kiinteistökohteisiin. Aurinkosähköjärjestelmä tulee yleensä erillistoimituksena, jossa järjestelmän suunnittelu ja kokoonpano kuuluu toiselle toimijalle. Kuitenkin aurinkosähköjärjestelmään liittyy monta asiaa, jotka sähkösuunnittelijan täytyy huolehtia, että järjestelmä saadaan integroitua kiinteistöön ilman mitavia lisätöitä. [40.]

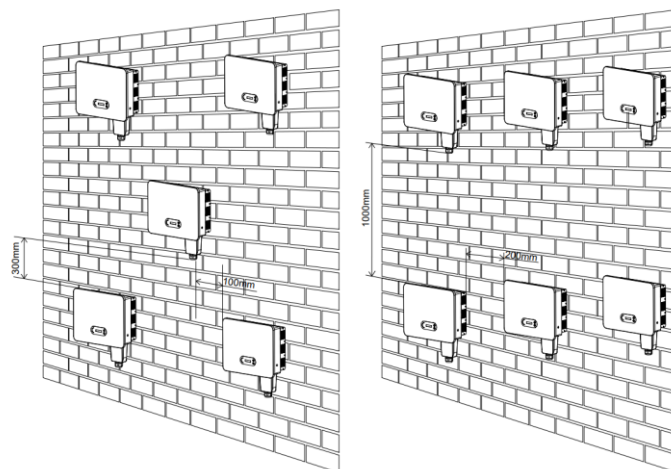
5.1 Tilavaraukset, sijoittelu ja ryhmittely

Aurinkosähköjärjestelmän osat tarvitsevat runsaasti tilaa kiinteistössä. Invertteri on yleisimmin mitoiltaan 0,5 x 0,5 m ja tarvitsee ympärilleen vähintään puoli metriä vapaata tilaa. Invertterin alusta kuuluu olla palamaton ja huonosti lämpöä johtava. [54, s. 20–21.] Kuvassa 24 on esimerkki invertterin valmistajan käyttöohjeesta invertterin asennusalustasta.



Kuva 24. Invertterin asennusalue ja sille varattava vapaa tila [54, s. 20].

Isommissa järjestelmissä voi inverttereitä olla useampi, jolloin tilavarauksissa tulee huomioida vapaat tilat myös inverttereiden väliin [54, s. 20–21]. Kuvassa 25 on usean invertterin esimerkkiasennus samalle seinälle.



Kuva 25. Usean invertterin asennus vierekkäin samalle seinälle [54, s. 21].

Invertterin sijoituksessa tulee huomioida tilan ilmanvaihto sekä aurinkopaneelien sijainti. Invertteri tulisi olla tilassa, jossa on ilmanvaihto, sekä sen tulisi sijaita mahdollisimman lähellä läpivientiä rakennuksen ulkopuolelle aurinkopaneeleille [41, s. 28].

Aurinkopaneelit tarvitsevat jopa satoja neliömetrejä tilaa ja niiden sijainti kuuluisi olla mahdollisimman varjoton ja auringon paistosuunnaltaan mahdollisimman optimaalinen. Aurinkopaneelien sijainnissa tulee huomioida sähkön syöttöpiste sekä invertterin sijainti. Pitkät johdinmatkat pudottavat oikosulkuvirtoja ja lisäävät jännitehäviöitä. [55.] Invertterit tulisi olla mahdollisimman lähellä aurinkopaneeleita, jotta tasasähkökaapelointi olisi mahdollisimman lyhyt ja ettei se kulkisi sisä rakenteissa. Tasasähkökaapeleita voi kuljettaa sisä rakenteissa, mutta sitä tulisi välttää ja pitkät matkat tulisi erikseen koteloida palonkestävästi [41, s. 28.]

Aurinkopaneeleille vaadittava tilavaraus on riippuvainen monesta tekijästä. Järjestelmän tilaaja ehdottaa, kuinka suuri järjestelmän koosta tulee. Tilaajalla voi olla erillinen energiakonsultti, tai kiinteistö voi tavoitella tiettyä energialuokitusta tai prosentuaalista tuotantoa omasta kulutuksesta. Suunnitteluprosessissa on tärkeää selvittää tilaajalta halutut aurinkosähköjärjestelmän spesifikaatiot; halutaanko tuotannolla kattaa kiinteistön pohjakuormitus, halutaanko järjestelmällä pienentää e-lukua ympäristöluokitusta varten vai halutaanko tietty osa kulutuksesta tuottaa itse. Jos tilaaja ei tarkkaa kokoa järjestelmälle määrää, tulee se laskea kiinteistön toteutuneen vuosikulutuksen tai uuteen kiinteistöön arvioidun kulutuksen perusteella tilaajan ehtojen mukaiseksi. [55.]

Aurinkopaneelien asennuspaikka vaikuttaa myös aurinkopaneelien määrään. Paneelit tulevat yleisimmin katolle, jossa katon kaltevuus, muoto, katon ositus ja suuntaus vaikuttaa paneelien hyötysuhteeseen ja tuotanto-odotuksiin. Jokainen aurinkosähköjärjestelmä tulisi mitoittaa ja laskea kohdekohtaisesti. [55.]

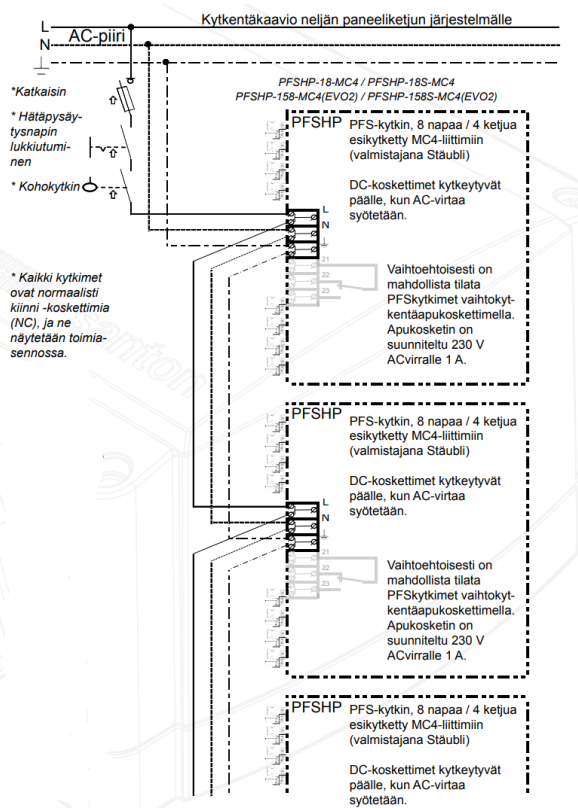
5.2 Järjestelmät ja suojalaitteet

Aurinkosähköjärjestelmässä vaihtosähköpuolen johdonsuojalaitteena toimii ylivirtasuoja. Ylivirtasuoja tulee mitoittaa invertterin mitoitusvirran mukaan. Invertterin mitoitusvirta on suurin valmistajan ilmoittava vaihtovirta tai tiedon puutteessa 1,1-kertainen mitoitusvaihtovirta. [27.] Ryhmäjohdon mitoitus tulee tehdä SFS 6000 standardin mukaisesti, suosituksena kuitenkin tulisi käytettävän kaapelia, jossa on konsentrisen maadoitusjohdin häiriösuojauksen takia [25, s.

