

Vesikukka Sari

Omakotitalon aurinkopaneelijärjestelmä, hankinta ja käyttöönotto



insinööri

Rakennus- ja
yhdyskuntatekniikkaan

Kevät 2022



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Vesikukka Sari

Työn nimi: Omakotitalon aurinkopaneeli järjestelmän suunnittelu, hankinta ja käyttöönotto

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), rakennustekniikka

Asiasanat: Aurinkosähkö, aurinkopaneeli, invertteri, kilowattituntia vuodessa (kWh/ a)

Opinnäytetyössä käsiteltiin omakotitaloon hankittavan aurinkopaneelijärjestelmän vaiheet. Hankittava järjestelmä on akuton, sähköverkkoon liitetty 3-vaihe aurinkopaneelijärjestelmä, jonka teho on väliltä 3–10 kW. Työssä käsiteltiin pääasiassa katolle asennettavaa yksikidepaneelijärjestelmää.

Työssä tutustuttiin järjestelmän yleiseen toimintaan ja paneelien tuotantoon vaikuttaviin seikkoihin. Perehdyttiin yleisiin rakennus- ja sähkövaatimuksiin sekä lainsäädäntöön. Tutustuttiin järjestelmän kokoonpanoon ja laitteisiin. Huomiottiin järjestelmästä aiheutuvien kuormien vaikutukset rakenteeseen. Käytiin läpi toimittajan valinta, asennus, käyttöönoton ja ylläpito.

Työn aikana kävi ilmi, että vaikka järjestelmä vaikuttaa yksinkertaiselta, se sisältää useita yksityiskohtia, joihin on hyvä kiinnittää huomiota ja miten hyödyntää tuotanto. Nykyisen sähkönhinnan kallistuminen vaikuttaa aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaikaan lyhentävästi. On kuitenkin huomattava, että materiaalihinnat ovat nousussa pitkän laskun jälkeen ja myös saatavuusongelmat ovat lisääntyneet.

Abstract

Author(s): Vesikukka Sari

Title of the Publication: The Photovoltaic Panel System of a Detached House

Degree Title: Construction Engineering

Keywords: photovoltaic, solar panel, inverter, kilowatt hours per year (kWh/ a)

In this thesis the aim was to examine the stages to purchase a system of photovoltaic (PV) to a detached house. The system consists of the on-grid non-battery 3-phase PV system. The power of the system was planned to be between 3–10 kW. The monocrystalline PV-modules were chosen to be mounted along the gable roof mounting.

Firstly, the assemble and equipment were explored. Secondly, the system type was discussed. Furthermore, the following questions were answered: how to choose the supplier? What kind of maintenance is needed? And how the system is operated and maintained?

As a result of the study, it was found, that although the system seems to be simple, there were a lot of details to attend to and how to get the benefit of the production. The increase in the current price of electricity will have a shortening effect on the payback period of the solar panel system. It should be noted, however, that material prices are rising all the time and availability issues are increasing.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teoria.....	2
2.1	Aurinkojärjestelmää koskevat vaatimukset	5
2.2	Aurinkosähkö- eli mikrotuotannonjärjestelmän pääosat	8
2.2.1	Paneelit.....	9
2.2.2	Invertteri eli vaihtosuuntaaja	12
2.2.3	Kaapelointi ja erotuskytkin.....	14
2.2.4	Sähkömittari ja valvontalaitteet.....	16
2.3	Kuormat.....	18
2.3.1	Tuulikuorma	20
2.3.2	Lumikuorma	23
3	Järjestelmän hankinta.....	25
3.1	Alkuvaiheen selvitykset	27
3.2	Toimittajan valinta ja järjestelmä.....	32
3.3	Aurinkopaneelinasennus katolle	39
3.4	Käyttöönotto	45
3.5	Ylläpito ja huolto	47
3.6	Tulevaisuus.....	50
4	Case Rantavoima	54
5	Yhteenveto	65
6	Pohdintaa.....	67

