

VERKKOON KYTKETTY AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Tässä ohjekortissa käsitellään aurinkosähkön hyödyntämistä rakennuksissa. Ohje kattaa verkkoon kytkettävät aurinkosähkön mikro- ja pientuotantolaitokset sekä näiden suunnitteluun ja asennukseen liittyvät ohjeet. Ohje on tarkoitettu rakennushankkeeseen ryhtyville, suunnittelijoille ja valvojille sekä muille asianosaisille tahoille. Ohje on julkaistu samansisältöisenä ST-kortistossa numerolla ST 55-32.



SISÄLLYSLUETTELO

- 1 JOHDANTO
- 2 KÄSITTEITÄ
- 3 AURINKOSÄHKÖTEKNOLOGIA
RAKENNUKSEN OSANA
- 3.1 Aurinkoenergia vanhassa rakennuskannassa
- 4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ
- 4.1 Aurinkopaneeli
- 4.2 Verkkoinvertteri
- 4.3 Akusto
- 5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU
- 5.1 Paneelien sijoitus ja suuntaus
- 5.2 Varjostukset
- 5.3 Järjestelmän mitoitus
- 5.4 Lupaprosessi
- 5.5 Rakennustyyppien tarkastelu
- 6 PANEELIEN ASENNUS
- 6.1 Asennus katolle
- 6.2 Asennus julkisivuun
- 6.3 Asennus maastoon
- 6.4 Tuuli- ja lumikuormat
- 6.5 Työturvallisuus
- 7 VERKKOON KYTKEMINEN
- 7.1 Kytkeä
- 8 KÄYTTÖÖNOTTO
- 8.1 Käyttöönottotarkastus
- 8.2 Dokumentointi
- 9 HUOLTO JA YLLÄPITO
- 9.1 Paneelit
- 9.2 Verkkoinvertteri
- 9.3 Etäseuranta
- KIRJALLISUUTTA

1 JOHDANTO

Aurinko on ylivoimaisesti merkittävin energiaressurssimme. Auringosta maan pinnalle Suomessa kohdistuva vuotuinen kokonaissäteilyenergia vastaa noin 2400-kertaisesti vuosittain käytettävää primäärienergiämäärää. Koko maapallon energiatarpeen kattamiseen riittäisi päiväntasaajalle sijoittuvan 800 km x 800 km laajuisen aurinkosähkövoimalan tuotto. Aurinkoenergian laajamittaista hyödyntämistä haittaa kuitenkin sen epätasainen ajallinen ja paikallinen jakautuminen.

Auringon keskimääräinen säteilyenergia Suomessa on leveyspiiristä riippuen 900...1100 kWh/m². Etelään suunnattu ja optimaaliseen kaltevuuskulmaan asennettu varjostuksista vapaa 1 kWp aurinkovoimala voi tuottaa Suomessa vuoden aikana 850...950 kWh sähköenergiaa.

Kasvihuonepäästöjen hillitsemiseksi on välttämätöntä korvata fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla ja muilla vähähiilillä energialähteillä. Aurinkosähkö pienentää kiinteistön ostoenergian tarvetta ja vähentävää tuntuvasti kasvihuonepäästöjä.

Oikein mitoitettu ja kohdekohtaisesti suunniteltu aurinkoenergiajärjestelmä on taloudellisesti kannattava investointi, mutta hankintaan voi kannustaa myös esimerkiksi energiaomavaraisuuden parantaminen tai halu tukea uusiutuvan energian kehitystä. Rakennuksessa tuotettu aurinkosähkö huomioidaan energiatodistuksen E-lukulaskennassa. Ylituotantoa ja verkkoon syötettyä energiaa ei kuitenkaan voi E-luvussa laskea hyödyksi.

Kuva 1. Aurinkopaneelisto osana vesikattoa istuu luontevaksi osaksi talon ulkoarkkitehtuuria. Plusenergiatalo Saksan Freiburgissa (Rolf Disch, 2000).

2 KÄSITTEITÄ

Energiaomavaraisuus kertoo kuinka suuri osa käytetystä energiasta voidaan tuottaa itse.

Kallistuskulma (*inclination*) on aurinkopaneelien kallistuskulma suhteessa vaakatasoon.

Mikroinvertteri muuntaa 1...2 aurinkopaneelin tuottaman tasasähkön suoraan vaihtosähköksi.

Mikrotuotannolla tarkoitetaan alle 100 kVA voimaa. 1 voltti-amppeeri vastaa 1 wattia.

MPPT, *Maximum Power Point Tracking* eli maksimitehopisteen seuranta, on verkkoinvertterin toiminto, joka jatkuvasti etsii aurinkovoimalan parhaimman tehon tuottavaa kuormitusta eli suurimman tehon antavaa pistettä ominaiskäyrältä.

Oma käyttö tarkoittaa sitä osaa tuotetusta aurinkosähköstä, joka saadaan kulutettua samassa kiinteistössä.

Ominaiskäyrä kertoo millä virran ja jännitteen arvoilla paneeli voi toimia.

Pientuotannolla tarkoitetaan 100 kVA...2 MVA voimaloita.

String on paneeliketju, joka muodostuu useasta sarjaan kytketystä aurinkopaneelist.

Suuntakulma (*azimuth*) tarkoittaa aurinkopaneelien suuntausta suhteessa etelään.

Verkkoinvertteri eli vaihtosuuntaaja muuttaa aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön kulutukseen ja verkkoon syötettäväksi vaihtosähköksi.

Wattipiikkiteho (W_p), teho jonka aurinkopaneeli tuottaa standarditestiolosuhteissa, joissa auringon säteilyenergia on 1000 W/m^2 , lämpötila 25°C ja auringon spektriin vaikuttava ilmassa AM 1,5.

3 AURINKOSÄHKÖTEKNOLOGIA RAKENNUKSEN OSANA

Rakennukset ja varsinkin niiden katot ovat hyviä sijoituspaikkoja aurinkopaneeleille. Aurinkosähköteknologian integroiminen osaksi rakennuksen arkkitehtuuria vaatii huolellista suunnittelua, jotta kokonaisuudesta tulisi luonteva ja eheä.

Yksinkertaisinta on sijoittaa laitteet tasakatoille telineisiin tai asentaa ne harjakatoissa lappeen mukaisesti. Aurinkopaneelit voivat korvata tai yhdistyä johonkin muuhun pintamateriaaliin tai rakenneosaan ja olla osa rakennuksen ulkoarkkitehtuuria.

Aurinkopaneelit voivat esimerkiksi:

- toimia osana vesikattojärjestelmää
- korvata julkisivumateriaaleja ja olla osa julkisivusommitelmaa
- toimia parvekekaiteissa näkösuojina
- toimia parvekkeiden ja terassien varjostavina valokatteina
- toimia autokatoksissa näkösuojina ja katteina mahdollistaen samalla sähköautojen lataamisen.

Aurinkopaneelien sijoittaminen viherkatolle yhdistää energiantuotannon hulevesien hallintaan ja luonnon monimuotoisuuden tukemiseen. Viherkatto viilentää katon mikroilmastoa ja parantaa näin aurinkopaneelien hyötysuhdetta. Suunnittelussa tulee tarkistaa paneelien asento ja valonläpäisevyys riittävän valonsaannin varmistamiseksi valitulle kasvustolle ja huolehtia siitä, ettei kasvillisuus pääse varjostamaan paneeleja. Viherkattoja käsittelee tarkemmin RT 85-11203, *Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet*.



Kuva 2. Aurinkosähköpaneelleja integroituina rakennusten julkisivuihin.



Kuva 3. Viherkatoissa kasvilajit valitaan niin, että kasvillisuus ei aiheuta paneelien varjostusta.



Kuva 4. Aurinkopaneelit toimivat parvekkeen valokatteena, vertaa kuva 1.

3.1 Aurinkoenergia vanhassa rakennuskannassa

Aurinkoenergian hyödyntäminen on tehokas tapa leikata olemassa olevan rakennuskannan energiankulutusta ja päästöjä. Asennukset voivat kuitenkin näyttää vierailta vanhoissa rakennuksissa ja huolimattomasti sijoitettuna jopa pilata rakennuksen arkkitehtonisen ilmeen.

Kun aurinkopaneelisto sijoitetaan olemassa olevan rakennuksen katolle:

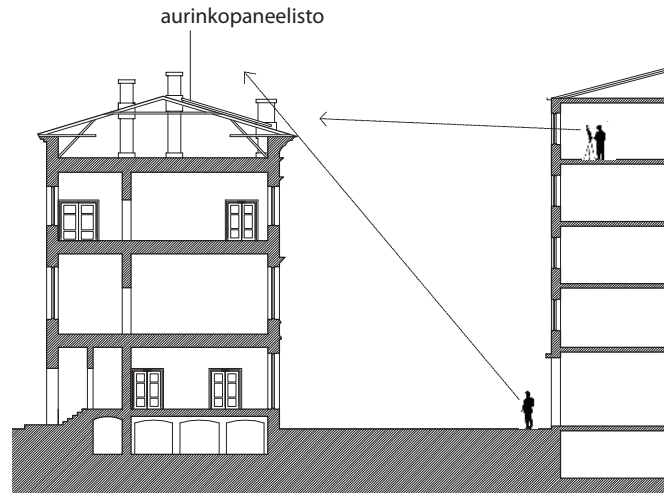
- kartoitetaan ympäristön ja katon varjostavat rakenteet ja muut elementit
- selvitetään kattorakenteiden kestävyys ja aurinkopaneelien asennuksen tuoma lisäkuorma; aurinkopaneelit painavat kiinnikkeineen, telineineen ja tarvikkeineen noin 10...15 kg/m², lisäksi tasakatolla tarvitaan ns. kelluvan asennuksen yhteydessä myös betonipainoja
- selvitetään laitteiden ja kaapelien vaikutus palo-osastointiin sekä vaikutus pelastustoimen pääsyyn ullakolle
- selvitetään aurinkopaneelien vaikutus katon huolettavuuteen sekä katon takuuseen
- jätetään harjan ja laitteiden väliin riittävä (noin 1 m) kulku-tila kattosillalle ja paneelien huoltoa varten sekä laitteiden ja räystäään väliin riittävästi tilaa (1,5 m) muun muassa lumitöille.

Aurinkopaneelien sijoittamien suojeltujen tai kaupunkikuvallisesti merkittävien rakennusten yhteyteen vaatii erityisen huolellista suunnittelua:

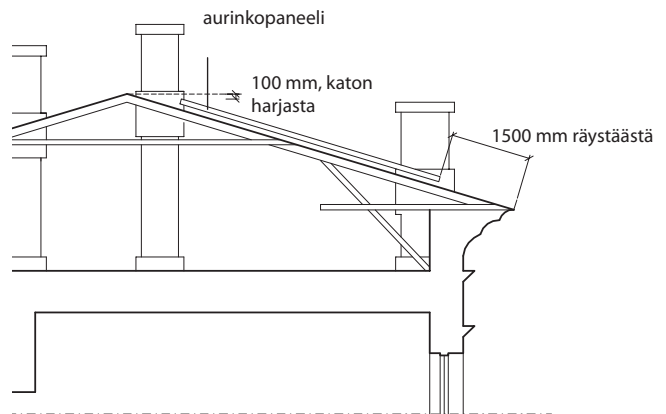
- laitteiden sijoittelua tutkitaan olennaisista tarkastelusuunnista ja varmistetaan, että paneelit häiritsevät kokonaisuutta mahdollisimman vähän
- laitteet sovitetaan rakennuksen ja rakenteiden mittakaavaan, eivätkä ne saa estää rakenteiden myöhempää korjaamista tai vaikuttaa niiden kestävyYTEEN
- paneelit sijoitetaan lappeensuuntaisesti, ja jos paneelit jaetaan useampaan kenttään, ne sijoitetaan yhtä etäälle harjasta ja linjaan keskenään
- sijoitetaan kattomuotoa myötäillen, jolloin huomioidaan esimerkiksi mansardikatoilla eri kallistuskulmaan tulevat paneelit ja kytketään ne omaan sarjaansa ja MPPT:hen invertterillä.