131]. Jos invertterin vaihtosähköpiirin suojaamiseen käytetään vikavirtasuojaa, on käytettävä B-tyypin vikavirtasuojaa, ellei vaihtosuuntaajassa ole toteutettu vaihtosähköosan ja tasasähköosan välillä ainakin yksinkertaista erotusta, tai asennus saa aikaan muuntajan erillisten käämien avulla vähintään yksinkertaisen erotuksen vaihtosuuntaajan ja vikavirtasuojalaitteen välille, tai vaihtosuuntaajan valmistajan mukaan B-tyypin vikavirtasuojan käyttöä ei vaadita. [43, s. 19.]

Aurinkosähköjärjestelmässä vaaditaan erotuskytkin sekä vaihto- että tasasähköpuolella. Vaihtosähkön erotuskytkin tulisi sijoittaa paikkaan, johon on pääsy verkkoyhtiöllä. [25, s. 133.] Erillisenä suosituksena erotuskytkimen sijoitukseen on myös, että paloviranomaisella on helppo pääsy palotilanteessa erotinkytkimeen. Hyvä tapa noudattaa suosituksia on erillinen turvakytkin, joka on invertterin lähellä, ja erillinen erotinkytkin, kuten hätäseis-painike, joka tulisi sijoittaa palokonsultin ohjeistuksen mukaan, yleensä hyökkäystien sisäänkäynnin tai ilmanvaihdon hätäseis-painikkeen yhteyteen. Hätäseis-järjestelmä voi olla invertteriin integroitu, sähkökeskuksessa tai ennen invertteriä erikseen asennettu laitekohmainen järjestelmä. [40.]

Aurinkosähköjärjestelmän tasasähköpuolen irtikytkentään on kehitetty laite nimeltä palomiehen turvakytkin, joka toimii kuten hätäseispiiri aurinkopaneelien tasasähkökaapeleille. Palomiehen turvakytkin kytketään mahdollisimman lähelle aurinkopaneeleita, ja aurinkopaneelien kaapelit kulkevat sen kautta. Palomiehen turvakytkimelle johdotetaan erillinen hätäseiskytkin. Hätäseiskytkimen kautta palomiehen turvakytkimelle kulkee jatkuva jännite, ja hätäseisnappia painaessa palomiehen turvakytkimeltä katkeaa jännite ja se kytkee irti aurinkopaneelit invertteristä. Palomiehen turvakytkimen toiminta on havainnollistettu kuvassa 26. [56, s. 5–13.]



Kuva 26. Palomiehen turvakytkimen toiminta. Jännitteen katkaistua palomiehenkytkimeltä, katkaisee se aurinkopaneeleille menevät johdot. [56, s. 13.]

Aurinkosähköjärjestelmän ylijännitesuojaus vaihtelee kohdekohtaisesti. Jos aurinkosähköjärjestelmä asennetaan salamasuojattuun tilaan, täytyy kaikki aurinkosähköjärjestelmän johdot ja kaapelit olla erotettu salamasuojausjärjestelmästä. Riittävä erotus määritellään standardissa SFS-EN 62305-3 ja, sen laskentaan on kehitetty ohjelmistoja, kuten DEHN Distance Tool-ohjelmisto. Jos ylijännitesuoja vaaditaan vaihtosähköosassa ja invertteri sijaitsee yli 10 metrin päästä asennuksen liitäntäkohdasta, tulee asennuksen liitäntäkohdan ylijännitesuojien lisäksi lisätä invertterin lähelle ylijännitesuoja. Tasasähköosan ylijännitesuojat tulee asentaa mahdollisimman lähelle invertteriä. [43, s. 19–20.]

Invertterin ja rakennuksen ulosläpiviennin etäisyyden ollessa yli 10 metriä ylijännitesuojaukseen voidaan tarvita täydentäviä suojia kauemmaksi vaihtosuuntaajasta. Sekä tasa- että vaihtosähköpuolen ylijännitesuojat yhdistetään päämaadoituskiskoon joko vähintään 6 mm²:n kuparilla tyyppin 2 ylijännitesuojilla tai 16

mm²:n kuparilla tyyppin 1 ylijännitesuojilla. Tasasähköosan ylijännitesuojan valinta on kerrottu tarkemmin standardissa SFS 6000-7-712. [43, s. 20–21.]

Invertterin lähelle on hyvä lisätä yksi yleiskaapelointipiste, joka mahdollistaa invertterin kytkennän internetiin [55]. Yleiskaapelointipiste kannattaa olla kaksiosainen. Invertterin mahdollinen rakennusautomaatioon kytkeytyminen tulisi huomioida. Invertteriltä voi mennä VAK:seen (valvonta-alakeskus) esimerkiksi tila- ja hälytystieto. [40.]

5.3 Johtotiet ja mekaaninen suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa johtotiet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: vaihtosähkökaapelien johtotiet ja tasasähkökaapelien johtotiet. Vaihtosähkökaapelien johtoteissa ei ole erikoisohjeistusta, ne pitää suunnitella kuten muidenkin järjestelmien johtotiet ja ne tulevat riittää invertterille asti. Vaihtosähkön johtoteiden suunnittelu on yleisemmin mukana kiinteistön muussa sähkösuunnittelussa, ja tasasähkön johtotiet suunnittelee ja rakentaa aurinkosähköjärjestelmän toimittaja. Johtoteiden rakentamisen ja suunnittelun rajat tulisi mainita urakkarajaliitteessä. [40.]

Tasasähköpuolen johtoreitteihin laatutason vaatimuksena tulisi olla, että ulkoti-loihin asennettavat johtotiet olisivat kuumasinkittyjä tai galvanoituja sekä johtoreitissä tulisi olla kansi kaapelien UV-suojaksi sekä mekaaniseksi suojaksi. Katolle tulevien johtoteiden kannattimiksi ei myöskään tulisi käyttää minkäänlaista puuta. Aurinkopaneelien kiinnikkeiden lumikuorman kestoisuudeksi tulisi vaatia vähintään 5,5 kN. [57.]