Liitteet

Symboliluettelo

PV	Aurinkosähkö. Lyhenne engl. Photovoltaic
Huipputeho, piikkiteho Wp	Wattihiikkiteho (Wp) on teho, jonka aurinkopaneeli tuottaa standarditestiolosuhteissa, joissa auringon säteilyenergia on 1000 W/m ² , lämpötila 25 °C ja auringon spektriin vaikuttava ilmassa AM 1,5.
Atsimuuttikulma	Aurinkoenergiälaskelmissa etelän suuntaa käytetään referenssisuuntana, joka on 0°. Tällöin tyypillinen atsimuuttikulma vaihtelee -90° (itä) ja +90° (länsi).
Aurinkovakio	Auringon säteilyn energiatiheys, joka kohdistuu maapallolla ilmakehän uloimmalla rajalla olevaan, kuviteltuun, auringonsäteilyä vastaan kohtisuorassa olevaan pintaan silloin, kun maapallo on keskietäisyydellä auringosta $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.
Hajasäteily	Kokonaissäteily, josta on vähennetty (kirkkaalla ilmalla) suora auringonsäteily.
Energia	Aurinkosähköpaneelin energia saadaan kertomalla teho ajalla, jolloin yksikkö on wattituntia, [Wh] ($E = Pt$).
Standardoidut mittausolosuhteet (SRC)	Aurinkokennojen virta-jännitemittaukset suoritetaan yleensä standardoiduissa mittausolosuhteissa (SRC, standard reporting conditions), jossa säteilyn intensiteetti on 1000 W/m ² säteilyä, 25 °C lämpötilassa ja ilmassa 1,5.
Mikrotuotanto	Kun sähköverkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän nimellisteho on enintään 100 kVA, puhutaan aurinkoenergian mikrotuotannosta.
Vaihtosuuntaaja eli Invertteri	Tehomuunnin, vaihtosuuntaaja, verkkoonliityntälaitte, säädin, on järjestelmä, joka muuntaa aurinkosähköpaneeliston tuottaman sähkötehon sopivalle taajuudelle ja jännitteelle, joka voidaan syöttää kuorman, energiavarastoon tai sähköverkkoon.
Päämaadoituskisko	Kisko tai liitin, joka yhdistää päämaadoitusjohtimen, potentiaalitasausjohtimet sekä mahdolliset toiminnalliset maadoitusjohtimet maadoitusjärjestelmään.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe käsittelee aurinkosähköjärjestelmän hankintaa omakotitaloon. Työssä perehdyttiin ensin alan teoriaan kirjallisuuden ja julkaisujen kautta. Työssä kuvataan aurinkosähköjärjestelmän teoriaan. Selvitetään järjestelmää koskevat keskeiset lait, standardit, määräykset ja ohjeet. Tutustutaan järjestelmän yleisimpiin laitteisiin, niiden ominaisuuksiin ja annettuihin vaatimuksiin sekä suunnitteluun. Käydään läpi sähkön hinnoittelu ja tutustutaan Suomen sähkömarkkina tilanteeseen.

Työssä käydään läpi suunnitteluun tarvittavat tiedot sekä miten laitteiston mitoitusta voidaan havainnollistaa ja mitkä tekijät vaikuttavat järjestelmän tuotantoon. Esitetään aurinkosähköjärjestelmän koon määrittäminen.

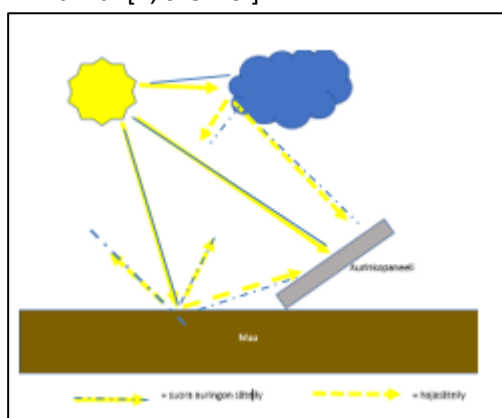
Perehdytään asennuksen vaiheisiin, tilantarpeeseen, kiinnitysmenetelmiin ja tarvikkeisiin. Todetaan työn vaaratilanteet ja pyritään turvalliseen työskentelyyn, sähkölaitteiden ja rakenteiden kanssa sekä kattotyöskentelyssä. Tutustutaan miten välttää virheet asennuksessa ja suojata järjestelmä, niin että sen käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä, turvallinen ja toimiva. Tunnistetaan rakennukseen kohdistuvat riskialttiit rakenteet.