Kaapelin viedään sähkökeskukseen huomaamattomasti joko käyttämättömässä hormissa tai muussa kanavassa tai käyttäen katemateriaalikohtaisia läpivientikappaleita. Läpiviennillä päästään ullakkotilaan, jossa voidaan hakea reitti keskukselle. Käytettäessä vapaata hormia tulee varmistaa, ettei sitä oteta tulisijakäyttöön ja etteivät läheiset hormit kuumenna sitä. Jos vienti joudutaan tekemään pintavetona julkisivulla, kaapelit pyritään sijoittamaan jo olemassa olevan talotekniikan yhteyteen, esimerkiksi talotikkaan taakse. Tällöin tulee huolehtia kaapelien riittävästä suojaamisesta.

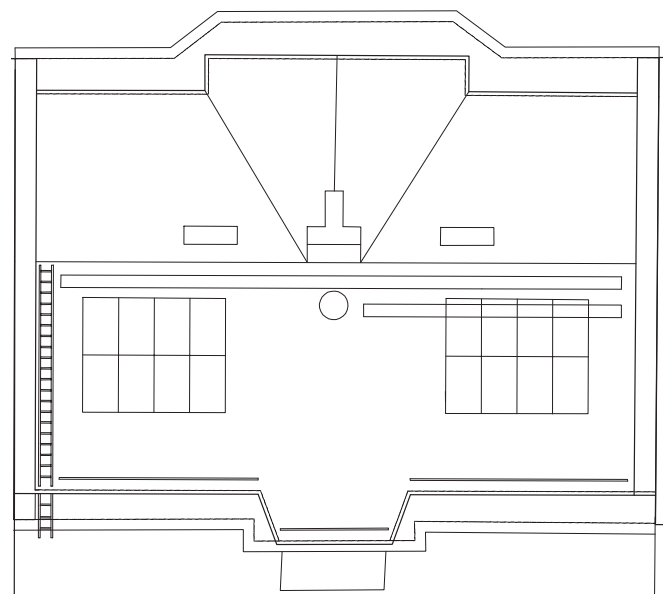
Paneelit saattavat myös aiheuttaa häiritseviä heijastuksia tai häikäisyä naapuritaloihin. Naapureiden kanssa on hyvä keskustella hankkeesta.



Kuva 5. Tutkielma aurinkopaneelien näkymisestä ja heijastuksista arvokiinteistön katolla.



Kuva 6. Periaatekuva aurinkopaneelien sijoittamisesta vanhan rakennuksen vesikatolle, leikkauskuva.



Kuva 7. Periaatekuva aurinkopaneelien sijoittamisesta vanhan rakennuksen vesikatolle, kattokuva.

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ovat:

- aurinkopaneelit
- kiinnitysjärjestelmä
- kaapelointi
- verkkoinvertteri
- erotuskytkin.

Aurinkopaneeleilla auringon säteilyenergia muutetaan tasa-sähköksi. Tasa-sähkö muutetaan verkkoinvertterillä vaihtosähköksi, jonka jälkeen sitä voidaan hyödyntää kiinteistön sähkö-laitteissa ja myydä yli jäävä osuus sähköverkon kautta.

4.1 Aurinkopaneeli

Aurinkosähköpaneeli koostuu aurinkokennoista. Yksittäinen kenno on puolijohdediodirakenne, joka muuttaa absorboimansa auringon säteilyenergian tasavirraksi. Valmistusteknologiaa ja -materiaaleja on lukuisia.

Piipohjainen teknologia pohjautuu kiteiseen piihin. Paneelit koostuvat sarjaan kytketyistä kennoista. Alatyyppeinä näissä paneeleissa ovat yksikiteinen ja monikiteinen pii. Yksikiteinen pii on hyötysuhteeltaan parempi, mutta kalliimpi valmistaa. Tätä kirjoitettaessa vallitsevana teknologiana ovat kiteiseen piihin perustuvat paneelit noin 90 % markkinaosuudella.

Kiteinen piikenno on paksuudeltaan 160...240 µm ja hauras, joten se tarvitsee ympärilleen suojaavan rakenteen. Piikennot ja kytkentälangat tyhjiölaminoidaan lasilevyn ja taustakalvon väliin ja suojataan alumiinikehyksellä. Paneeli voidaan myös laminoida kahden lasilevyn väliin ilman kehystä.

Paneeli voi olla myös kaksipuoleinen, jolloin toinen puoli ottaa vastaan vaaleasta alustasta heijastuvaa valoa, tai se voidaan asentaa vertikaaliasentoon itä-länsi-asennuksena, jolloin paneelin huipputuotto kohdistuu aamun ja illan tunteihin.

Ohutkalvotekniikka sisältää lukuisia alatyyppejä. Yleisimpiä ovat amorfinen pii, CdTe (*Cadmium-telluride*) ja CIGS (*Copper-iridium-gallium-diselenide*). Niistä voidaan valmistaa lasipaneelien lisäksi joustavia aurinkopaneeleja, jolloin ne eivät ole yhtä herkkiä kuljetus- tai asennusvaurioille kuin kiteisestä piistä valmistetut paneelit. Ohutkalvopaneelit eivät varjossa menetä tuottoa niin paljon kuin kiteisestä piistä valmistetut paneelit.

Orgaaniset ja väriainepohjaiset aurinkokennot edustavat uusia teknologioita. Paneeleja voidaan valmistaa painamalla tai tulo-
stamalla, mikä voi olla hyvin kustannustehokasta. Suurimmat ongelmat liittyvät kennojen pitkän aikavälin kestävyys-
teen, joten ne eivät ole vielä varteenotettava vaihtoehto rakennuksissa.

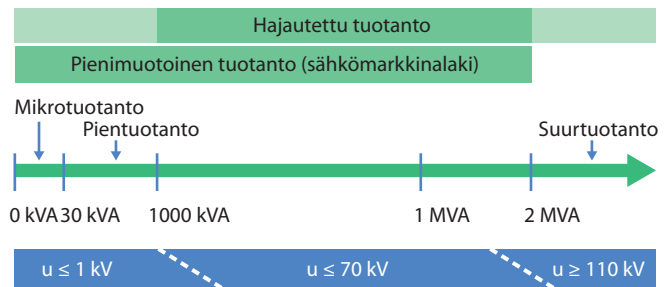
4.2 Verkkoinvertteri

Kiinteistökäytön aurinkopaneelit tuottavat yleensä 30...40 V tasajännitettä. Matalaa jännitettä ei ole tehokasta muuttaa 230 V vaihtojännitteeksi, vaan paneeleja kytketään sarjaan, jolloin ketjun (*string*) jännite nousee vaihtosuuntauksen kan-
nalta edullisemmalle jännitealueelle. Yksittäisen ketjun eni-
mäisjännite ei saa ylittää verkkoinvertterin sisääntulon eni-
mäisjännitettä.

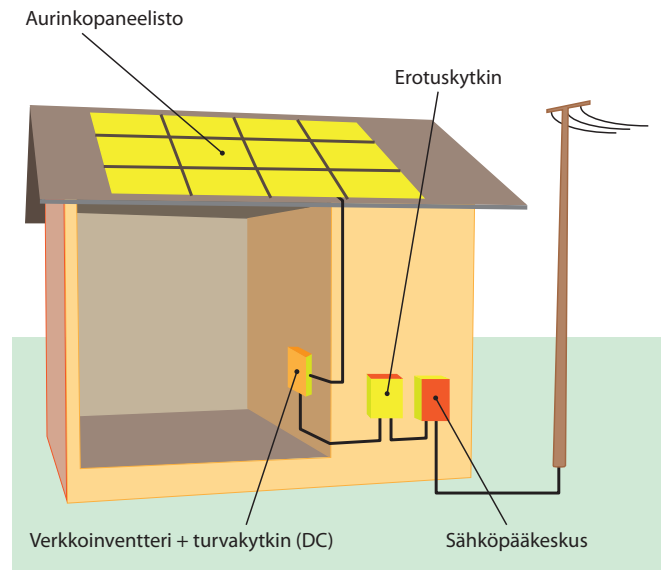
Pienikiinteistöjen verkkoinvertterit voidaan jakaa liitettävyy-
den, sijoituspaikan ja hallittavuuden mukaan:

- 3-vaiheisiin verkkoinverttereihin, joilla saadaan aurinkosähkö jaettua tasaisesti eri kulutuslaitteille ilman rakennuksen sähkökytkentöjen muutoksia
- 1-vaiheisiin verkkoinverttereihin, joilla tuotto saadaan pie-
nen kulutuksen kiinteistössä kuormanohjausautomaatiikalla
tehokkaammin omaan käyttöön; tärkeimmät 1-vaiheiset
kuormat ovat samassa vaiheessa verkkoinvertterin kanssa.

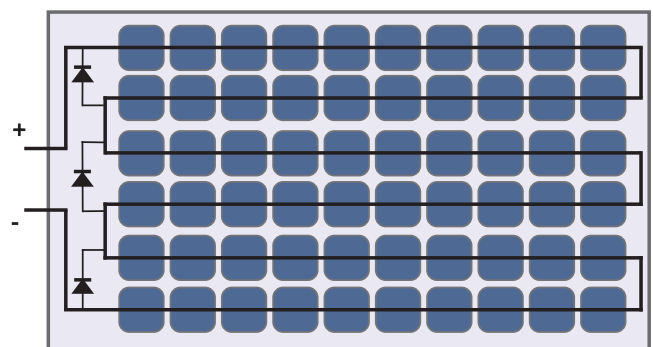
Verkkoinvertterimallit eroavat toisistaan myös sisääntulojen ja maksimitehopisteen seurannan (MPPT) määrän suhteen.



Kuva 8. Aurinkosähköjärjestelmien luokittelu tehon mukaan.



Kuva 9. Aurinkosähköjärjestelmän rakenne.



Kuva 10. Aurinkopaneeli koostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennois-
ta. Ohitusdiodin avulla varjossa olevat kennorivit ohitetaan tarvitta-
essa, jolloin ko. lohkon aiheuttama tehohävikki minimoituu. Yhden
paneelin ulostuloteho on tyypillisesti muutamia satoja watteja,
joten aurinkopaneeleita kytketään toisiinsa riittävän ulostulotehon
saamiseksi.

Perusinverterissä voi olla vain yksi MPPT-piiri, joten kaikkien siihen liitettävien paneelien tulee olla samaa tyyppiä ja samassa kaltevuuskulmassa sekä suunnattu samaan ilmansuuntaan. Jos invertteriin halutaan liittää kaksi itsenäistä paneeliketjua, valitaan invertteri, jossa on kaksi MPPT:tä. Tällöin molempien paneeliketjujen tuotto saadaan optimoitua.

Mikroinvertterit edustavat hajautettua tekniikkaa, jolloin 1...2 paneelia varustetaan omalla invertterillä. Haittana ovat yksikkökustannukset ja potentiaalisten huoltokohteiden suuri määrä. Mikroinverttereitä käytetään lähinnä omakotitaloissa. Mikroinvertterien on täytettävä standardin EN50438 vaatimukset.

DC-optimoija edustaa string-invertterin ja mikroinvertterin välimuotoa. DC-optimoija käytetään katoilla tai maa-asennuksessa, jossa on varjostumia aiheuttavia esteitä. Aurinkopaneelin kytkentärasiaan on integroitu tai erilliseen lisärasiaan (toimii myös jälkiasennuksena) lisätty DC-DC-säätöelektronikka, joka sisältää paneelikohtaisen MPPT:n ja tuoton seurannan. Seurantatieto välitetään invertterille, josta tuottotiedot voidaan siirtää etävalvontaan. Järjestelmällä saadaan samat edut kuin mikroinvertterillä, mutta yksikkökustannus ei nouse yhtä korkeaksi. Järjestelmä alentaa jännitteen ihmiselle vaarattomalle tasolle hätätilanteessa, mutta järjestelmässä ei ole SFS 6000-standardin hyväksymää suojausmenetelmää jännitteettömäksi tekemisessä. Tähän tarvitaan erillinen DC-erotuskytkin

Suurissa aurinkovoimaloissa voidaan käyttää joko lukuisia string-kohtaisia inverttereitä tai keskusinverttereitä.