Tasasähkökaapeleille ja potentiaalitasausjohtimille tarvitaan läpivienti rakennuksen ulkopuolelle aurinkopaneeleille. Useimmiten aurinkopaneelit ovat rakennuksen katolla, joten on tärkeää valita laadukas ja toimintavarma läpivienti. Rakennuksen läpiviennit suunnittelee rakennesuunnittelija, mutta läpiviennin tyyppiä pitää sähkösuunnittelijan toisinaan kommentoida. Hyvänä läpivientityyppinä on kokemuksen perusteella käytetty niin sanottua joutsenenkaulaa (kuva 27). [40.]

Johtavasta materiaalista valmistetut läpiviennit tulisi lisätä potentiaalintasaukseen [57].



Kuva 27. Joutsenkaula kaapeliläpivienti, materiaali ruostumaton teräs [58].

5.4 Potentiaalintasaus

Käytännössä kaikkiin aurinkosähköjärjestelmiin, jotka tulevat kaupallisiin tai muuten isoihin kiinteistöihin, täytyy tehdä potentiaalintasaus. Potentiaalintasaus pitää tehdä vähintään 6 mm²:n kuparijohtimella, paitsi jos kiinteistössä on ulkoinen salamansuojaus, pitää potentiaalintasaus johtimen olla vähintään 16 mm²:n kuparijohdin. On kuitenkin kannattavaa laittaa sähkösuunnitelmissa aurinkosähköjärjestelmän potentiaalintasausjohdin aina 16 mm²:n kuparijohtimella, sillä silloin maadoitusjärjestelmä tulee aina olemaan standardinmukainen eikä sillä todennäköisesti ole isoa vaikutusta sähköurakan hintaan. [40.]

Aurinkosähköjärjestelmän potentiaalintasausjärjestelmän toteuttaminen on rakennuskohtaista, mutta hyvä tapa on lisätä aurinkosähköjärjestelmälle tarkoitettu potentiaalintasauskisko invertterin lähelle tai kohtaan, jossa aurinkopaneelit ovat, esimerkiksi katolle. Urakkarajat ovat myös helppo rajoittaa potentiaalintasauskiskoon asti. [40.]

5.5 Energiamittaus ja tuotannon seuranta

Aurinkovoimalan tuottamaa energiaa halutaan useimmiten mitata ja tarkkailla. Inverttereissä on yleisimmin oma pilvipalvelu ja käyttöliittymä tuotannon seurantaan, mitä voi käyttää mobiililaitteilla ja tietokoneilla etänä, jos vain invertterillä on yhteys internetiin. [40.]

Aurinkosähköjärjestelmälle ei vaadita omaa energiamittausta, ellei sen koko ylitä 100 kVA [25, s. 33]. Alle 100 kVA:n tuotantolaitokselle oman energiamittauksen tarvetta tulisi kysyä järjestelmän tilaajalta. Energiamittausta suunniteltaessa tulisi huomioida rakennuksen muun energiamittauksen väylämuoto. Invertterin oman energiamittauksen ja tuotantolaitokselle tarkoitetun energiamittarin on hyvä olla yhteensopivia rakennuksen muun energiamittauksen kanssa, jolloin aurinkovoimalan energiamittaus voidaan yhdistää samaan järjestelmään. [55.]

Jossakin kohteissa voi rakennukseen tulla erillinen infonäyttö yleisiin tiloihin, missä voi seurata aurinkovoimalan tuotantoa. Jos järjestelmän tilaaja haluaa tällaisen ominaisuuden, tulee varmistaa, että invertteri pystyy siihen. Infonäyttö tarvitsee yleiskaapelointipisteen samasta ristikytkentäkaapista, missä aurinkosähköjärjestelmän yleiskaapelointipiste on. Infonäyttö tarvitsee myös oman erillisen sähkönsyötön, yleensä oman pistorasian. Infonäytön tarkemmat vaatimukset tulevat kohdekohtaisesti järjestelmän tilaajalta. [40.]

5.6 Urakkarajat

Urakkarajojen määrittäminen on kohdekohtaista, ja ne voivat vaihdella paljon kohteiden välillä. Yleisin järjestely aurinkosähköjärjestelmissä sähköurakoissa on, että sähköurakkaan kuuluu invertterin ryhmäjohtimen ja turvakytkimen hankinta ja siitä eteenpäin olevat asennukset ja hankinnat ovat erillisessä aurinkosähköurakassa. Urakkarajat kannattaisi kirjata pelkästään erilliseen urakkarajaliitteeseen,

eikä urakkarajoihin tulisi ottaa kantaa sähkösuunnitelmissa, sähköselostuksessa tai muissa teknisissä dokumenteissa ristiriitojen ja väärinkäsitysten välttämiseksi. [55.]

6 Esimerkkikohte Kannelmäen koulu

Tähän työhön valittiin yksi työkohte, johon Rejlers Rakentaminen Oy on suunnitellut aurinkosähköjärjestelmän. Tarkoituksena oli, että kohteessa käydään kuvaamassa ja esitellään järjestelmän eri laitteet ja osat. Kohde oli Kannelmäen koulu, jossa tehtiin julkisivun ja vesikaton korjaus ja samalla rakennukseen lisättiin aurinkopaneelit katolle. Työmaakerroksella kävi kumminkin ilmi, että aurinkosähköjärjestelmässä oli muutamia puutteita, joten työssä käydään ne seuraavaksi läpi.

6.1 Järjestelmän kuvaus

Kohteeseen on suunniteltu aurinkosähköjärjestelmä, jonka huipputeho 35 kWp. Aurinkosähköjärjestelmä liitetään rakennuksen nykyiseen pääkeskukseen muun sähkönjakelujärjestelmän rinnalle. Kohteen aurinkosähköjärjestelmä on kokonaistoimitus, joka on erillisenä urakkana muusta sähköurakasta.