Aihe valikoitui ajankohtaisuuden vuoksi ja siihen pystyttiin liittämään aurinkopaneeliston hankinta omakotitaloon. Hankinnan ja asentamisen havainnollistamiseksi kuvattiin aurinkopaneeliston asennus Case Rantavoiman avulla.

Tehtävä rajattiin yleisimmin käytettyyn yksikidepaneelijärjestelmään. Asennustavaksi valikoitui harjakaton suuntainen asennus, jossa paneelit asennettiin katolle. Työ rajattiin verkkoon liitettävään 3-vaihe järjestelmään, jossa ei ole akustoa. Työssä käsiteltiin kattokuormien perusteet, mutta varsinainen laskenta on rajattu työstä pois. Sähköurakoitsija tekee kokonaisuudessaan sähkötyöt, joten työ ei ole ohje sähkötöiden tekemistä varten.

2 Teoria

Aurinkoenergiaa saapuu kohtisuoraan maan kaasukehän ulkorajalle $1367\text{--}1370\text{ W/m}^2$. Tätä kutsutaan aurinkovakioksi, joka on säteilyn intensiteetin teoreettinen yläraja. Osa säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen ja osa absorboituu ilmakehään. Säteily on n. 1000 W/m^2 , kun säteily tulee kohtisuoraan maan pinnalle. Aurinkosähkösovelluksissa puhutaan auringon vuotuisesta kokonaissäteilystä. Se koostuu auringon suorasta säteilystä sekä hajasäteilystä pilvien, ilmakehän ja maan kautta (Kuva 1). Suomen vuotuisen säteilymäärän keskiarvo on etelän 980 kWh/m^2 ja pohjoisen 750 kWh/m^2 välillä. [1, s. 9-10.]



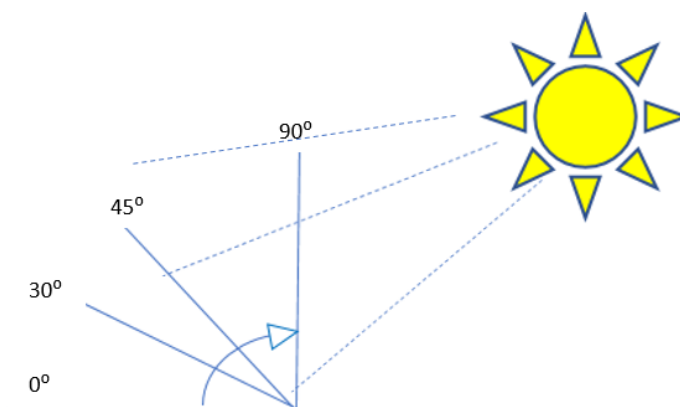
Kuva 1. Suora säteily auringosta ja hajasäteily pilvistä, maasta tms.

Suhteellinen auringonpaiste on havaitun paisteajan suhde suurimpaan havaittavissa olevaan paiste aikaan eli maksimipaisteeseen. **Suhteellisen paisteen vuotuinen maksimi** saavutetaan Lapissa jo maaliskuussa, muualla kesäkuussa. Kesäkuussa etelässä rannikolla se on yli 60 % ja Maarianhaminassa suurin 66,8 %. Kun sisämaassa se on pilvien takia välillä 55–60 %. Siirryttäessä Oulu–Kajaani-linjalta pohjoiseen arvot pienenevät alle 55 %. Sisämaassa muodostuu konvektioPilviä, mitä rannikolla syntyy vähemmän kylmän meriveden päällä. Sisämaassa pilvet syntyvät puolenpäivän aikaan ja häviävät illalla. Siksi sisämaassa suurin säteily määrä on aamupäivällä, rakennuksen itäseinälle tulee enemmän säteilyä kuin länsiseinälle. [2, s. 27-28.]

Tätä ilmaista energiaa hyödynnetään aurinkosähköjärjestelmissä useiden eri puolijohdemateriaalien avulla. Tällä hetkellä yleisimpiä ovat yksi- ja monikidepiikenojärjestelmät, joilla hyötysuhde η vaihtelee, monikidepaneeleilla η on 13–16 % ja yksikidepaneeleilla η on 15–20 %. [1, s. 12.]