String-invertteriä käytettäessä voimala muodostuu suuresta määrästä pienempiä voimaloita, jotka kytketään rinnan. Menetelmän etuna keskusinvertteriin nähden on yksinkertaisempi kaapelointi, hajautetumpi valvonta ja optimointi sekä parempi vikasietoisuus.

Keskusinvertterijärjestelmässä useat paneeliketjut yhdistetään yhteen keskusinvertteriin DC-rinnankytkentäkeskusten kautta. Etuna tässä on string-invertteriin nähden pienemmät häviöt, edullisemmat kaapeli- ja laitekustannukset sekä huollon keskittyminen yhteen tai muutamaan invertteriin. Keskusinvertteriä käytetään yleensä vain suurissa aurinkopuistoissa, joissa ei ole varjostuksista tai suuntauksen eroista aiheutuvaa osaoptimoinnin tarvetta. Myös DC-rinnankytkentäkeskus voidaan varustaa string-kohtaisella tuoton seurannalla, jolloin voimalan tuotannon tarkka etäseuranta on mahdollista.

Valinta string- ja keskusinvertterin välillä perustuu tapauskohtaiseen kustannus-, huoltovarmuus- ja tuottoanalyysiin.

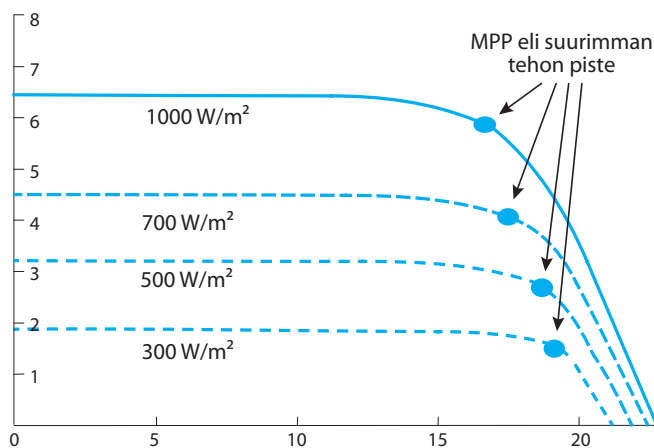
4.3 Akusto

Aurinkosähkövoimalaan voidaan kytkeä akut, jotka toimivat lyhytaikaisena varastona tuotetulle aurinkosähkölle. Pitkäaikainen, viikkoja tai kuukausia kestävä varastointi ei vielä nykyisin taloudellisesti kannattavaa. Tarvittava akkukapasiteetti määritetään kohdekiinteistön kulutusprofiiliin perustuen. Akustot sijoitetaan palo-osastoituun tekniseen tilaan, jossa on asianmukainen ilmanvaihto.

Akkutyypit ja -mallit poikkeavat toisistaan purkaussyvyyden ja lataussykliin määrän suhteen. Käytettävät akut ovat joko lyijy- tai litium-pohjaisiin teknologioihin perustuvia. Litium-pohjaisten aurinkoakkujen käyttöikä on käyttötavasta ja teknologiasta riippuen 10...20 vuotta, ja lyijyakuilla päästään alle puoleen tästä. Akut täytyy uusida useita kertoja aurinkosähköjärjestelmän käyttöiän aikana.

Omakotitalon aurinkosähköjärjestelmään liitettävä akusto on tyypillisesti kapasiteetiltaan 3...10 kWh. Oman käytön osuus jää tällöinkin alle 100 %, ja huipputuoton aikaan akun varaus tulee täyteen ja ylijäämä syötetään verkkoon.

Akut muodostavat suuren osan järjestelmän kokonaisinvestoinnista, eikä niiden lisääminen ole välttämättä taloudellisesti kannattavaa. Akkuteknologian ja -markkinoiden kehitys on kuitenkin nopeaa, joten hintojen laskiessa kannattavuus paranee.



Kuva 11. Aurinkopaneelin ominaiskäyriä eri säteilyintensiteeteillä. Maksimitehopistepiste osoittaa niitä virran ja jännitteen arvoja, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho kulloissakin käyttöolosuhteissa.



Kuva 12. Verkkoinvertteri. String-verkkoinvertterin hyötysuhde on tyypillisesti 95...98 % nimellisteholla. Hyötysuhde pysyy hyvänä myös osakuormilla.

5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun pohjaksi selvitetään kohteen aurinkoenergiapotentiaali. Aurinkoenergian enimmäismäärä voidaan selvittää auringon säteilyatlasta hyödyntämällä. Paikalliset varjostukset arvioidaan, mm. muiden rakennusten, kattorakenteiden ja talotekniikan laitteiden aiheuttamat varjot. Puusto voi aiheuttaa merkittävää varjostusta.

5.1 Paneelien sijoitus ja suuntaus

Paneelikenttä sijoitetaan katolle, julkisivuun tai sopivalle maa-alueelle. Rakennus, jonka katolle tai seinälle aurinkosähköjärjestelmä asennetaan, määrittää reunaehdot mahdollisille asennuskulmille ja -suunnille. Suoraan etelään osoittava noin 45° kaltevuuteen asennettu paneeli antaa parhaan energiantuotannon vuositason, mutta yli 90 % energiasta saadaan myös ilmansuunnilla kaakosta lounaaseen ja kaltevuuskulmilla 20°...60° (ks. taulukko 2). Julkisivuasennuksessa tuotto voi olla 25 % pienempi ja paneelit voivat olla alttiimpia varjostukselle.

Itä-länsi-järjestelmässä puolet paneeleista on suunnattu itään ja puolet länteen. Järjestelmästä saadaan jonkin verran vähemmän energiaa kuin etelään suuntaamalla, mutta tuotanto jakautuu tasaisemmin päivän aikana. Lappeiden kallistuskulmaa pienentämällä tuottoa saadaan paremmin keskipäivällä. Pientaloissa energiankäyttö on usein illalla suurinta, jolloin länteen suunnatulla paneelilla voidaan parantaa tuotannon omakäyttöä.

Kattopinta-alaa järjestelmä vaatii kilowattia kohti noin 6 m² katon lappen tasoon asennettuna ja 10 m² tasakattoasennuksena, olosuhteista, ilmansuunnista ja kattokaltevuuksista riippuen. Esimerkiksi omakotitalon pieni kolmen kilowatin nimellistehoinen järjestelmä vie kattopinta-alaa 18 m² (lapeasennus) tai 30 m² (tasakattoasennus). Tasakattoasennuksessa kallistetut paneelirivit asennetaan harvempaan, jotta ne eivät varjosta toisiaan. Paneelien sijoituksessa otetaan huomioon mahdollinen lumen poisto ja laitteiden pesu.

5.2 Varjostukset

Kaikki aurinkopaneelityypit ovat herkkiä varjostuksen aiheuttamalle tehohäviölle ja paneeleita sijoitettaessa tulee varjostavat elementit aina ottaa huomioon. Herkimpiä varjostukselle ovat kiteisestä piistä valmistetut paneelit. Paneelien sisäisestä kytkennästä johtuen ne ovat erityisen herkkiä lyhyen sivun suuntaisille varjoille. Jos lyhyen sivun yksi kennorivi on varjossa, romahtaa paneelin tehon tuotto nolnaan.

Aurinkopaneelien ohitusdiodeilla pyritään vähentämään varjostuksen aiheuttamaa tehohävikkiä. Ohitusdiodilla varjossa oleva paneelilohko ohitetaan, jolloin sen aiheuttama tehohävikki minimoituu. Paneelikohtaisia MPPT:tä käyttämällä (mikroinvertterit ja DC-optimoijat) varjostuksen haittoja voidaan myös minimoida.

Tehontuoton kannalta varjostavat elementit voidaan jakaa koviin ja pehmeisiin niiden tuottaman varjostuksen mukaan. Kovat varjot ovat tehonlaskun kannalta kriittisempiä kuin pehmeät.

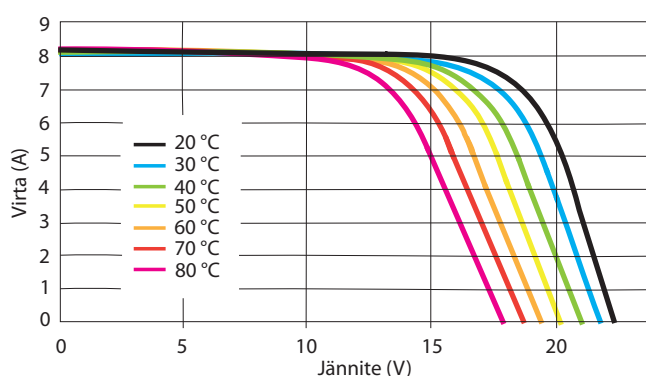
Kattoasennuksissa varjostavia elementtejä ovat savupiiput, viemärin tuuletukset, kattovarusteet, kattojiirit ja kattolyhdyt, ilmanvaihtokanavat, huippuimurit, jäähdytyskoneet ja muu talotekniikka, jotka katselmoidaan järjestelmän suunnittelun aluksi. Varjostava elementti voi olla myös liian lähelle asennettu toinen paneelirivi. Rakennuksen ulkopuolisia varjostuksen aiheuttajia ovat puut ja naapurirakennukset.

Uudiskohteissa varjostusta aiheuttavat ja asennusta vaikeuttavat kattoläpiviennit pyritään sijoittamaan aurinkosähköjärjestelmän kannalta suotuisasti, esimerkiksi pohjoisen puolen lappeelle.

Suunnitteluohjelmistoilla voidaan paneelijärjestelmästä rakentaa 3D-malli, jolla eri vaihtoehtojen varjostuksen aiheuttamaa tehon menetystä voidaan simuloida.

Taulukko 1. Etelään suunnatun 1 kW nimellistehoisen aurinkosähköjärjestelmän vuosituotanto eri puolilla Suomea eri kallistuskulmilla. Mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä paremmin pystyasennus etelään suunnattuna tuottaa energiaa.

Paikka-kunta	15°	35°	60°	optimi-kulma	tuotanto optimi-kulmassa
Helsinki	811 kWh	869 kWh	837 kWh	40°	872 kWh
Jyväskylä	754 kWh	816 kWh	793 kWh	42°	821 kWh
Rovaniemi	709 kWh	790 kWh	790 kWh	47°	802 kWh



Kuva 13. Lämpötila vaikuttaa aurinkopaneelin sähköntuottoon, joten tuuletustilan järjestäminen paneelin taakse voi olla tarpeen. Kaavio esittää esimerkkipaneelin ominaiskäyrää eri lämpötiloissa.

Taulukko 2. Suuntaa antavia esimerkkejä aurinkopaneelin sijoittamisen vaikutuksesta sen lämpötilaan ja vuosituotantoon. Tuuletusraon koko ja katon/julkisivun väri vaikuttavat tuottoon. Kattoon integroidussa asennuksessa kaapeleiden suhteen on oletusarvoisesti huomioitava +70 °C ympäristön lämpötila.

	Asennustapa	Paneeliston lämpötila	Tuotanto
	Maa-asennus, ilma kiertää vapaasti	+ 35 °C	●●●●
	Kattoasennus, paneeliston ja katon välissä tuuletustila	+45 °C	●●●
	Kattoon integroitu asennus, niukka tuuletustila	+65 °C	●
	Julkisivuasennus, niukka tuuletustila	+ 55 °C	●●

5.3 Järjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen vaikuttavat

- kiinteistön sähkönkulutusprofiili, myös viikonloppuisin ja erityisesti kesällä
- kiinteistön päiväkäytön aikainen pohjakuorma, jota mitoituksen tulisi vastata, jos ei haluta tuottaa sähköä yli käyttötarpeen
- käytettävissä oleva pinta-ala ja varjostusolosuhteet
- ostosähkön hinta
- myytävästä sähköstä saatava hinta
- järjestelmän yksikköhinta
- tavoiteltu energiaomavaraisuusaste
- tavoitteena oleva E-luku
- kiinteistön maantieteellinen sijainti.