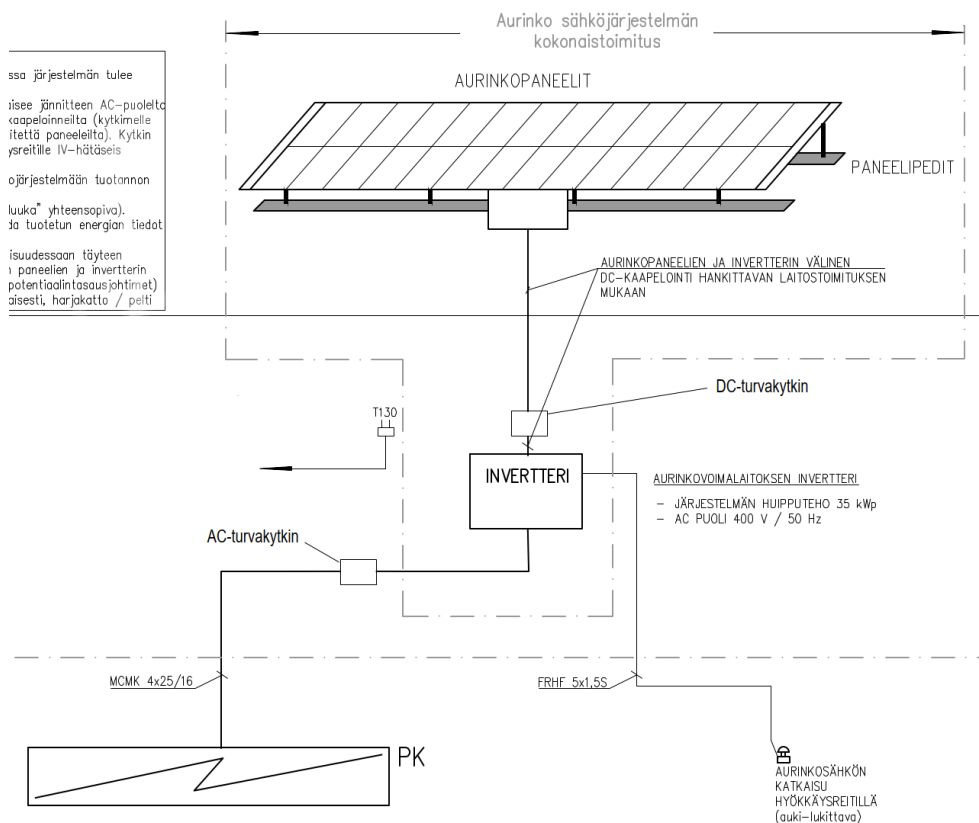
Sähköselostus

Sähköselostukseen on kirjattu aurinkosähköjärjestelmän perustiedot. Selostuksessa mainitaan sähköurakan urakkarajana olevan invertterin AC-turvakytkimen liittimet, ja siitä eteenpäin toimitus aurinkosähköurakassa. Selostuksessa on kohta, jossa vaaditaan palokunnan hyökkäystielle asennettavaksi aurinkosähköjärjestelmän ohjauskytkin. Ohjauskytkimestä aurinkosähköjärjestelmän invertteri voidaan kytkeä jännitteettömäksi ja aurinkopaneelit tulisi pystyä kytkemään irti toisistaan. Ohjauskytkin tulisi myös olla lukittavissa auki-asentoon. Selostuksessa on myös maininta, että invertteristä tuleva mittaustieto tulee olla Modbus/”nuuka”-yhteensopiva. Mittausmuoto on Helsingin kaupungin rakennuskoh-

teissa yleisesti käytettävä. Aurinkosähköjärjestelmälle asennetaan uudet maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Sähköselostuksessa ei ollut mainintaa invertterin yleiskaapelointipisteestä tai infonäytöstä, joka oli mainittu varauksena aurinkosähköjärjestelmän kaaviossa.

Tekniset piirustukset

Aurinkosähköjärjestelmästä on tehty kaavio (kuva 28), jossa järjestelmä on kuvattu yksinkertaistettuna tärkeimmät osat ja laitteet lueteltuna. Kaavion avulla aurinkosähköurakoitsija pystyy suunnittelemaan järjestelmän kokoonpanon ja laskemaan urakan hinnan.



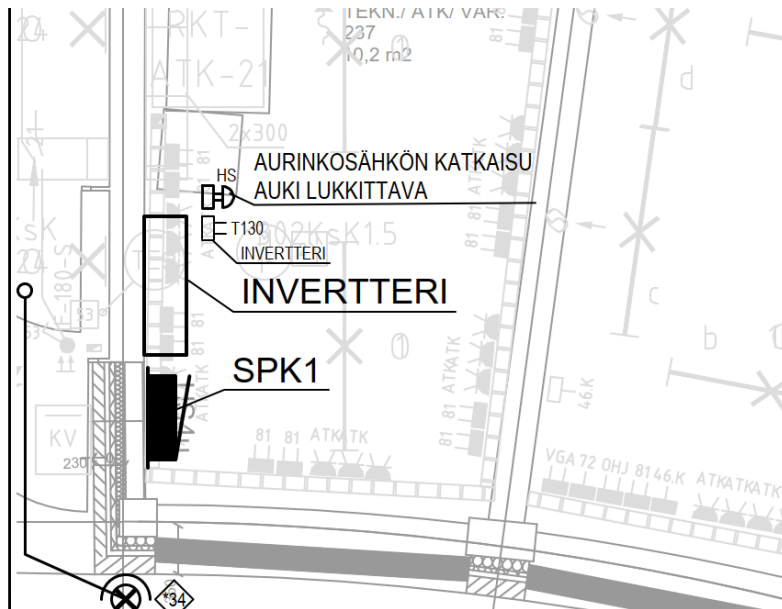
Kuva 28. Aurinkosähköjärjestelmän kaavio Kannelmäen koulu [59].

Kaaviossa oli myös lueteltuna (kuva 29) huomioitavia asioita järjestelmään liittyen. Huomiot antavat reunaehdot järjestelmän ominaisuuksille.

- HUOM!**
- Normaaliverkon sähkön katketessa järjestelmän tulee kytkeytyä pois päältä.
 - Järjestelmän erotuskytkin katkaisee jännitteen AC-puolelta ja paneeliryhmien välisiltä DC-kaapeloinneilta (kytkimelle merkintä, että ei katkaise jännitettä paneeleilta). Kytkin asennetaan palokunnan hyökkäysreitille IV-hätäseis painikkeen viereen
 - Hälytystieto rakennusautomaatiojärjestelmään tuotannon keskeytyksestä
 - Tuotannon mittaus (Modbus/”Nuuka” yhteensopiva). lisäksi invertteristä tulee saada tuotetun energian tiedot VAK/info-TV järjestelmään.
 - Järjestelmä asennetaan kokonaisuudessaan täyteen toimintakuntoon, mukaan lukien paneelien ja invertterin maadoitus (maadoituskisko ja potentiaalintasausjohtimet)
 - Kiinnikkeet vesikattotyypin mukaisesti, harjakatto / pelti

Kuva 29. Aurinkosähköjärjestelmä kaavion huomioitavat kohdat [59].