Tekniikka kehittyy ja uusia järjestelmiä tulee kaiken aikaa, kuten ohutkalvopaneeli ja orgaaniset järjestelmät. Mutta yleisin yksikidepaneelin toiminta perustuu puolijohdemateriaalien P- ja N-aineen välisessä liitoksessa muodostuvaan sähkökenttään. Pn-liitoksen rajapinnassa auringosta saapuva valohiukkanen eli fotoni virittää elektronin ja saa aikaan sähkövirtaa. [1, s. 11-12.]

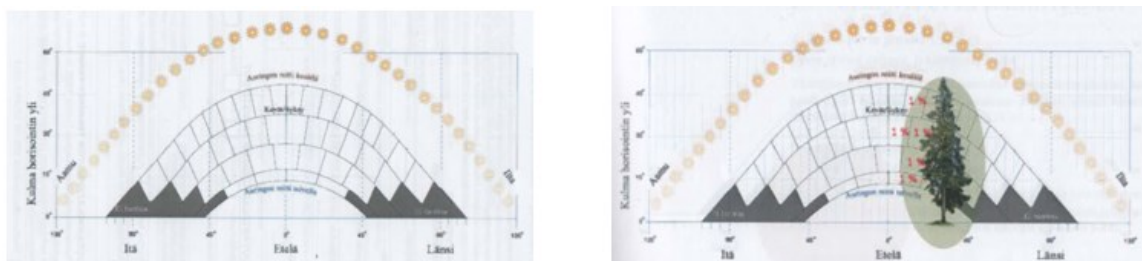
Aurinkojärjestelmän paneelien suuntauksen **dekliinaatio eli kallistus** suhteessa horisonttiin on tärkeä. Paneeli on makaava kulmassa 0° ja pystysuorassa 90° . Vuosituottoa ajatellen paras väli on väli $30\text{--}60^\circ$, kuva 2. Pohjoisessa talvella paneeli on hyvä asentaa pystysuoraan, kun aurinko nousee matalalle horisontissa. Mutta jos kesän huipputeho ratkaisee mitoituksen, paneeli on viisasta asentaa lähes vaakatasoon. [1, s. 21.]



Kuva 2. Paneelien kallistus

Toinen suuntaus on **atsimuuttikulma eli astepoikkeama etelästä**. Etelä on 0° , länsi $+90^\circ$ sekä itä -90° . Suuntauksella on suuri merkitys tuotannon ajoitukseen eri aikaan päivästä. Itään suunnattu tuottaa pitempään aamusta ja länteen illasta. Tämän vuoksi optimaalisen asennuspaikan valintaan vaikuttaa energian käyttöaika päivästä. [1, s. 19.]

Varjostus heikentää paneeliston tuotantoa. Järjestelmän sisäiset kytkennät tai paneelin sarjaankytkentä heikentää paneelin tuottoa tai osan siitä. Pahimmillaan jännite jää niin alhaiseksi, että järjestelmän säätö ei kykene pitämään tuotantoa yllä ja se pysähtyy kokonaan. Varjostuksia voidaan arvioida aurinkokaavion avulla. Siinä huomioidaan asennuksen suunta, auringon suurin nousukulma eri paikoissa ja varjostuksen vaikutus sektoreiden määrään. Suomessa auringon nousukulma on $45\text{--}55^\circ$ (Kuvassa 3 kulman horisontin yli). Yksi ruutu vastaa 1 % tuotannon heikennystä tuotantoon. [1, s. 21-23.]



Kuva 3. Oikealla aurinkokaavio varjostuksen arviointiin. Vasemmalla esim. 15 % varjostuksesta.

[1]

Lämpötilan vaikutus paneelin tehoon on noin 0,4 % yhtä lämpöastetta kohden laskevasti yli 25 °C ja nostavasti alle 25°C (kidepaneeli). Huonosti tuulettuvissa rakenteissa paneelin tuotto voi laskea jopa 30 %. Kevättalvella jo maaliskuussa auringonsäteily tuottaa hyvin paneelin kylmyyden vuoksi. Suomessa tuottoa lisää kylmäilma ja myös paneeliin kohdistuva lumen heijaste. [1, s. 22-23.]