Sähköstä mahdollisimman suuri osuus tulisi saada kiinteistön omaan käyttöön, jolloin tuotetusta sähköstä saadaan paras taloudellinen hyöty ja järjestelmän takaisinmaksuaika lyhenee. Verkkoon syötetystä ylijäämäsähköstä maksetaan yleensä pohjoismaisen pörssisähkön hintaan sidottu korvaus, joka aurinkosähkön tuotantohuipun aikaan on suuruudeltaan yleensä alle puolet ostosähkön kokonaishinnasta. Lisäksi pienessä järjestelmässä yksikköhinta (€/kWp) on korkeampi kuin isossa järjestelmässä. Tarkoituksena onkin löytää kohteen optimipiste yksikkökustannuksen ja oman käytön suhteen.

Aurinkosähköjärjestelmän tehon tärkein mitoittava tekijä on kiinteistön sähkön kulutus aurinkosähkön huipputuoton aikana kesällä. Aurinkosähköä saadaan pääosin ajanjaksolla maaliskuusta syyskuuhun parhaan tuoton osuessa huhti–elokuuhun, jolloin mahdollisimman suuri osa sähköstä otetaan kiinteistön omaan kulutukseen. Tarkka tieto oikeasta järjestelmäkoosta ja kannattavuudesta saadaan tuntipohjaisen analyysin avulla.

Oman käytön osuutta voidaan jossain määrin kasvattaa kytkemällä suurempia kulutuslaitteita (lämmivesivaraajat ja jäähdytyslaitteet) päälle aurinkosähkön saatavuuden mukaan. Jäähdytys on hyvä tapa käyttää auringolla tuotettua sähköä, sillä jäähdytyksen kulutushuiput osuvat hyvin yksin aurinkosähkön tuottohuippujen kanssa. Verkkoinvertertivalmistajilla on tarjolla laiteratkaisuja automaattiseen kuormien kytkennän toteutukseen. Suurissa kiinteistöissä kytkeminen voidaan toteuttaa myös osana kiinteistön automaatiojärjestelmää.

Energiaomavaraisuuden lisääminen voi myös olla aurinkosähköjärjestelmän mitoitusperuste. Tällöin tavoitteena ei ole maksimoida sijoituksen tuottoa, vaan aurinkosähköllä pyritään korvaamaan mahdollisimman suuri osa ostosähköstä. Tällöin oman käytön aste laskee ja verkkoon syötetyn sähkön määrä kasvaa.

Verkkoinverterti mitoitetaan siihen kytkettävän paneeliketjun ominaisuuksien mukaan siten, että sen MPPT:n toiminta-alue ei ylitä aurinkopaneelien maksimituoton aikana tai alitu matalan säteilytehon aikana. Maksimituoton osalta tämä voidaan tarkistaa laskemalla verkkoinvertertiin kytkettyjen paneelien maksimijännite 1000 W/m² säteilyteholla -10 °C lämpötilassa. Heikon säteilyn toimintaedellytysten varmistamiseksi lasketaan paneelien tuottamaa maksimijännitettä 100 W/m² säteilyteholla 30 °C lämpötilassa ja verrataan tulosta verkkoinverterin MPPT:n toiminta-alueen alarajaan.

5.4 Lupaprosessi

Aurinkosähköjärjestelmiä suunnittelun aluksi selvitetään paikalliset lupakäytännöt rakennusvalvontavirastosta. Omakotitaloissa järjestelmä voi vaatia toimenpideilmoituksen, toimenpideluvan tai ei kumpaakaan, asuinkunnasta riippuen. Lupahakemuksen liitteeksi ei aina tarvita piirustuksia.

Suuret tai kaupunkikuvan tai ympäristön kannalta merkittävät aurinkosähköjärjestelmät edellyttävät maankäyttö- ja rakennuslain mukaista toimenpideluvan hakemista. Tällöin hankkeeseen tulee nimetä pääsuunnittelija ja vastaava työnjohtaja. Liitteeksi vaadittavat suunnitelmat selviävät rakennusvalvonnan kanssa käytävissä neuvotteluissa.

Simulointi

Aurinkosähköjärjestelmä ja olosuhteet muodostavat monimutkaisen kokonaisuuden jatkuvasti vaihtelevista säteilytehosta ja kulutuksesta johtuen. Järjestelmän tarkka optimointi onnistuu vain suunnitteluohjelmistoilla, joilla vaihtoehtoisia toteutuksia voidaan simuloida. Simulointiohjelmiston raja-arvojen asetukset tulee varmistaa oikeiksi.

Simulointiin tarvitaan

- kiinteistön todellinen tuntitason sähkönkulutusprofiili sähköyhtiöltä
- sähkön myynti- ja ostohinta
- järjestelmän kiinteät ja muuttuvat kustannukset
- kohteen paikalliset auringon säteilytiedot säätietokannasta
- tiedot järjestelmän komponenteista aurinkopaneeli- ja verkkoinvertertietokannasta
- tieto kohteeseen sopivasta kytkennästä
- tiedot varjostavista elementeistä, jotka huomioidaan joko yksinkertaisella vektorimallilla tai yksityiskohtaisella 3D-mallilla, simulointiohjelmiston ominaisuuksista ja tavoiteltavasta tarkkuudesta riippuen.

Simuloinnissa lasketaan ennuste järjestelmän tuotolle vuoden jokaiselle tunnille. Tuloksen perusteella saadaan selville järjestelmän tuottama energia, oman käytön aste, pääoman tuotto ja takaisinmaksuaika. Parametrejä muuttamalla voidaan hakea kohteeseen optimaalisen tuloksen tuottavaa kokoonpanoa.

5.5 Rakennustyyppien tarkastelua

Pientalojen sähkön kulutukselle on tyypillistä voimakas ajallinen vaihtelu. Kun samanaikaisesti myös aurinkoenergian saatavuus vaihtelee päivittäisestä säätilasta ja kellonajasta riippuen, on 100 % oman käytön osuutta käytännössä mahdoton saavuttaa ilman järjestelmän alimitoitusta. Oikein mitoitettulla järjestelmällä käyttäen kesäaikaan sähköä kuluttavia laitteita, esimerkiksi jäähdytyslaitteita, voidaan oman käytön osuudessa päästä 50...80 % tasolle. Tätä korkeampi oman käytön osuus edellyttää yleensä aurinkoenergian saatavuuden mukaan automaattisesti päälle kytkeytyviä kuormia tai järjestelmään kytkettyä akustoa. Ylimitoitettussa aurinkoenergiajärjestelmässä oman käytön osuus voi jäädä alle 30 % tuotetusta sähköstä.

Järjestelmän oikeaa tehoa voidaan arvioida tarkastelemalla aurinkoisen kesäpäivän sähkönkulutuksen tuntikeskiarvoja. Kun tarkasteltava ajanjakso on yhden tunnin mittainen, antaa kulutusseurantaraportin kilowattituntiarvo suoraan järjestelmän kilowattitehon vertailuarvon kyseisenä tuntina.

Paneeliston suuntauksella ja kaltevuuskulmalla voi olla vaikutusta oman käytön osuuteen. Periaatteena on, että etelästä itään päin olevilla suuntauksilla tuotanto painottuu aamupäivään ja etelästä länteen suuntauvilla iltapäivään. Vastaavasti kaltevuuskulman kasvattaminen tehostaa kevään/syksyn tuotantoa ja heikentää kesän tuotantoa. Loivaan kulmaan asennetut paneelistot tuottavat parhaiten kesällä auringon paistaessa korkealta.

Asuinkerrostaloissa aurinkosähkön hyödynnettävyys riippuu kulutusprofiiliin lisäksi kulutuksen mittaroinnin toteutustavasta. Parhaiten aurinkosähköä voidaan hyödyntää sellaisessa järjestelmässä, jossa kiinteistöllä on yksi yhteinen sähkösopimus ja huoneistokohtainen kulutus mitataan alamittaroinnilla. Tällöin kaikki huoneistot voivat hyödyntää aurinkosähköä kaikkeen kulutukseensa.

Jos asunnot on varustettu huoneistokohtaisella sähkömittarilla ja jokaisella huoneistolla on oma sähkösopimus, katsotaan huoneistosähkö verkon kautta syötetyksi, jolloin siitä maksetaan siirtomaksu ja sähkövero. Tällöin aurinkosähköä voidaan kannattavasti hyödyntää vain yhteiskäyttötilojen valaistus- ja laitesähköön. Kesäaikaan sähköä kuluttavat yhteiset laitteet, kuten lämpöpumpit tai jäähdytys, parantavat aurinkosähkön kannattavuutta.

Ns. virtuaalimittaroinnissa ylituotto siirretään laskennallisesti huoneistoliittymään, jolloin vältytään tuotetun sähkön siirtomaksuilta ja verolta. Tämä ei tätä kirjoitettaessa voimassaolevan lainsäädännön mukaan ole vielä mahdollista.

Liike- ja toimistokiinteistöjen kulutusprofiilit poikkeavat asuinkiinteistöjen profiileista. Esimerkiksi toimistojen viilennys tai päivittäistavaroiden vähittäiskaupan kiinteistöissä kylmäkoneet muodostavat suuren osan kokonaiskuormasta. Kun jäähdytyksen kulutushuippu osuu yleensä yksiin aurinkosähkön tuottohuipun kanssa, päästään jo muutaman kymmenen kWp-järjestelmällä korkeaan oman käytön asteeseen. Tarkkaan järjestelmän optimointiin päästään tässäkin tapauksessa tuntitason kulutustietoon perustuvalla simuloinnilla, sillä eri toimialoilla kulutusprofiilit voivat poiketa huomattavasti toisistaan. Sähköautojen lataamismahdollisuus voi olla yksi mitoitusperuste.

Koulukiinteistössä aurinkoenergian hyödynnettävyyteen vaikuttaa kesäajan käyttöaste. Jos kiinteistön käyttö kesäkausiina on vähäistä aurinkoenergian tuoton ollessa korkeimmillaan, järjestelmä mitoitetaan niin, että pääosa energiasta saadaan kulutettua ilmanvaihdon ja muun talotekniikan pohjakuormalla.

Terveystenhuollon palvelukiinteistöissä on kiinteistön käyttöaste on yleensä korkea ympäri vuoden. Jos kiinteistössä on käytössä jäähdytys, paranee hyödynnettävyys edelleen. Erityisen tärkeitä kesäinen jäähdytys on hoitolaitoksissa, joissa on vanhuksia tai muita riskiryhmiä.



Kuva 14. Aurinkopaneelien integroiminen osaksi rakennuksen arkkitehtuuria on vaativaa. Parhaimmillaan paneelit voivat korvata jonkin muun pintamateriaalin tai rakennusosan. As oy Helsingin Salviassa aurinkopaneelit korvaavat lasisten parvekekaiteiden näkösuojina toimivat umpiosat (Arkkitehti Reijo Jallinoja, 2003).



Kuva 15. 90 kW:n aurinkovoimala teollisuusrakennuksen katolla. Suuret tasakatot esimerkiksi liike- ja teollisuusrakennuksissa soveltuvat hyvin aurinkosähkön tuotantoon. Ne ovat valmiiksi tasaisia, ja usein aurinko paistaa niille esteettä. Sähkö voidaan usein käyttää paikallisesti mm. kesäajan jäähdytykseen. Katon rakenteet sekä tarve mahdollisille lumitöille huomioidaan suunnittelussa ja asennuksessa.



Kuva 16. Parkkitalon katolle tai autosuojan katteeseen sijoitetuilla paneeleilla voidaan tuottaa sähköä sähköautojen lataukseen. Työpaikoilla lataus tapahtuu aurinkosähkön huipputuoton aikaan.

6 PANEELIEN ASENNUS

Rakennus tai muu sijoituspaikka määrittää reunaehdot asennuskulmille ja -suunnille. Suoraan etelään osoittava noin 45° kaltevuuteen asennettu paneeli antaa parhaan energian tuoton vuositason, mutta maksimituotosta yli 90 % saadaan ilman-suunnilla kaakosta lounaaseen ja kaltevuuskulmilla 20°...60°. Paneelien asennuksessa huomioidaan:

- suuntaus
- kallistuskulma
- varjostavat elementit
- luotettava kiinnitys
- läpivientien vesitiiviys
- huollettavuus
- tuulikuormat
- lumikuormat (laitteet voivat lisäksi kerätä lunta), lumenpoisto katolta (työskentely ja lumen varastointi)
- asennus ei saa estää veden poistumista katolta tai aiheuttaa vettä kerääviä painumia kattomateriaaliin.