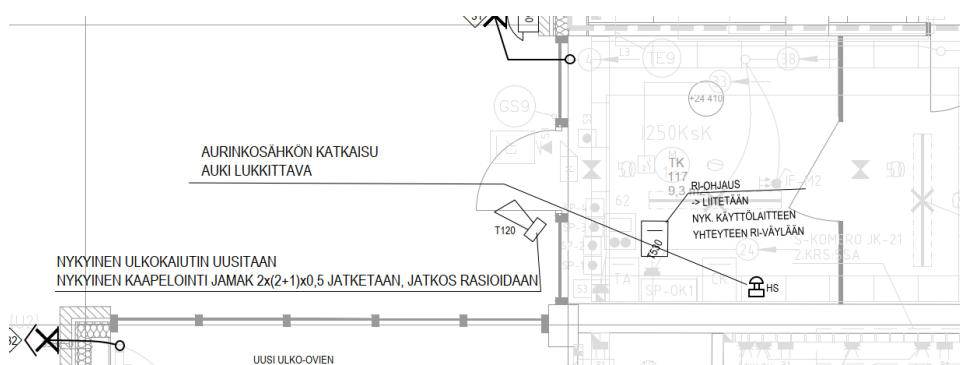
Kuvassa 30 on ryhmityspiirustus, johon on merkattu invertterin sijainti ja aurinkosähköjärjestelmän katkaisukytkin ja yleiskaapelointipiste.



Kuva 30. Invertteri ja aurinkosähköjärjestelmään liittyviä laitteita [59].

Kuvassa 31 on aurinkosähköjärjestelmän katkaisukytkin hyökkäystien sisäänkäynnillä. Järjestelmän kohdekortista ei ollut merkattu tasopiirustuksiin mitään,

eikä vanhoja asennuksia, kuten savunpoisto-ohjauskeskusta, ollut merkattu kuviin.



Kuva 31. Aurinkosähköjärjestelmän katkaisukytkin hyökkäystiellä [59].

Aurinkosähköjärjestelmän kaaviossa olisi voinut olla selvemmin vaatimukset järjestelmään liittyvistä laitteista. Katkaisukytkimen toimintaa olisi voinut selvittää paremmin ja esimerkiksi suunnitella keskuksen sisälle rakennettavan erotuslaitteiston. Potentiaalintasauksesta kaaviossa ei mainita ollenkaan, vaikka se kuuluisi selostuksen ja standardin [43] mukaan järjestelmään sisällyttää.

6.2 Työmaakierros

Työkohteessa tehtiin rakentamisen loppuvaiheessa sähköpuutekierron, jossa olivat mukana pääurakoitsija, sähköurakoitsija, tilaajan edustaja ja sähkösuunnittelija. Kierroksella ei ollut mukana aurinkosähköjärjestelmän rakennuttajaa tai sen edustajaa. Kierroksella käytiin läpi sähköurakkaan kuuluvat asiat ja tarkistettiin niiden suunnitelmanmukaisuus sekä mahdolliset puutokset. Tässä osiossa keskitytään kierroksen aurinkosähköjärjestelmään liittyviin asioihin.

Työmaakierroksen aikana sähköurakka oli loppuvaiheessa. Muille sähköasennuksille oli tehty käyttöönotto, mutta aurinkosähköjärjestelmää ei jostain syystä ollut otettu käyttöön. Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton viimeistelystä kirjattiin merkintä muistioon. Aurinkosähköjärjestelmästä ei myöskään ollut annettu käytönopastusta rakennuksen henkilöstölle, mistä myös tehtiin kirjaus muisti-

oon. Rakennuksen hyökkäystien ulko-ovelta puuttui suunniteltu aurinkosähköjärjestelmän irtikytkennän painike. Sähköurakoitsija oli johdottanut ulko-oven lähelle painikkeen kaapeloinnin, mutta painikkeen asennus oli jäänyt pois aurinkosähköurakoitsijalta. Aurinkosähköurakoitsija oli sanonut, että kohteeseen suunniteltuun invertteriin ei tällaista toimintoa ollut sisäänrakennettu, joten ominaisuus oli jätetty pois. Vaikka tällaista painiketta ei mikään standardi pakota asennuttamaan, oli se tilaajan edustajan ja sähkösuunnittelijan mielestä turvallisuussyistä lisättävä järjestelmään. Aurinkosähköurakoitsijalle merkattiin muistiin kirjaus, että järjestelmään tulee lisätä edellä mainittu painike. Hyökkäystieltä myös puuttui aurinkosähköjärjestelmän kohdekortti, joka pyydettiin sähkösuunnittelijoiden toimesta piirrettäväksi. Kuvassa 32 on rakennuksen hyökkäystien sisäänkäynti, johon tulisi lisätä savunpainikkeiden yhteyteen aurinkosähköjärjestelmän irtikytkentäpainike sekä järjestelmän kohdekortti. Lopullinen kohdekortti on liitteessä 1.



Kuva 32. Kohta, johon aurinkosähköjärjestelmän irtikytkentäpainike sekä kohdekortti tulisi sijoittaa. Kuvassa vasemmalla savunpoistoluukkujen keskus ja oikealla oranssit savunpoistopainikkeet.

Kohteeseen lopulta lisättiin palomiehen turvakytkin, joka katkaisee invertterille menevät tasasähkökaapelit. Hyökkäystielle asennettiin hätäseispainike, joka katkaisee palomiehen turvakytkimen sähkönsyötön.

Invertteri sijaitsi rakennuksen yhdessä teknisessä tilassa. Kuvassa 33 on invertterin ja vaihtosähköpuolen turvakytkimen sijainti. Tasasähköpuolen turvakytkimet sijaitsevat rakennuksen katolla. Aurinkosähköjärjestelmän tasasähkökaapelointi oli johdotettu pitkiä matkoja, noin 30 m rakennuksen sisällä. Asiasta mainittiin kierroksella, ja se tullaan ottamaan tulevaisuuden kohteissa huomioon paremmin, että aurinkosähköjärjestelmän kaapelit kulkisivat mahdollisimman lyhyen matkan rakennuksen sisällä. Tässä kohteessa tasasähkökaapelointiin ei kuitenkaan merkitty huomautuksia.



Kuva 33. Invertteri ja sen turvakytkin vasemmalla. Turvakytkimen vieressä oleva oranssi kaapelinippu on irtikytkentäpainikkeen varaus.

Aurinkopaneelit sijaitsivat rakennuksen lounaissuuntaisella harjakaton osalla. Katon materiaali oli konesaumattu pelti, ja paneelien telineiden kiinnikkeet oli

kiinnitetty pellin konesaumoissa. Kuvassa 34 on kohteen aurinkopaneelit heti asentamisen jälkeen.



Kuva 34. Aurinkopaneelit koulun katolla.

Kohteessa ei ollut salamansuojajärjestelmää, joten aurinkopaneelien potentiaalintasaus oli tehty 6 mm²:n kuparikaapelilla. Kuvassa 35 on katolla sijaitsevat turvakytkimet sekä potentiaalintasausjohtimet.