Asennustapa vaikuttaa paneeliston tuotantoon tuuletuksen ja lämpötilan kautta. Tuuletuksen kannalta maa-asennuksella on paras tuotanto, jolloin paneeliston lämpötila pysyy alhaalla. Katolle tuuletusvälillä asennettu paneeli on seuraavaksi tuottoisin, kun taas katolle pienellä tuuletusvälillä integroitu paneeli lämpenee huomattavasti ja vähentää tuottoa. Julkisivuun asennettu paneelituuletus saattaa olla vähäinen tuulen suunnasta ja asennuskorkeudesta johtuen. Se tuottaa huonommin, mutta talvella etelään suunnattu seinäpaneeli tuottaa parhaiten matalalta tulevan valon vuoksi (kuva 4). Paneelin alla olevalla vaalealla materiaalilla voidaan vähentää paneelin lämpötilaa. Paras paikka paneeleille löytyy varjottomalta aurinkoiselta alueelta idästä ja länteen väliltä kello 9–17 aikaan. Etelän suurin tuotto tulee keskipäivällä, joka silloin pitäisi myös käyttää. Käytön kannalta kaakko- luodelappeet tuottavat aamusta iltaan se on helpommin käytettävissä pitkin päivää, mutta tuottoa on hiukan vähemmän. [3, s. 6.]

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	**

Kuva 4. Asennustavan vaikutus paneelin lämpötilaan ja tuottoon.(RT103076) [3]

2.1 Aurinko järjestelmää koskevat vaatimukset

Rakennushankkeeseen ryhtyvä vastaa, että järjestelmä noudattaa Suomen Rakennusmääräyskokoelman Maankäyttö- ja rakennuslakia (MRL) (132/1999). Sinä määrittellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta. Olennaiset tekniset vaatimukset koskevat rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta. Aurinkojärjestelmä ei saa heikentää rakennuksen paloturvallisuuden kokonaisuutta tai sen osia. On otettava huomioon myös rakenteiden kantavuus, osastoitavuus ja erityis. [1, s 40-42.]

MRL 14§ sanotaan, että kunnassa tulee olla rakennusjärjestys. Rakennusjärjestyksessä annetaan paikallisista oloista johtuvat suunnitelmallisen ja sopivan rakentamisen, kulttuuri- ja luonnonarvojen huomioon ottamisen sekä hyvän elinympäristön toteutumisen ja säilyttämisen kannalta tarpeelliset määräykset. Rakennusjärjestyksessä olevia määräyksiä ei sovelleta, jos oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa, asemakaavassa tai Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on asiasta toisin määrätty. [4.]

Rakennuslupa tarvitaan, jos rakennuksella on ilmeisesti sen käyttäjien turvallisuuteen tai terveellisyyteen vaikutusta, MRL 125§. MRL 126§:ssä luetellaan toimenpidevaraisia vaativia rakenteita, joita ovat esim. masto, tuulivoimalat tai vastaavat rakenteet (Erillislaitte), julkisivun muuttaminen (julkisivutoimenpide), kaupunki- tai ympäristökuvan merkittävä ja pitkäaikainen muuttaminen (kaupunkikuvajärjestely), kaupunkikuvaan tai ympäristöön merkittävästi vaikuttavan aurinkopaneelin tai -keräimen asentaminen tai rakentaminen. [4.]

Rakennushankkeeseen ryhtyvä vastaa siitä, että sellaiselle rakennukselle, jota käytetään pysyvään asumiseen tai työskentelyyn tai rakennusta varten tarvittavan rakennuspaikan tai tontin tekniseen hoitoon tai kunnossapitoon, laaditaan käyttö- ja huolto-ohje, 117 a §. [4.]

Aurinkosähköjärjestelmissä on noudatettava sähköasennuksia koskevia lakeja, asetuksia, määräyksiä ja ohjeita. Sähköturvalaki 1135/2016 vaatii asennuksien turvallisen tekemisen. Tämä varmistetaan noudattamalla sähköturvallisuusviranomaisten standardeja ja määräyksiä. Laissa veloitetaan tekemään asennukset Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) laatimassa standardiluettelossa (S10) olevien standardien ja muiden siinä lueteltujen ohjeiden mukaisesti.