Asennuksessa saa käyttää vain kyseessä olevaan tarkoitukseen suunniteltuja ja valmistajan tai maahantuojaan paneeli-tyypille hyväksymiä kiinnikkeitä ja kannatusosia. Urakan pilkkomista osaurakoihin tulee välttää, jotta sama taho vastaa sekä paneelien että verkkoinvertterin asennuksesta. Tiedon kulku eri suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä on varmistettava.

6.1 Asennus katolle

Aurinkoenergiajärjestelmän tyypillisin asennustapa on asentaa paneelit katolle asennettavan kiinnitysjärjestelmän päälle. Uudiskohteissa pyritään sijoittamaan varjostusta aiheuttavat ja asennusta vaikeuttavat kattoläpiviennit (piiput, viemärit, tuuletukset, jne) pois auringon edestä, esimerkiksi pohjoisen puolen lappeelle.

Kiinnitysjärjestelmän materiaalien tulee kestää säärasitusta ja mekaanista kuormitusta:

- alumiini- ja teräsrakenteet ovat lähtökohtaisesti kestäviä, komponenttien galvaaninen yhteensopivuus tulee tarkistaa korroosion välttämiseksi
- muovista valmistettuja kiinnitysjärjestelmiä tai niiden osia valittaessa varmistetaan materiaalien pitkän aikavälin UV-valon ja pakkasen kestävyys
- puurakenteilla on vaikea saavuttaa vaadittavaa käyttöikää.

Metalliset ohutlevykatteet

Konesauma- ja lukkoponttiohutlevykatteet muodostavat hyvän alustan järjestelmän asentamiselle. Kiinnitysjärjestelmä voidaan yleensä asentaa ilman läpivientejä pystysaumaan puristuvilla kiinnikkeillä, jolloin asentaminen on nopeaa eikä vesivuotojen vaaraa ole. Vanhoissa konesaumakatoissa tulee varmistua saumarivien kiinnityksen riittävydestä, sillä paneelit lisäävät katteeseen kohdistuvaa tuulikuormaa. Tarvittaessa voidaan paneelientien päätyihin, missä tuulikuorma on suurin, asentaa kantavaan rakenteeseen kiinnittyviä katteen läpi meneviä apukiinnikkeitä. Tällöin tulee noudattaa erityistä huolellisuutta kiinnikkeiden kohdistamisessa kantaviin rakenteisiin ja syntyvän läpiviennin vesitiiviyn varmistamisessa laippaliitoksella ja soveltuvalla tiivistysmassalla.

Profiiliteräskatteille valmistetaan katekohtaisia kiinnikkeitä. Yleensä näissä kuorma vietään suoraan kantavaan alusrakenteeseen ja läpiviennin vesitiiviys valmistetaan tiivisteellisellä laipalla ja elastisella tiivistysmassalla. Kiinniketyypillä kohdistaminen tulee tehdä erityisen huolellisesti, sillä jos kiinnike ei osu kantavaan rakenteeseen, on vaarana että kattoon syntyy kiinnikkeen kohdalle vesivuoto.

Kantaville profiiliteräskatteille on olemassa myös katteen pinnalle asennettavia kiinnikkeitä, joissa ei ole alusrakenteeseen ulottuvaa osaa. Näitä käytettäessä on varmistettava, että ne on suunniteltu juuri kyseiselle kateprofiilille.



Kuvat 17. Konesauma- ja lukkoponttikatteille on saatavana myös ohutkalvotekniikkaan perustuvaa joustavaa aurinkopaneelia, joka liimataan suoraan peltikatteen pintaan. Vanhaan peltikatteeseen asennettaessa tulee varmistua että vanha pinnoite on riittävän hyvin kiinni alustassaan ja yhteensopiva joustavassa paneelissa käytetyn liiman kanssa. Asennusaikana ei pellin pinnassa saa olla kondenssin tai sateen aiheuttamaa kosteutta, vaan pellin pinnan tulee olla täysin kuiva.



Kuvat 18. Asennettu ohutkalvopaneeli asuinkerrostalon katolla Hangossa. Järjestelmään kuuluu harjalista, jonka alle jäävät paneelien kytkentärasiat ja DC-kaapelointi.



Kuva 19. Konesauma- ja lukkoponttipeltikatteelle sopiva kiinnike.

Tiilikatteet

Tiilikatteille käytetään erikoiskiinnikettä, joka siirtää aurinkopaneelien kuorman kantaviin rakenteisiin. Kiinnitysjärjestelmää asennettaessa määritetään kannatinkiskojen linjat, tarvittava kannatinmäärä ja jako. Tiilet, joiden kohdalle tulee kannatinjalka, poistetaan väliaikaisesti. Kannatinjalat kiinnitetään tukevasti kattokannattajiin, vähintään kahdella ruuvilla kannatinta kohti. Ruuvien tulee olla galvaanisesti yhteensopivia kannattimen materiaalin kanssa, jolloin ruostumattomiin teräskannakkeisiin asennettavien ruuvien tulee olla ruostumatonta terästä.

Kannattimia kiinnitettäessä varotaan vaurioittamasta aluskatetta.

Ennen irrotettujen kattotiilien asennusta takaisin niihin tehdään ura kannatinjalkaa varten. Ura tehdään kaikilta sivuiltaan noin 5 mm suuremmaksi kuin kannattimen poikkileikkaus, jotta kuormituksessa taipuva kannatin ei riko tiiltä.

Kermi-, PVC- ja huopakatteet

Kaltevien huopakattojen bitumikermeille on omat kiinnikkeensä, jotka vievät kuorman kantavaan rakenteeseen. Kiinnikkeessä on kumitiivisteellä varustettu laippa, joka varmistaa läpiviennin vesitiiviyyden. Se ei välitä kuormaa.

Kannakkeiden paikkoja suunniteltaessa määritetään huolellisesti kantavien rakenteiden sijainti ylimääräisten reikien välttämiseksi. Tiivistyslaipan vesitiiviyys varmistetaan UV-valon kestäväällä ja katteen materiaalin kanssa yhteensopivalla elastisella tiivistysmassalla. Veden virtaaminen tulee varmistaa tasakatoilla ja katoilla, joilla on kattokaivot.

Loivat bitumikermi- ja PVC-katteet ovat tyypillisiä teollisuuden ja kaupan kiinteistöissä. Aluksi on syytä selvittää, millaisia kuormia ja kiinnitysratkaisuja on hyväksyttävää käyttää ilman että katteen takuu raukeaa.

Yläpohjarakenteet voivat olla joko perinteisiä kantavia vesikattorakenteita tai käännettyjä rakenteita, jolloin kate lepää jäykän lämmöneristeen päällä. Asennusalueena nämä kaksi perustyyppiä eroavat toisistaan merkittävästi.

- Kiinteän kantavan alusrakenteen päälle aurinkopaneelikenttää voidaan kiinnittää vastaavilla asennustuotteilla ja -menetelmillä kuin kaltevien kattojen asennuksissa.
- Käännetyn kattorakenteen päällä paneelit tuetaan joko kantavaan rakenteeseen ankkuroiduilla kattopollareilla tai toteutetaan se kelluvana rakenteena. Kattopollareilla toteutettava asennus vaatii yleensä erillisen rakennesuunnittelun rakenteiden kantavuuden ja läpivientien vesitiiviyyden takaamiseksi.

Kelluvana vesikatteen päälle toteutettua paneelikenttää suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota kattorakenteen pintakuorman kantokykyyn ja paneelikentän tuulikuormiin. Jos katemateriaalin ja lämmöneristeen välissä on kuormaa jakava rakennuslevy, voidaan kelluva rakenne toteuttaa helpommin.

Kelluvaan asennukseen kohdistuvat tuulikuormat kompensoidaan yleensä vastapainojen avulla. Erilaiset kiinnitysjärjestelmät voivat vaatia hyvinkin erisuuruisia vastapainoja, joten tuulikuormien ja painolastien suunnittelu on aina asennusjärjestelmäkohtaista. Myös paikalliset tuuliolosuhteet vaikuttavat suunnitteluun merkittävästi.

Taustaltaan avoimet asennusjärjestelmät vaativat huomattavasti raskaampaa painotusta kuin aerodynaamisesti optimoidut suljetut asennusjärjestelmät. Paneelikentän reunoilla on tyypillisesti suurempi tarve painolasteille.

Kiinteän ja kelluvan asennuksen välimuotona voidaan pitää asennusta, jossa asennustelineet liimataan katteeseen katemateriaalin kanssa yhteensopivalla liimalaipalla. Tällöin katteen kuormitus jää kelluvaa rakennetta pienemmäksi. Kriittiseksi tekijäksi järjestelmässä muodostuu katteen kestävyys nostavaa voimaa vastaan, kiinnityslaipan ja -liimamassan yhteensopivuus katteen kanssa sekä liimauksen pitkän aikavälin kestävyys.



Kuva 20. Tiilikatekiinnitys. Kannattimen alle laitettavilla puu- tai muoviliuskoilla kannattimen korkeus säädetään sellaiseksi, että se ei lepää alemman kattotiilen päällä edes kuormituksen alaisena. Tiiliä paikoilleen asennettaessa varmistetaan, että tiilen alareuna ei miltään osin jää kannattimen varaan, vaan lepää alemman tiilirivin päällä. Yleensä kiinnikkeen päälle tulevaa tiiltä joudutaan hiomaan alareunastaan sen varmistamiseksi, ettei tiili lepää kiinnikkeen päällä.



Kuva 21. Bitumi- ja huopakatoilla kannakkeet sijoitetaan niin, että tiivistyslaippa ei osu katteen liitossaumojen kohdalle, missä sen luotettava tiivistäminen on vaikeaa. Alumiinikannakkeen ja kattomateriaalin välissä kannattaa käyttää esimerkiksi lisäbitumipalaa, jottei hankaus aiheuta vuosien saatossa ennenaikaista kulumista.



Kuva 22. Tasakattoasennukset. Rakenteessa, jossa vesikate lepää suoraan lämmöneristekerroksen varassa, kiinnitetään erityistä huomiota ettei pistekuorma paneeliston tukipisteissä muodostu liian suureksi. Suuri pistekuorma aiheuttaa painumia katteessa, ja edelleen veden lammikoitumista ja veden jäätyessä katteen rikkoutumista.

6.2 Asennus julkisivuun

Aurinkopaneelit voidaan asentaa joko olemassa olevan julkisivun päälle tai paneelit voivat olla rakenteeseen integroituja ja kokonaan korvata julkisivumateriaalin. Aurinkopaneelit voidaan asentaa myös korvaamaan parvekkeen kaiteen julkisivumateriaalia.

Järjestelmien vaatimukset asennukselle varmistetaan laite-toimittajilta. Integroiduissa aurinkosähköasennuksissa huomioidaan riittävä tuuletus, sillä paneelien ylikuumentuessa niiden sähköntuotto heikkenee. Ylikuumeneminen saattaa myös lyhentää paneelien käyttöikää. Integroiduissa aurinkosähköasennuksissa otetaan huomioon riittävä tuuletus, sillä paneelien ylikuumentuessa niiden sähköntuotto heikkenee ja tekninen käyttöikä lyhenee. Erityisesti korkeat kerrostalojulkisivut ovat alttiita ylikuumenemiselle, koska tuuletus julkisivun ylä- ja alalaidasta ei välttämättä riitä. Tällöin tarvitaan lisäilmanottoaukkoja tai julkisivuun tuuletuskanavia.

Julkisivu- tai pystyasennus tuottaa noin 30 % vähemmän sähköä kuin kallistettu asennus, mutta tuotto paranee talvella ja pohjoisessa auringon paistaessa matalasta kulmasta.