Kuva 35. Tasasähköpuolen turvakytkimet sekä potentiaalintasausjohtimet.

Aurinkosähköjärjestelmästä tulee olla rakennuksessa varoittavia merkkejä keskuksissa ja laitteissa. Kuvassa 36 on aurinkosähköjärjestelmää syöttävän keskuksen kannen varoitusmerkit.



Kuva 36. Aurinkosähköjärjestelmästä varoittavat merkinnät keskuksen kannessa.

Varoitusmerkintä oli myös teknisen tilan ovenssa (kuva 37), jossa invertteri sijaitsee. Invertteristä ja sen turvakytimestä puuttuivat varoitukset poiskytkennän jälkeisistä jännitteistä, joten muistioon lisättiin kirjaus merkkien lisäyksestä.



Kuva 37. Aurinkosähköjärjestelmästä varoittavat merkit teknisen tilan ovenssa. Merkit oven oikeassa yläreunassa.

Puutekierroksesta tuli yllättävän monta merkintää. Kohde kumminkin on peruskoulu, joten turvallisuusasioihin tulisikin kiinnittää erityistä huomiota. Kohteesta tuli uusia asioita esille aurinkosähköjärjestelmään liittyen, kuten palomiehen turvakytin ja tasasähkökaapeliin kulku sisätiloissa, ja ne tullaan ottamaan Rejlers Rakentaminen Oy:ssä tulevaisuudessa huomioon.

7 Yhteenveto

Työtä tehdessä tuli selväksi, että työn aihe oli todella laaja ja vielä kehitymässä. Aurinkosähköjärjestelmät ovat vielä melko uusi asia kiinteistöikäytössä, eivätkä niiden standardit ja ohjeet ole aina yhdenmukaisia eivätkä ne löydy samasta paikasta. Järjestelmän kokoonpano sekä suojajärjestelmät vaihtelevat

runsaasti eri rakennustyyppien välillä, joten jokainen aurinkosähköjärjestelmä pitää suunnitella kohdekohtaisesti.

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa tärkeimmät asiat ovat tilaajan vaatimukset ja rajoitteet järjestelmään liittyen, järjestelmän koon määrittäminen ja siihen liittyvät vaatimukset, järjestelmän laitteiden, osien ja suojalaitteiden valinta ja sijoitus ja järjestelmän laatuvaatimusten asettaminen. Jokainen edellä mainituista kohdista on kohderiippuvainen.

Aurinkosähköjärjestelmien suojalaitteista oli paljon epäselvyyttä sähkösuunnittelijoiden keskuudessa. Monella oli epäselvyyttä, mitkä suojalaitteet olivat vaadittuja ja mitkä olivat vain suosituksia. Oletuksena aina on, että järjestelmien asentajat käyttävät standardin mukaisia Suomeen hyväksytyjä laitteita ja osia.

Valtakunnan verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien vaihtosähköpuolen pakollisia suojalaitteita olivat ylivirtasuojat ja erotinkytkin. Tasasähköpuolella taas pakollinen on vain erotin. Jos rakennuksessa on salamansuojat tai ylijännitesuojat, tulee aurinkosähköjärjestelmäänkin ylijännitesuojat kohdekohtaisesti.

Järjestelmän koon kasvaessa tulee suojalaitteita lisää: vaihtosähköpuolelle keskitetty suoja yli 50 kW:n järjestelmiin ja tasasähköpuolelle johtimien ylivirtasuojat ja ylijännitesuojat järjestelmän koon mukaan. Lisäsuojaukset, kuten hätäseisjärjestelmä tai vikavirtasuojat, voivat tulla tilaajalta tai paloviranomaiselta, ja ne tulee suunnitella kohdekohtaisesti. Potentiaalintasaus täytyy tehdä käytännössä kaikille valtakunnan verkkoon kytketyille aurinkosähköjärjestelmille, ja se tehdään joko 6 mm²:n tai 16 mm²:n kuparikaapelilla. Aurinkosähköjärjestelmän kaavioissa tulisi mainita merkinnöistä, joita pitää laittaa sähkökeskuksiin, osiin ja laitteisiin, joihin aurinkosähköjärjestelmä vaikuttaa.

Laatuvaatimuksia ovat suunnittelijan määrittelemät reunaehdot järjestelmän ominaisuuksille, jotka järjestelmän rakennuttajan pitää vähintään täyttää. Laatuvaatimukset tulee käydä tilaajan kanssa läpi, ja ne ovat kohdekohtaisia.

Keskusteluiden ja tapaamisten yhteydessä Rejlers Rakentaminen Oy:ssä sähkösuunnittelijoiden kanssa kävi ilmi, että työn pohjalta aurinkosähköjärjestelmien mallikaaviot voidaan päivittää tämän työn tiedon perusteella. Yritykseen tuli myös paljon uutta tietoa ja moni asia selveni aurinkosähköjärjestelmiin liittyen työn ja keskusteluiden pohjalta.

Työtä ja sen taustatutkimusta tehdessä opin paljon uutta aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden suunnittelusta. Työn aikana kehityin myös sähköalan standardien ja säädösten etsimisessä ja tulkinnassa. Työn aikana kävi ilmi, ettei sähkösuunnitteluun voi tehdä kaikenkattavaa ohjetta tai pohjaa, sillä projektit ja työkohteet vaihtelevat suuresti, ja asiat, jotka toimivat yhdessä kohteessa, eivät välttämättä toimikaan muualla.