Jakeluverkkoyhtiöiden oma Verkkosuositus YA9:13 päivitetty 3.12.2019 antaa ohjeita mikrotuotannon liittämisestä sähköjakeluverkkoon. [1, s. 31-33.]

Aurinkojärjestelmän kannalta olennaisimmat:

- SFS 600-1-1 ja SFS 600-1-2 käsikirjat
- SFS 6000 -standardit pienjänniteasennuksiin
- SFS 607 -käsikirjan standardit aurinkojärjestelmiin
- Pientuotantostandardi SFS- en 50549-1:2019
- VDE-AR-N-4105 2018-11: Saksan yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimivan mikrotuotantolaitteiston vaatimukset
- Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2018
- Muut aurinkosähköjärjestelmien laite- ja komponenttistandardit
- Aurinkosähkö paneeliston tarkastus ja käyttöönottotestit SFS-EN 62446-1

Sähkön pientuottajaa koskevat lait, määräykset ja ohjeet:

- Sähkömarkkinalaki (588/2013)
- sähköverolaki (valmisteverolaki 1260/1996 ja 480/2016)
- Valtionneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (66/2009)

Kiinteistökohtaisessa sähkömittauksessa enintään 100 kVA:n aurinkojärjestelmässä ei tarvita omaa sähkömittalaitetta (yli 100kVA:lle se vaaditaan), kun sähköyhtiön etäluettavalla sähkömittarilla erotellaan verkosta otettu ja siihen syötetty energia. Mittalaitteessa on näitä varten omat rekisterit. Mittarissa ei saa vähentää verkkoon siirrettyä ja verkosta otetusta energian määrää toisistaan eli netottaa. Tällainen netottaminen tehdään erillisillä tietojärjestelmillä mittaustietoja käsiteltäessä. Tästä on tullut 1.1.2021 voimaan valtioneuvoston asetus 66/2009 muutosten (22.12.2020/1133) mukaisesti, että mittaustiedot on netotettava tasejakson aikana viimeistään 1.1.2023. Tasejakso on tällä hetkellä tunti, tulevaisuudessa varttitunti. [1, s. 33.]

Toinen netotus on vaiheiden välinen eli hetkellinen netotus, kun samanaikaisesti sekä otetaan että käytetään sähköä verkosta. Hetkellinen netotus tapahtuu tasejakson aikana eri vaiheiden käytön välillä. Esim. yksivaihe syöttää verkkoon 100 W (myy) ja kaksi muuta vaihetta ottaa verkosta 30 W (ostaa). Eli tuotto on 100 W ja käyttö 60 W myydään ja ostetaan sopimushinnoilla ei netottavassa järjestelmässä. Kun taas netottavassa nämä vähennetään toisistaan jää 40 W (myy) netotusjakson sisällä. Osassa mittareita tämä toimii jo, mutta jatkossa myös tämä tapahtuu erillisten tietojärjestelmien avulla, viimeistään 1.1.2023. [1, s. 34-35.]

Yhteistietolomakkeella tuottaja täyttää sähköverkkoyhtiön asettamat vaatimukset, liittynät, mittaukset sekä tekee sähköyhtiön kanssa sopimuksen verkkoon myytävästä sähköstä. Verkkoyhtiö antaa luvan liittyä verkkoon. Sähköstä ei makseta veroa, jos tuotetaan enintään 100 kVA:n laitteistolla tai sitä suuremmalla, joka tuottaa enintään 800 000 kWh. Sähköverkkoyhtiö maksaa veron sähköstä, kun se myydään kulutukseen. [1, s. 35-36.]

Veroviranomaisen mukaan ylijäämä sähkömyyntitulo on kotitalouden myyntitulo. Verotettavaa tuloa ei synny, jos tuotanto on kulutusta pienempi verovuonna. Sitä ei ilmoiteta veroilmoituksessa, mutta tuotantoon liittyvät tositteet on säilytettävä viisi vuotta verotuksen päättymistä seuraavan vuoden alusta lukien. Poistamattomista hankintamenoista pidetään kirjaa, vuoden poistojen laskemiseen. Tuottaja voi siirtää sähköä hallinnassaan olevien kiinteistöjen välillä, mutta se kannattaa tarkistaa tapauskohtaisesti. [1, s. 36-38.]