6.3 Asennus maastoon

Suuret usean sadan tai tuhannen kilowatin aurinkosähkövoimalat asennetaan tavallisesti maatalineisiin. Telineityypin ja perustustavan valintaan vaikuttavat muun muassa maaperän kantokyky, routivuus ja rakeisuus. Maaperätutkimuksella saadaan tarvittavat lähtötiedot jotta perustamistapa voidaan valita. Perustus voidaan toteuttaa paikalla valetuilla tai elementtibetonianturoilla, betoni- tai teräspaaluilla, porapaaluilla tai muulla maaperään soveltuvalla menetelmällä.

Maastoasennuksessa paneelit asennetaan metallirakenteisiin telineriveihin, joissa kussakin on kaksi tai kolme riviä paneeleja. Telinerivien etäisyys tulee olla riittävän suuri, etteivät ne varjosta toisiaan. Paneelit kannattaa samasta syystä asentaa pääsääntöisesti riviin itä-länsi suuntaisesti.

Invertterit asennetaan joko paneelirivien alle pohjoispuolelle tai keskitetysti erilliseen rakennukseen. Paneeliketjujen DC-kaapelit reititetään asennuskourujen avulla paneelien alle. Syöttökaapelit toteutetaan yleensä maakaapeleilla, jolloin ne eivät vaikeuta voimalan huoltotoimia. Paneelirivien välien ja alustojen kasvillisuutta tulee hoitaa säännöllisesti, sillä villiintyessään kasvillisuus varjostaa paneeleja. Ylläpito tulee olla mahdollista suorittaa koneellisesti ilman että rakenteet sitä tarpeettomasti vaikeuttavat. Vaikeapääsyiset alueet, kuten paneelirivien alustat, voidaan päällystää kasvillisuutta hillitsevällä kuorike- tai muulla katteella.

Voimala varustetaan auringon säteilytasoa mittaavalla sääasemalla ja tiedonkeruujärjestelmällä, jonka avulla tuotantoa voidaan valvoa ja vikatilanteet havaita. Lisäksi voimala voidaan aidata ja varustaa kulunvalvontalaitteilla, ilkivallan ja varkauksien torjumiseksi. Aluetta suunniteltaessa tulee olla yhteydessä kunnan rakennusvalvontaan ja suunnitella alueen sijoittuminen maastoon siten, että myös maisemalliset ja ympäristöön liittyvät näkökohdat tulevat huomioiduiksi.

6.4 Tuuli- ja lumikuormat

Katolle asennettuihin aurinkopaneeleihin ja edelleen asennustelineiden kautta myös kattoon kohdistuu tuuli- ja lumikuormia, jotka huomioidaan suunnittelussa. Suunnittelu perustuu aina paikallisiin olosuhteisiin ja todellisiin rakenteisiin. Ohjeet tuuli- ja lumikuormien laskemiseen löytyvät standardista SFS-EN 1991-1-6.

Tuulikuormat

Paneeleihin ja kattoon kohdistuvat tuulikuormat ovat voimakkaasti sidoksissa paikallisiin olosuhteisiin ja asennustapaan.



Kuva 23. Kun talon katon lappeet ovat väärään ilmansuuntaan, aurinkopaneelit on sijoitettu osaksi piharakennuksen julkisivua. Lantti-talo, Vuores, Tampere (Aalto yliopisto 2012).



Kuva 24. Aurinkopaneelit osana julkisivua. Kaksoisjulkisivun aurinkopaneelit varjostavat rakennusta kesällä, mutta talvella sen ilmapäli eristää. Ilmatila viilentää paneeleja ja parantaa niiden tehoa. Ympäristötalo, Helsinki (Arkkitehtuuritoimisto Kimmo Kuismanen 2015).



Kuva 25. Maastoon asennettuja aurinkopaneeleja.

Katon lappeen suuntaan asennettuun aurinkopaneeliin kohdistuu pienempi tuulikuorma kuin erilliseen telineeseen asennettuun. Katon lappeella reuna-alueille voi kohdistua moninkertainen tuulikuorma keskialueeseen verrattuna.

Lumikuormat

Mitoittavat lumikuormat Suomessa vaihtelevat alueittain välillä 1,4...2,6 kN/m². Kuorma on annettu vaakasuoralle pinnalle, joten paneelin todellinen lumikuorma riippuu myös asennuskaltevuudesta. Aurinkopaneelien tyypillinen kuormituksenkesto on 5,4 kN/m².

Kiinnityksissä noudatetaan valmistajan ohjeita. Paneelistoa ja kiinnitysjärjestelmää tarkastellaan kokonaisuutena, niin ettei yksittäisen komponentin kuormitettavuus ylitä tai ettei kuormituksen alaisena tapahdu kiinnityksen irtoamista, joka saa kokonaisuuden pettämään vaikka yksittäisten komponenttien kuormitus ei ylittäisikään.

Paneelivalmistaja suorittaa tyyppihyväksynnän edellyttämät kuormitustestaukset vain tarkkaan rajatuilla kiinnitystavoilla. Jos näistä kiinnitystavoista poiketaan, saattaa paneelien kuormituskestävyys oleellisesti vaarantua. Vauriotilanteissa valmistajan ohjeiden vastainen kiinnitystapa myös mitätöi takuun.

Jos katemateriaali ja -kaltevuus on sellainen, että lumet voivat pudota katolta suurina kenttinä, paneelikenttä varustetaan myös lumiesteillä.

6.5 Työturvallisuus

Katoilla työskentely

Aurinkoenergiajärjestelmien turvallinen asentaminen katolle edellyttää huolellista työn suunnittelua ja riskien tunnistamista. Pientalojen katot ovat työturvallisuuden kannalta erityisen vaativia, sillä niissä ei välttämättä ole asianmukaisia kulkusiltoja, turvaköysien kiinnityspisteitä tai nousuteitä. Tällöin työturvallisuuden kannalta paras asennustapa on hyväksytyltä ja tarkastetulta henkilönostimelta työskenteleminen. Jos maasto-olosuhteet eivät salli henkilönostimen käyttöä, voidaan katto asennuksen ajaksi varustaa hyväksytyillä putoamissuojainkösillä. Nojatikkailla ei saa työskennellä yli 2 metrin korkeudella, vaan ne on tarkoitettu ainoastaan tilapäiseen siirtymiseen.

Jos kohteessa on asianmukaiset kulku- ja nousutiet, voidaan katolla työskennellä ilman henkilönostinta. Tällöin tulee aina käyttää hyväksyttyjä turvaalajaita ja turvaköysiä. Jos turvaköysi kiinnitetään kattosiltaan, varmistetaan, että kattosilta on hyväksytty turvaköyden kiinnitykseen. Eri katetyypeille on myös saatavissa hyväksyttyjä kattopollareita, joista osa soveltuu myös väliaikaiseen kiinnitykseen.

Katoilla työskennellessä tulee käyttää turvallisia säänmukaisia työvaatteita, pehmeäpohjaisia turvakengkiä, työvaiheeseen sopivia työkaluja, suojalaseja ja suojakypärää.

Aurinkopaneeleja tulee käsitellä varovasti, sillä ne vaurioituvat herkästi. Aurinkopaneelien päälle ei saa astua eikä niiden lasiosaan saa nojata. Tarvikkeita ja paneeleita katolle nostettaessa varmistutaan, etteivät ne pääse putoamaan kesken noston.

Sähtöturvallisuus aurinkosähköasennuksissa

Aurinkosähköpaneeli alkaa tuottaa sähkövirtaa heti kun siihen osuu auringonvaloa. Jos paneelit kytketään sarjaan sitä mukaan kun ne asennetaan, muodostuu paneeliketjun positiivisen ja negatiivisen navan välille sitä suurempi jännite, mitä useampia paneeleita ketjussa on. Asennusta suoritettaessa tulee varmistaa, että positiivisen ja negatiivisen johtimen välille ei pääse syntymään valokaarta.

Verkkoinvertterin vaihtosähkötyöt ja myös paneelistolta verkkoinvertterille johtavat jännitteisten johtimien tasasähkötyöt saa suorittaa vain asianmukaiset pätevyudet omaava henkilö.

Salamasuojaus

Aurinkosähköjärjestelmä ei normaalisti lisää rakennuksen riskiä joutua salamaniskun kohteeksi, eikä se näin ollen edellytä rakennuksen salamasuojaukseen. Jos rakennuksen katolla on olemassa oleva salamasuojaus, kytketään aurinkosähköjärjestelmän maadoitus siihen vain siinä tapauksessa, kun ei muilla keinoin saada järjestettyä riittävää suojaetäisyyttä aurinkosähköjärjestelmän ja salamasuojauksjärjestelmän välille (standardi IEC 62305-3).

Ensisijaisesti järjestelmien välille järjestetään riittävä suojaetäisyys tai käytetään eristettyä salamasuojajohdinta aurinkosähkökentän kohdalla. Jos aurinkosähköjärjestelmä liitetään salamasuojajärjestelmään, on aurinkosähköjärjestelmään liitettävä DC piirille tarkoitettu luokkien 1+2 yhdistelmäyljännitesuoja ennen invertteriä. Lisäksi on hyvä suojata myös invertterin AC puoli vähintään luokan 2 ylijännitesuojalla.

Tasakattoasennukset, joissa aurinkopaneelit ovat katon korkein elementti, ovat poikkeustapaus salamasuojauksen suhteen. Tällöin aurinkopaneelikenttä varustetaan salamasuojauksella. Salamasuojaukseen suunniteltaessa on vältettävä johdattimien sijoittamista niin, että niistä aiheutuu varjostusta paneeleille. Johtimet eivät saa muodostaa induktiosilmukkaa, joka salaman iskiessä lähelle aiheuttaa jännitepiikin järjestelmässä. Tämä vältetään kuljettamalla plus- ja miinusjohtimet samaa reittiä.

RatuTT 12-01019 Kattotöiden työturvallisuus



Kuva 26. Paneelit ja keräimet kestävät jopa yli 30 vuotta. Jos olemassa olevassa rakennuksessa vesikatteen odotettu käyttöikä on huomattavasti lyhyempi, kannattaa harkita katteen ja tarvittaessa rakenteiden uusimista aurinkolaitteiston asennuksen yhteydessä.

7 VERKKOON KYTKEMINEN

Verkkoyhtiöstä tulee aina varmistaa tekniset yhteensopivuudet. Kun aurinkovoimala on asennettu ja sähköasentaja on suorittanut sen käyttöönottotarkastuksen, voidaan laitoksen verkkoon kytkemiseen pyytää lupaa verkonhaltijalta. Ylijäämä-sähkölle tulee olla myös sovittuna ostaja.

Mikrotuotannoksi laskettavan alle 100 kVA:n aurinkosähkövoimalan kytkemislupa voidaan hakea paikalliselta verkonhaltijalta mikrotuotannon yleistietolomakkeella. Lomakkeen täyttämisen voi jättää sähköurakoitsijan tehtäväksi ja osa verkonhaltijoista sitä myös edellyttää.

Pientuotannoksi laskettavaa 100 kVA...2 MVA aurinkosähkövoimalaa suunniteltaessa kannattaa olla jo hankkeen alkuvaiheessa yhteydessä paikalliseen verkonhaltijaan. Verkkoon kytkeminen saattaa edellyttää muutoksia verkkoon.

7.1 Kytkentä

Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien yksittäiset paneelit kytketään yleensä sarjaan. Nykyisin lähes kaikissa paneeleissa käytetään MC-4-tyyppistä tasavirtaliitintä.

Kaikkien yhdessä paneeliketjussa olevien paneelien tulee olla samaa tyyppiä ja saman tehaisia, sekä asennettu samaan suuntaan ja kallistuskulmaan. Jos osa paneeleista on eri kaltevuuskulmassa tai suunnattu eri ilmansuuntaan, ne kytketään omaksi ketjukseen erilliseen verkkoinvertterin MPPT-sisääntuloon.

Tasavirtakaapelit viedään paneeleilta suorinta reittiä verkkoinvertterille. Kaapelit kiinnitetään riittävän tiheästi paneelien aluskiskoihin tai kehysrakenteisiin. Pitkät vaakavedot toteutetaan esimerkiksi alumiinisin asennuskouruin tai -putkin.