Lähteet

- 1 Markqvart, Tomas. 2000. Solar Electricity. 2nd edition. Southampton: Wiley.
- 2 The sun facts. 2021. Verkkoaineisto. The nine planets. <<https://nineplanets.org/the-sun/>>. Päivitetty 1.4.2021. Luettu 24.8.2023.
- 3 Auringon rakenne ja elinkaari. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>>. Luettu 24.8.2023
- 4 Ilmastonmuutos historian opetuksessa. Verkkoaineisto. Open ilmasto opas. <<https://openilmasto-opas.fi/historia/>>. Luettu 24.8.2023.
- 5 Ilmastonmuutos. Verkkoaineisto. WWF. <<https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>>. Luettu 26.8.2023.
- 6 Energian kokonaiskulutus 1970–2021. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2022/data/k1_1as_s.pdf>. Päivitetty 18.4.2023. Luettu 26.8.2023.
- 7 Pariisin ilmastopimus. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/pariisin-ilmastopimus>>. Luettu 27.8.2023.
- 8 Aurinkoenergia. Verkkoaineisto. Energiamaailma. <<https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/aurinkovoima/>>. Luettu 28.8.2023.
- 9 Aurinkoenergian käyttö Suomessa lisääntyy nopeasti. 2021. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas. <<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/aurinkoenergian-kaytto-suomessa-lisaantyy-nopeasti>>. 25.1.2021. Luettu 29.8.2023.
- 10 Energian kokonaiskulutus energianlähteittäin. Muuttujina vuosi, aurinkoenergia, määrä (TJ). 2023. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vq.px/>. Päivitetty 21.4.2023. Luettu 3.9.2023.
- 11 Yleistä aurinkoenergian hyödyntämisestä. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Rejlers Rakentaminen Oy.
- 12 Tulostetaanko tehokasta aurinkopaneelia kohta seiniin, kattoihin ja ikkunoihin? 2021. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2021/03/24/tulostetaanko-tehokasta-aurinkopaneelia-kohta-seiniin-kattoihin-ja-ikkunoihin>>. 24.3.2021. Luettu 5.9.2023.
- 13 Perälä, Rae. 2017. Aurinkosähköä. Oulu: Alfamer.
- 14 Perovskiitti-piikennon hyötysuhde kasvoi jo yli 30 prosentin. 2022. Verkkoaineisto. Etn. <<https://etn.fi/index.php/13-news/14052-perovskiitti-piikennon-hyoetysuhde-kasvoi-jo-yli-30-prosentin>>. 27.9.2022. Luettu 5.9.2023.

- 15 Kestävän rakentamisen arviointi. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus. <<https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/Ymparistoluokitukset/>>. Luettu 7.9.2023.
- 16 Rakennustiedon ympäristöluokitus. Verkkoaineisto. Rakennustieto. <<https://www.rakennustieto.fi/palvelut/ymparistopalvelut/rts-ymparistoluokitus/>>. Luettu 7.9.2023.
- 17 Leed. Verkkoaineisto. U.S. Green Building Council. <<https://www.usgbc.org/leed>>. Luettu 7.9.2023.
- 18 Käpylehto, Janne. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into-Kustannus Oy.
- 19 Aurinkosähköopas. Verkkoaineisto. Omavoima. <<https://lannenoma-voima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>>. Luettu 12.9.2023.
- 20 Invertteri. 2023. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>>. 8.1.2023. Luettu 13.9.2023.
- 21 Aurinkopaneeli EGE 375W yksikiteinen. Verkkoaineisto. Agroshop. <<https://agroshop.fi/yksikiteiset-aurinkopaneelit/12683-aurinkopaneeli-ege-375w-yksikiteinen.html>>. Luettu 13.9.2023.
- 22 Aurinkopaneeli 210W-P MAXX monikiteinen. Verkkoaineisto. Agroshop. <<https://agroshop.fi/monikiteiset-aurinkopaneelit/12656-aurinkopaneeli-210w-p-maxx-monikiteinen.html>>. Luettu 13.9.2023.
- 23 Fraile, Daniel; Latour, Marie; El Gammal, Adel & Annett, Michael. 2009. Photovoltaic energy electricity from the sun. Verkkoaineisto. European Photovoltaic Industry Association. <https://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic_Energy_Electricity_from_the_Sun_EPIA.pdf>. Luettu 14.9.2023.
- 24 Aurinkosähköteknologiat. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 17.9.2023.
- 25 Lehto, Ina; Orrberg, Matti; Ylinen, Marko & Andersén, Markus. Aurinkosähkölaitteiden suunnittelu ja toteutus. ST-käsikirja 40. 2021. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 26 Puro, Vesa-Matti. 2023. Kysymyksiä aurinkosähköstä. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/kysymyksia/>>. 6.1.2023. Luettu 17.9.2023.
- 27 Aurinkosähkölaitteiden toteutus ja liittäminen verkkoon. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Rejlers Rakentaminen Oy.
- 28 KEM 310 M2 2XM20P FI. Verkkoaineisto. Katko <<https://www.katko.com/fi/tuote/kem-310-m2-2xm20p-fi/>>. Luettu 17.9.2023.

- 29 Aurinkopaneelikaapeli, HF-SOLARFLEX-X-TWIN 2X6 K1000. Verkkoaineisto. Sonepar. <<https://verkkokauppa.sonepar.fi/fi/aurinkopaneelikaapeli-hf-solarflex-x-twin-2x6-k1000-0474631>>. Luettu 17.9.2023.
- 30 Liittimet. Verkkoaineisto. JN-Solar. <https://www.jn-solar.fi/fi/70-liittimet?gclid=CjwKCAjwjaWoBhAmEiwAXz8DBR1-8YoEMA-j9amg_vNYX9V0YacyH3_kXYVYIFS1qGdLZ5XDZBE69RoCSBIQAvD_BwE>. Luettu 17.9.2023.
- 31 Leppänen, Roni. 2023. Vanhempi asiantuntija, Rejlers Rakentaminen Oy, Vantaa. Keskustelu 28.9.2023.
- 32 Aurinkosähköjärjestelmien hinta. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 19.9.2023.
- 33 Juuti, Petteri. 2021. Aurinkopaneelien halpeneminen jatkuikin, mutta hintaerot ovat hurjat avaimet käteen -paketeissa – keräsimme vinkit tarjousviidakkoon. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/3-11817758>>. 3.3.2021. Luettu 19.9.2023.
- 34 Auvinen, Karoliina & Jalas, Mikko. 2020. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Verkkoaineisto. Finsolar. <<https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>>. 27.5.2020. Luettu 20.9.2023.
- 35 Tuotettu sähkö sähkömarkkinoilla. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Rejlers Rakentaminen Oy.
- 36 Varttitase eli 15 minuutin taseselvitysjakso. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pohjoismainen-tasehallinta/varttitase/#taustaa>>. Luettu 25.9.2023.
- 37 Aurinkosähköntuotannon taloudellinen tukeminen. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkotuotannon_taloudellinen_tukeminen>. 2.8.2022. Luettu 25.9.2023.
- 38 Pelli, Petja. 2023. Ikäviä uutisia monille kalliit aurinkopaneelit asentaneille: Sähkön myynti verkkoon alkaa maksaa. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<https://www.hs.fi/talous/art-2000009881345.html>>. Päivitetty 27.9.2023. Luettu 28.9.2023.
- 39 Ylijäämän sähkön myynti. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti>. Päivitetty 7.6.2023. Luettu 28.9.2023.
- 40 Mallasto, Aleks. Ryhmäpäällikkö, Rejlers Rakentaminen Oy, Vantaa. Keskustelu 26.9.2023.