Tukesilla on toiminnanharjoittajarekisteri, josta asentajan oikeudet voi tarkistaa. Sähköasennustyö vaatii sähköasentajan /-urakoitsijan S1- tai S2-sähköpätevyyden.

2.2 Aurinkosähkö- eli mikrotuotannonjärjestelmän pääosat

Verkkoon kytkettävä aurinkopaneeli järjestelmä koostuu (Kuva 5):

- Aurinkopaneeleista, kiinnitystelineestä ja katon mukaisista kiinnitystarvikkeista
- DC-erotuskytkimestä (usein invertteri sisältää sen) ja -kaapeloinnista
- Invertteristä
- AC-kaapeloinnista ja AC-turvaerotuskytkimestä
- Kiinteistön sähkökeskuksesta
- Etälueuttavasta sähkömittarista, jonka kautta liitytään yleiseen sähköjakeluverkkoon.

Verkkoon kytketty eli On-Grid PV -järjestelmä

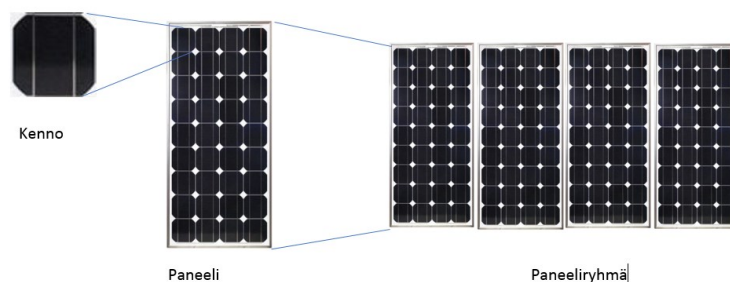


Kuva 5. Verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat osat: Aurinkopaneelit ja kiinnitystelinejärjestelmä, DC-kaapelit (DC-kytkin), invertteri, verkkoerotuskytkin, AC-puolen kaapelit ja sähkökaappi/pääkeskus, sähkömittari [7]

2.2.1 Paneelit

Aurinkopaneeli muuttaa auringonvalon eli auringon säteilyn sähköksi. Tässä työssä keskitytään yksikidepaneeleihin niiden yleisyyden ja saatavuuden vuoksi sekä työn yksinkertaistamiseksi.

Paneeli koostuu sarjaankytketyistä kennoista (Kuva 6). Kun yksikin sarjassa olevista kennoista on varjostettuna, sähköntuottoteho paneelissa alenee huomattavasti. Paneeleissa on suojadiodit, joiden avulla ohitetaan nämä varjostuneet tai tuottamattomat kennosarjat. Kennosarjat on koteloitu ilmatiivisti karkaistun lasin alle, kehystetty alumiinikehykseen ja paneelin taakse on sijoitettu DC-kaapelit. Paneeli on suojattu kosteudelta (IP65–67) ja mekaanisilta rasituksilta (esim. Paine 5400 Pa, imu 1600Pa). Paneelit kytketään sarjaan (3–252 kpl).



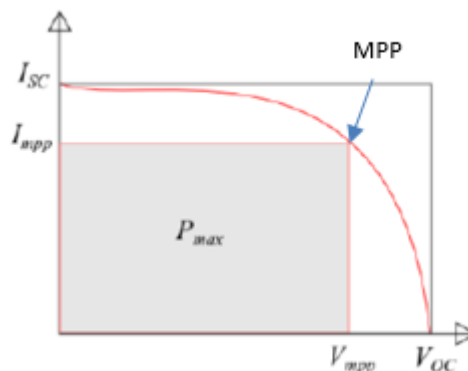
Kuva 6. Aurinkopaneeli rakenne: Kenno, paneeli ja paneeliryhmä.