Verkkoon syötön pisteen ei tarvitse sijaita pääkeskuksessa. Verkkoinvertteri voidaan kytkeä kiinteistön verkkoon missä tahansa kytkentäpisteessä, johon tulee riittävän poikkipinta-alan omaava kaapelointi. Jos aurinkovoimala on esimerkiksi piharakennuksessa, voidaan verkkoinvertteri kytkeä piharakennuksen ryhmäkeskukseen. Kytkentäkaapeli varustetaan johdon-suojakytkimillä tai muilla suojalaitteilla, kuten sulakkeilla.

Paneelien ja invertterin välisen liittimettömän kaapeloinnin ja verkkoinvertterin asennukseen liittyvät sähkötyöt saa suorittaa vain asianmukaiset pätevyydet omaava henkilö, samoin jos kolme tai useampi paneelia kytketään sarjaan eli 120 V jännite ylitetään tasavirtakaapeloinnissa. Vain DC-käyttöön hyväksytyjen liittimien käyttö on sallittua. Paneelijärjestelmän ja invertterien välisessä kaapeloinnissa on käytettävä hienosäikeistä ja riittävän suuripoikkipintaista kaapelointia. Matalilla jännitteillä ja suurilla virroilla jännitehäviö nousee merkittäväksi tekijäksi.

Aurinkosähkövoimalan tulee aina olla erotettavissa verkosta ja erotuskytkimen tulee olla lukittavissa. Erotuskytkin tulee sijoittaa sellaiseen tilaan, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy.

Verkon huolto- ja korjaustilanteessa mikrotuotantolaitos ei saa syöttää jännitettä verkkoon. Vaikka invertterin automatiikka tarkkailee verkon jännitettä ja katkaisee syötön, jos jännite putoaa, on laitos varustettava edellä mainitulla lisäerottimella, jolla voidaan varmistaa asennusturvallisuus.

Sähkö- ja paloturvallisuus

Oikein suunniteltu aurinkosähköjärjestelmä, jonka komponentit ovat yhteensopivia ja jonka asennustyö on tehty hyvää työtapaa noudattaen ja riittävän pätevyyden omaavan toimijan taholta, ei aiheuta sähköiskun tai tulipalon vaaraa. Järjestelmä suunnitellaan niin, että tasasähköpiirit muodostuvat mahdollisimman lyhyiksi. Kaapeleista ei saa muodostua induktiosilmukoita, mikä salaman iskiessä lähelle aiheuttaisi jännitepiikin järjestelmässä. Tämä vältetään kuljettamalla plus-, miinus-, potentiaalintasaus- ja muut johtimet samaa reittiä. Tasasähkökaapelit tulee kiinnittää ja suojata niin, ettei eristeille aiheudu vaurioitumisvaaraa.

Paloturvallisuuden kannalta tärkeitä ovat oikein valitut ja yhteensopivat tasasähköpiirin liitinkomponentit. Eri valmistajien liittimiä käytettäessä varmistetaan erikseen liittimien yhteensopivuus. Asennusjärjestelmän asianmukainen maadoitus on tärkeää niin sähköturvallisuuden kuin salamasuojauksen kannalta. Maadoitusjärjestelmän komponenttien tulee olla oikein mitoitetuja ja galvaanisesti yhteensopivia, jotta vältetään liitosten hapettuminen.

Pääkeskukseen tulee laittaa varoitusarrat tai opasteet takasyötön vaarasta, mikäli aurinkovoimala kytketään nousu- tai ryhmäkeskukseen.



Kuva 27. Yhteisöaurinkosähkö (community solar) on edullinen vaihtoehto järjestelmän suuruudesta johtuen ja mahdollistaa aurinkoenergian myös niille, joilla ei ole käytettävissä sopivaa asennuspaikkaa. Energiaosuuskunnat ja alueellinen yhteiskäyttö ovat vasta pilotointivaiheessa ja tarvitaan mm. lainsäädännön muutoksia ennen kuin ko. järjestelmät yleistyvät. Eräät sähköyhtiöt vuokraavat kuluttajille nimikkopaneeleja.

8 KÄYTTÖÖNOTTO

8.1 Käyttöönottotarkastus

Kaikissa aurinkovoimaloissa käyttöönottotarkastuksessa noudatetaan ensisijaisesti standardin *SFS-EN 62446* vaatimuksia. Kaikille verkkoon kytkettäville aurinkosähköjärjestelmille tehdään käyttöönottotarkastukset aurinkosähköjärjestelmän ja ryhmäjohtokytkentöjen osalta ja täytetään asianmukaiset pöytäkirjat (*ST 55.36* ja *ST 51.21.06*). Pienissä rakennuskohteissa aurinkosähköjärjestelmissä tehdään vähintään seuraavat tarkastukset:

- dokumentaatio: todetaan kaikkien dokumenttien oikeellisuus
- merkinnät ja varoitukset
- mekaaniset ja sähköiset asennukset aistinvaraisesti
- paneeliston rungon ja asennuskiskojen maadoitus
- vesikatteen läpivientien vesitiiviys ja säänkestävyys.

Kaikki vaihtovirtapiireille tehtävät testit toteutetaan ja dokumentoidaan standardin *SFS 6000-6* vaatimusten mukaisesti. Kun vaihtovirtapiiri on testattu, tehdään tasavirtapiirille vähintään seuraavat testaukset:

- suojamaadoitusjohtimien jatkuvuus
- paneeliketjujen napaisuus
- paneeliketjun avoimenpiirin jännite
- paneeliketjun oikosulkuvirta
- laitoksen toiminnallisuus
- tasasähköpiirien eristysresistanssi.

Tarkemmat selostukset testien suorittamisesta ja noudatettavista raja-arvoista löytyvät standardista *SFS-EN 62446*.

Kaikki tulokset kirjataan yksilöityyn käyttöönottopöytäkirjaan, jonka testeistä vastaava henkilö allekirjoituksellaan tai muulla tavoin vahvistaa. Käyttöönottopöytäkirja liitetään osaksi aurinkovoimalaitoksen dokumentaatiota.

8.2 Dokumentointi

Aurinkosähköjärjestelmän teknisen käyttöiän aikana järjestelmä voi vaatia tarkastus-, huolto- ja muutostöimenpiteitä. Jotta toimenpiteet voitaisiin suorittaa tehokkaasti ja turvallisesti, tulee järjestelmän dokumentaation olla yksityiskohtainen ja kattava. Tarjouspyyntö- ja urakkasopimusasiakirjoissa tulee määritellä vaadittava dokumentaation taso.

Dokumentaation lisäksi tulee laitoksen laite-, kaapeli- ym. merkintöjen laajuudesta sopia urakka-asiakirjoissa. Käyttöönotto- ja muut tarkastukset tulee kuulua aina sähköuran tarjoukseen, ellei tarjouspyynnössä ole toisin mainittu. Maksuerätaulukkoita laadittaessa viimeinen maksuerä sidotaan käyttöönottotarkastuksessa havaittujen puutteiden korjaamiseen. Myös takuun kattavuudesta ja ennen takuuaian loppumista suoritettavista tarkastuksista sekä niiden kustannuksista sovitaan urakka-asiakirjoissa.

Kuva 28. Sähkö-Info Oy:n ST-kortistosta on saatavilla valmiit lomakkeet *ST 55.35 Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake*, *ST 51.21.06 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja ryhmäjohtotason sähköasennuksille* ja *ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja*.


ST 51.21.06
1 (3)

**KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA
RYHMÄJOHTOTASON SÄHKÖASENNUKSILLE**

Pöytäkirjan nro	Käyttöönottotarkastus	Muu	Mika?
PERUSTIEDOT			
Sähkölaitteiston rakentaja	Yritys	Katuosoite	Postinumero Postitoimipaikka
Sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilö	Nimi	Puhelinnumero	Sähköpostiosoite
Sähkötöiden johtaja	Nimi	Puhelinnumero	Sähköpostiosoite
Kohteen tiedot	Työnumero	Nimi	
	Kohteen yksilöinti		


ST 55.35
1 (2)

MIKROTUOTANTOLAITTEISTON YLEISTIELOMAKE

Sähkölaitteiston rakentaja	Yritys	Katuosoite	Postinumero Postitoimipaikka
Sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilö	Nimi	Puhelinnumero	Sähköpostiosoite
Sähkötöiden johtaja	Nimi	Puhelinnumero	Sähköpostiosoite
Kohteen tiedot	Nimi	Kohteen yksilöinti	Työnumero
Tuotantolaitteiston omistaja	Yritys	Katuosoite	Postinumero Postitoimipaikka
Omistajan yhteyshenkilö	Nimi	Puhelinnumero	Sähköpostiosoite


ST 55.36
1 (4)

**AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN
KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA**

Pöytäkirjan nro	
PERUSTIEDOT	
Sähkölaitteiston rakentaja	Yritys
	Katuosoite Postinumero Postitoimipaikka
Sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilö	Nimi Puhelinnumero Sähköpostiosoite
Sähkötöiden johtaja	Nimi Puhelinnumero Sähköpostiosoite
Kohteen tiedot	Nimi Työnumero
	Kohteen yksilöinti
	Katuosoite Postinumero Postitoimipaikka
Tilaaja	Yritys
	Katuosoite Postinumero Postitoimipaikka
Tilaajan yhteyshenkilö	Nimi Puhelinnumero Sähköpostiosoite

1 AISTINVARAINEN TARKASTUS (Katso ohje)

Sähköjärjestelmän turvallisuusvaatimukset toteutuvat SFS 6000 mukaisesti ja muiden sähköasennusten käyttöönottotarkastus (pöytäkirjamalli ST 51.21.05) on suoritettu	☐ Kunnossa	☐ Ei sisälly
Huom!		
Tasasähköjärjestelmän asennukset		
a) SFS 6000-7-712 vaatimusten mukaiset	☐ Kunnossa	☐ Ei sisälly
Huom!		
b) Komponenttien mitoitus on riittävä (jännite, virta, ylijännite...)	☐ Kunnossa	☐ Ei sisälly
Huom!		
c) Toteutuksessa on käytetty kaksoiseristystä tai pienoisjännitettä (SELV, PELV)	☐ Kunnossa	☐ Ei sisälly
Huom!		
d) Kaapelin vahingoittumisriski on minimoitu	☐ Kunnossa	☐ Ei sisälly
Huom!		
e) Johtojärjestelmä on ympäristöolosuhteiden mukainen	☐ Kunnossa	☐ Ei sisälly
Huom!		

9 HUOLTO JA YLLÄPITO

Aurinkosähköjärjestelmät ovat perusrakenteeltaan yksinkertaisia eivätkä vaadi jatkuvaa huoltoa. Aurinkopaneelien suunniteltu käyttöikä on noin 30 vuotta ja kiinnitysjärjestelmät suunnitellaan kestämaan sama aika. Aurinkosähköjärjestelmä on hyvä tarkastuttaa ammattilaisella vuosittain, jotta alkavat viat voitaisiin havaita ennen kuin niistä aiheutuu tehon menetystä. Osa valmistajista edellyttää tarkistuksia takuun säilymiseksi.

9.1 Paneelit

Aurinkopaneelien huolto käsittää silmämääräisen tarkistuksen, jossa etsitään poikkeamia paneeleista. Tällaisia voivat olla väripoikkeamat, säröt lasissa, laminoinnin purkautuminen, irronneet kiinnikkeet tai johdotuksen kiinnityksen puutteet. Samalla tarkistetaan paneelien likaantuminen ja arvioidaan puhdistuksen tarve. Aurinkopaneelien likaantuminen riippuu paikallisista olosuhteista ja asennuskulmasta. Loivassa alle 20 ° kaltevuuskulmaan asennetussa paneelissa ei sateen pesevä vaikutus ole yhtä voimakas kuin jyrkemmissä asennuskulmissa.

Paneelien pesulla voidaan parhaimmillaan saavuttaa muuttaman prosentin tehonlisäys. Pesua ei kannata tehdä kovin usein, ellei paneelien likaantuminen ole erityisen voimakasta. Pesun tarvetta voidaan arvioida esimerkiksi 5 vuoden välein. Voimakaita pesuaineita tai liuottimia ei saa käyttää, sillä ne voivat vahingoittaa paneelien heijastuksenestopinnoitetta.