- 41 Holopainen, Ari; Jämsä, Jani; Kauppinen, Salla; Kuosmanen Markus; Läderberg, Vesa & Nyman, Pia. 2023. Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje. Verkkoaineisto. Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. <https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkosähköjärjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf>. 18.1.2023 Luettu 3.11.2023.
- 42 Rakennusten paloluokitus. 2023. Verkkoaineisto. Talotekniikka info. <<https://talotekniikkainfo.fi/ilmanvaihtolaitosten-paloturvallisuus-opas/53-rakennusten-paloluokitus>>. 2.11.2023. Luettu 3.11.2023.
- 43 SFS 6000-7-712:2022. Pienjännitesähköasennukset. Aurinkosähköjärjestelmät. Suomen Standardisoimisliitto.
- 44 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. 2017. YMa 848/28.11.2017.
- 45 SFS 6002:2015+A1:2018:en. Sähkötyöturvallisuus. Suomen Standardisoimisliitto.
- 46 Lighting protection guide 3rd updated edition. 2014. Verkkoaineisto. DEHN + SÖHNE. <<https://www.dehn-international.com/sites/default/files/media/files/lpg-2015-e-complete.pdf>>. Päivitetty 1.12.2014. Luettu 6.11.2023.
- 47 Sähkön pientuotannon tekniset vaatimukset. 2022. Verkkoaineisto. Caruna. <https://caruna.fi/sites/default/files/docs/2022-09-27_Jakeluverkon_kanssa_rinnankayvien_tuotantolaitosten_liitantasuojaus.pdf>. Päivitetty 29.9.2022. Luettu 7.11.2023.
- 48 Tuomi, Tapio. 2022. Aurinkovoimalan keskitetty suojaus. Verkkoaineisto. Lähienergia. <<https://lahienergia.org/aurinkovoimalan-keskitetty-suojaus/>>. Päivitetty 27.2.2023. Luettu 7.11.2023.
- 49 Sippola, Vesa. 2023. Sähköasennusten tarkastukset. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 50 SFS-EN 62446-1:2016. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Suomen Standardisoimisliitto.
- 51 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 1135/16.12.2016.
- 52 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista. 2016. 1434/21.12.2016.
- 53 IEC 62548:2016. Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 54 User manual Solar Grid-tied Inverter Product Model: SOFAR 25~50KTLX-G3. 2022. Verkkoaineisto. Sofar Solar. <<https://www.sofarsolar.com.au/wp-content/uploads/2022/08/SOFAR-25-50KTLX-G3-User-Manual-V1.2-20220805-AU.pdf>>. 19.7.2022. Luettu 16.11.2023

- 55 Bergqvist, Jarkko. Ryhmäpäällikkö, Rejlers Rakentaminen Oy, Vantaa. Keskustelu 17.11.2023.
- 56 Santon palomieskytkin kaikkiin aurinkosähköjärjestelmiin pientalo- ja kiinteistökohteisiin. 2021. Verkkoaineisto. Scanoffice Solar. < https://scanoffice.fi/wp-content/uploads/2022/08/Esite_santon-dfs-pfs-palomieskytkin.pdf>. Luettu 20.11.2023.
- 57 Finnberg, Jorma. Projektipäällikkö, Rejlers Rakentaminen Oy, Vantaa. Keskustelu 22.11.2023.
- 58 Joutsenkaula kaapelinläpivienti RST. Verkkoaineisto. Nautikulma Oy. <<https://www.nautikulma.fi/Joutsenkaula-kaapelil-auml-piv/ekauppa/p370-14514901/>>. Luettu 26.9.2023.
- 59 Mallasto, Aleks. 2023. Aurinkosähköjärjestelmä kaavio Kannelmäen koulu. Yrityksen sisäinen aineisto. Rejlers Rakentaminen Oy.

Kannelmäen peruskoulun aurinkosähköjärjestelmän kohdekortti


Aurinkosähköjärjestelmän tietokortti v. 1/2021

Punaisella merkityt johdot ja alueet jännitteisiä!



Kohteessa on akusto: kyllä ei Tyyppi: litium lyijy Jännite: _____ V



Pvm: 29.05.2023	Yleiskuva: 	Kohde ja osoite: Kannelmäen koulu Kanneltie 1, 00420 Helsinki
Merkkien selitys: <ul style="list-style-type: none">— Jännitteinen johto tai alue■ Aurinkopaneelit● Turvakytkin, invertteri tai akusto← Kulku■ Lämpökeräimet		Urakoitsija: XXXXXXXXXX
		Päivystäjä ja numero: Kouluisäntä XXXXXXXXXX

Laitoksen erottaminen sähköverkosta

Aurinkovoimalaa syöttävät kytkimet on merkitty PV-kilvillä tai tarroilla keskuksien kansiin.



A) PÄÄKESKUS, SUIAJINTI sähkötila KYTKIN _____

B) ALAKESKUS _____, SUIAJINTI sähkötila KYTKIN _____

C) AC TURVAKYTKIN, SUIAJINTI sähkötila invertterin vieressä

D) DC TURVAKYTKIMET, SUIAJINTI katolla

E) AKUSTO, SUIAJINTI _____

Invertteri ulkona, sisällä ei ole paneelikaapeleita

Sisätila turvallinen kun verkkosyöttö katkaistu

Invertteri sisällä, katolla DC-turvakytkimet

Sisätila turvallinen kun verkkosyöttö katkaistu ja DC-kytk. OFF - 0

Invertteri sisällä, sisällä lyhyet ja merkityt paneelikaapelit

Invertteri sisällä, sisällä paneelikaapelit palokoteloitu

Kytkimien A, B tai C kääntäminen 0-asentoon kytkee invertterin ulostulon pois päältä. Tämän jälkeen käännä DC-turvakytkin 0-asentoon, mutta huomaa että se kytkee jännitteettömäksi vain kytkimen ja invertterin välisen kaapelin, paneelit ja muut kaapelit ovat silti jännitteisiä.

Kosketuksettomat jännitteentunnistimet eivät ilmaise paneelien ja niiden kaapelin jännitteitä!

Varoetäisyydet

Vesisuihkulla suora suihku 5 m ja sumusuihku 1 m.



Yleisiä turvaohjeita

- Normaalitilanteissa järjestelmä on turvallinen, paneelisto ja kaapelointi kaksoiseristetty.
- Tulipalo tai valokaari voivat paljastaa jännitteisiä osia.
- Pelastustilanteissa valoisan ja hämärän aikaan olettaa aina että paneelistossa on hengenvaarallinen jännite, ellei ole käytettävissä varmaa muuta tietoa.
- Paneeliston johtojen katkaiseminen kaapelileikkurilla voi aiheuttaa valokaaren ja lisää ongelmia.
- Älkää käytäkö paneeleja kulkureittinä.
- Henkilöpelastustilanteessa jossa irrotetaan mahdollisesti jännitteistä uhria on syytä käyttää jännitetyökäsineitä.