Keskitalvella paneeleita ei yleensä kannata puhdistaa lumesta, mutta jo helmikuun lopulla tästä voi olla hyötyä. Pakkanen ja lumen heijastava vaikutus parantavat hieman paneelien hyötysuhdetta. Lunta poistettaessa tulee varoa vahingoittamasta paneelien lasia ja sen pinnoitetta.

9.2 Verkkoinvertteri

Verkkoinvertterin suunniteltu käyttöikä on alle puolet aurinkopaneelien käyttöiästä. Pienien verkkoinvertterien vikaantuessa on yleensä kannattavinta uusita verkkoinvertteri kokonaan. Samalla saadaan käyttöön uusinta teknologiaa, joka voi parantaa järjestelmän tuottoa ja hallittavuutta.

Pienen aurinkovoimalan muutaman kilowatin verkkoinvertterin käyttöiäksi lasketaan noin 15 vuotta, jolloin laitteisto tulee viimeistään tarkistaa ja arvioida uusimistarve. Uusiminen huomioidaan aurinkovoimalan kannattavuuslaskennassa.

Isojen järjestelmien verkkoinverttereissä valmistaja takaa varaosien saatavuuden jopa 25 vuodeksi. Järeät verkkoinvertterit ovat rakenteeltaan modulaarisia, joten niiden vikaantuneita komponentteja voidaan vaihtaa ja huoltaa.

9.3 Etäseuranta

Verkkoinverttereiden etäseurantaominaisuuksilla aurinkosähköjärjestelmän tilasta saadaan tietoa. Järjestelmän tuotantoa voidaan myös verrata lähialueen muihin voimaloihin, jolloin voidaan varmistua siitä, ettei järjestelmä toimi vajaateholla.

Verkkoinvertterivalmistajista riippumattomiin seurantapalveluihin liittyy yleensä erillinen tiedonkeruulaite. Tiedonkeruu tarjoaa laajemmat seurantamahdollisuudet ja on suositeltava keskiuurissa ja suurissa järjestelmissä.

Suuri aurinkovoimala varustetaan omalla sääasemalla, josta saadaan normaalien sääsuureiden lisäksi tieto paikallisesta auringon säteilyenergiasta. Säteilyanturilla kerättyä tietoa voidaan käyttää voimalan tuoton arvioimiseksi. Jos sääasemalta kerättyä auringon säteilytietoa käytetään voimalan sopimusehtojen mukaisen energiantuotannon todentamiseen, käytetään säteilyanturina secondary standard -luokan pyranometriä.

Suuret voimalat, joissa on kymmeniä tai satoja paneeliketjuja, varustetaan ketjukohtaisella tuoton seurannalla. Tällöin paneeliketjujen tuottoa voidaan verrata ja puutteellisesti toimiva paneeliketju havaita nopeasti.

Taulukko 3. Lämpökuvausolosuhteet. Lämpökameralla voidaan havaita paikallinen lämpötilan nousu järjestelmässä. Tämä on yleensä oire tehontuottoa tai kestävyyttä heikentävistä ilmiöistä. Kuvaus tapahtuu nopeasti ja voimalan toimintaa keskeyttämättä.

Suure	Raja-arvo
Auringon säteilyteho	> 600 W/m ²
Tuulen nopeus	Vähätuulinen olosuhde
Pilvisyys	Pilvetön tai pilvisyyden suhteen tasainen olosuhde

Lämpökuvaus voidaan suorittaa aurinkopaneelien taustapuolelta, sillä taustapuolen muovikalvo on lämpösäteilyä läpäisevää, ja poikkeamien havainnointi on tarkempaa. Katoille tai seiniin asennetut aurinkopaneelit voidaan kuitenkin yleensä kuvata vain etupuolelta.

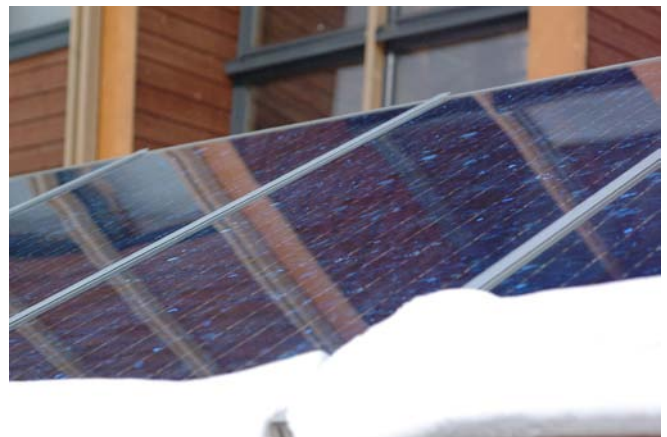
Lämpökuvauksella voidaan havaita muun muassa:

- vaurioituneet paneelit ja kennot
- teholtaan huomattavasti muista poikkeavat paneelit
- vialliset ohitusdiodit
- vialliset liittimet
- heikot tai löysät liitokset kaapeloinneissa.

Suurten aurinkovoimaloiden lämpökuvaus on tehokkainta suorittaa kuvauskopterilla, joka on varustettu lämpökameralla. Kuvauskopterilla havaitut merkittävät poikkeamat voidaan tarvittaessa kuvata tarkemmin maasta käsin, mahdollisuuksien mukaan paneelien taustapuolelta.

Aurinkosähkövoimalan lämpökuvausta suoritettaessa tulee taulukon mukaisten olosuhde-ehtojen täyttyä.

Kuvauskulman tulisi olla niin kohtisuora kuin mahdollista, kuitenkin niin että vältetään epäedullisia heijastuksia. Kuvauskulman ei saa olla pienempi kuin 30° paneelin tasoon nähden. Kuvausetaisyys valitaan niin, että jokaista paneelin kennoa kohti tallennetaan vähintään 5 x 5 pikseliä.



Kuva 29. Aurinkopaneelin tuotto heikkenee oleellisesti sydäntalvella, eikä sitä välttämättä kannata puhdistaa lumesta. Kevätaurinko sulattaa lumen tummalta pinnalta.

KIRJALLISUUTTA

Lait ja asetukset

Työturvallisuuslaki 738/2002

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta. Suomen säädöskokoelma 1007/2017. (RT RakMK-21759, KH RakMK-10794)

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Suomen säädöskokoelma 1010/2017. (RT RakMK-21763, KH RakMK-10798)

Valtioneuvoston asetus uusiutuvan energian ja uuden energiateknologian investointituen myöntämisen yleisistä ehdoista. Suomen säädöskokoelma 145/2016. (RT TEM-21706, KH TEM-10762)

Standardit

SFS 6000-6 Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset. 2017

SFS 6000-7-712 Pienjänniteasennukset. Osa 7-712: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Valosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät. 2017

SFS-EN 1991-1-6 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat. 2005

SFS-EN 50438 Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille. 2015

SFS-EN 61724 Valosähköisenjärjestelmän suorituskyvyn valvonta. Ohjeita mittauksiin, datan siirtoon ja analysointiin. 1999

SFS-EN 62446 Sähköverkkoon kytketyt valosähköiset järjestelmät. Minivaatimukset järjestelmän dokumentaatiolle, käyttöönottoasteille ja tarkastuksille. 2016

SFS-EN 62305-3:en Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard. 2016

SFS-käsikirja 607 Aurinkosähköjärjestelmät. 2019

RT- ja ST-ohjeet

RT 103077 Aurinkolämpöjärjestelmät. 2019

RT 07-11300, KH 92-00663, LVI 30-10632 Aurinkosuojaus. 2018

RT 85-11203, Infra 23-710151, KH 92-00582 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet. 2016

RT 85-10738, KH 92-00284 Vesikaton korjaus. Korjausrakentaminen. 2000

RT 85-10767 Metalliset muoto- ja poimulevykatteet. 2002

RT 85-10799 Bitumikermikatteet, perustietoja. 2003

RT 85-10847 Savitiilikatot. 2005

RT 85-10848 Betonitiilikatot, 2005

RT 85-10851 Loivat bitumikermikatot. 2005

RT 85-10894 Jyrkät bitumikermikatot. 2007

RT 85-11132, KH 90-00537 Vesikaton turvavarusteet. 2013

RT 85-11158, KH 92-00551 Konesaumattu peltikatto. 2014

RT 85-11203, Infra 23-710151, KH 92-00582 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet. 2016

RT 85-11205, Infra 46-710153 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet. 2016

RT 85-11204, Infra 23-710152 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvialusta. 2016

RT 92-11216, Akkuhuoneet ja varaamotilat. 2016

RatuTT 12-01019, Infra TT7.2-730332 Kattotöiden työturvallisuus. 2012

ST 51.21.06 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja ryhmäjohtotason sähköasennuksille. 2017

ST 55.33 Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähköjakelujärjestelmään. 2013

ST 55.35 Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake. 2013

ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja. 2015

Muu kirjallisuus

Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Janne Käpylehto. Into-kustannus 2016

Aurinkoenergia Suomessa. Markku Tahkokorpi. Into-kustannus 2016

Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. ST-käsikirja 40. Sähkötieto ry 2017

Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice. John Wiley & Sons Ltd 2018

Planning and Installing Photovoltaic Systems. The German Energy Society 2013

Internet-tietolähteitä

Ilmatieteenlaitos: ilmatieteenlaitos.fi

Euroopan Unionin tietokanta (säteilyatlas), Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): re.jrc.ec.europa.eu/pvgis

Aaltoyliopiston kauppakorkeakoulun aurinkoenergiasivut: www.finsolar.net

Motivan aurinkosähkösivut: www.motiva.fi/aurinkosahko

Aurinkosähkö – puhdasta energiaa kotiin: aurinkosahkoakotiin.fi

Aurinkoteknillinen Yhdistys ry: www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi

Eko-Boxi, Suomen Arkkitehtiliiton kestävän rakentamisen tietosivut: eko-boxi.safa.fi/eko-boxi/uusiutuvat-energiamuodot-rakentamisessa

Simulointiohjelmat

Polysun: www.velasolaris.com

PV*SOL premium: www.valentin-software.com

PV-Simulation 3D: www.hottgenroth.de

PVsyst Photovoltaic Software, PVsyst SA: www.pvsyst.com

IDA Indoor Climate and Energy: www.equa.se/fi/ida-ice

Kuvaluettelo

Kuvat 1, 2, 4, 5, 6, 7, 14, 16, 23, 24 ja 29: Pekka Hänninen

Kuva 3: Kukka Kyrö

Kuva 8: Sähköntuotannon pienjänniteverkkoon liittäminen – mää-
räykset ja sähköturvallisuus, Janne Karppanen, LLIT, 2012, mukaan
Kuva 9, 10, 11 ja 13: Teemu Heikkinen, Satakunnan ammattikorke-
akoulu

Kuvat 12, 15, 20, 21 ja 22: Janne Käpylehto

Kuvat 17 ja 18: Jaakko Virtanen, Virte Solar

Kuva 19: Naps Solar Systems

Kuvat 25 ja 26: Samuli Ranta

Kuva 27: Helen Oy

Kuva 28. Sähkö-Info Oy

*Ohjeen on laatinut Rakennustietosäätiö RTS:n toimikunta 376 Aurinko-
energia Samuli Rannan ja Teemu Heikkisen käsikirjoituksen pohjalta:
Markku Tahkokorpi, ATY/Utuapu Oy, puheenjohtaja
Samuli Ranta, Turun ammattikorkeakoulu
Paavo Paju, Turun ammattikorkeakoulu
Teemu Heikkinen, Satakunnan ammattikorkeakoulu
Marko Kukka, Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kimmo Liljeström, Optiplan Oy
Anders Lindfors, Ilmatieteen laitos
Janne Käpylehto, Solarvoima Oy
Kimmo Lylykangas, Arkkitehtuuritoimisto Kimmo Lylykangas
Mikko Juntunen, Aalto yliopisto/NAPS
Ana Rodrigues, Aurinkoteknillinen yhdistys ry
Pekka Hänninen, arkkitehtuuritoimisto IAH/Rakennustieto Oy
Seppo K. Niiranen, Rakennustieto Oy, sihteeri*