Paneelien maksimiteho eli nimellisteho ilmoitetaan wattipiikkeinä (Wp). Se on mitattuna standardiolosuhteissa (STC: 1000 W/m², paneelin lämpötila 25 °C, ilmassa AM 1,5), jotta eri paneelien vertailu olisi helpompaa. Piikidepaneelin yleisimmät tehot ovat 265–370 Wp. Esim. yksikidepaneelin nimellisteho on 300 Wp, jos 25°C mittatilanteessa säteilyteho on 800 W/m², aurinkopaneeli tuottaa 240 wattia.

$$\frac{800 \frac{W}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}} \times 300 W = 240 W$$

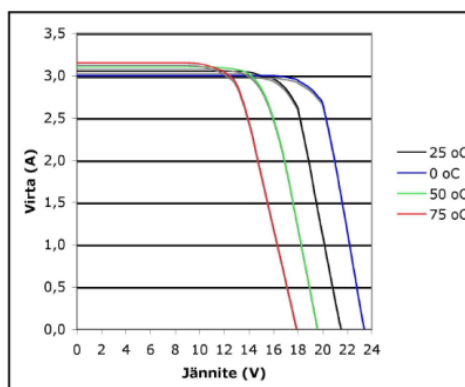
Paneelin tehontuotantoa arvioidaan virta-jännitekäyrällä (Kuva 7). Teho vaihtelee paneelin tyhjäkäyntijännitteen (V_{oc}) ja oikosulkuvirran (I_{sc}) tulojen mukaan. Tyhjäkäyntijännite on paneelin jännite ilman kuormaa ja oikosulkuvirta on virta, kun paneelin navat oikosuljetaan. Valmistaja ilmoittaa optimaalisen toiminta- tai tehomaksimipisteen (P_{mpp}). Tämä P_{mpp} kuvaa niitä virran (I_{mpp}) ja jännitteen (V_{mpp}) arvoja, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho kulloisessakin

käyttöolosuhteessa. $P_{mpp} = I_{mpp} \times V_{mpp}$. Tämä on vaikea saavuttaa, sillä valoisuusolosuhteet vaihtelevat. [6, s. 35-36.]



Kuva 7. Aurinkopaneelin virta-jännitekäyrä sekä maksimitehopiste (MPP) [6, s. 36]

Lämpötila vaikuttaa paneelin tehoon. Ominaiskäyrästä ei lämpötiloilla, kuva 8.



Kuva 8. Aurinkopaneelin ominaiskäyrä esimerkki eri lämpötiloilla. [6, s. 37]

Paneelin hyötysuhde (η) tarkoittaa aurinkopaneelin tehosta saatavaa osaa, joka voidaan muuttaa sähköksi. Hyötysuhde on parhailla ja kalliilla paneeleilla yli 20 % (yksikide), ja edullisilla 15–17 %. Hyötysuhde määritellään jakamalla nimellisteho (Wp) paneelin pinta-alalla, standardiolosuhteiden säteilymäärällä 1000 W/m^2 . [1, s.12.] Esim. Standardioloissa 330 Wp:n $1,68 \text{ m}^2$ paneelin hyötysuhde on 19,6 %. ($\eta = 330 \text{ W}/(1,68\text{m}^2 * 1000 \text{ W/m}^2)$). Ikääntyessään paneelien suorituskyky laskee. Esim. se on 10 vuotta 90 % ja 25 vuotta 80 % alkuperäisestä suorituskyvystä [6, s. 19]

Montako paneelia tarvitaan, määräytyy halutun järjestelmän koon, invertterin ja käytettävän asennuspinta-alan mukaan. Valitaan haluttu teho, lasketaan paneelien määrä ja tarvitsema

pinta-ala. Esim. jos haluttu teho olisi noin 6 kVA ja paneelin nimellisteho olisi 330 Wp ja paneelin mitat 1 x 1,7m. Tehoksi saataisiin 20:llä paneelilla 6,6 kWp. Paneelin viemä pinta-ala olisi minimissään 34 m², sillä paneelien väliin tulee kiinnikkeet ja paneelien reunoille jätetään tilaa liikkumista ja huoltoa varten.

Suomessa on hyväksytyjen aurinkopaneelien tarpeellisia testauslaboratorion myöntämiä sertifikaatteja. Standardin mukaisten testien läpäisemisestä ovat [5.]:

- IEC 61730 – Aurinkopaneelien sähköturvallisuuteen liittyvät vaatimukset
- IEC 61215 – Paneelin ominaisuuksiin ja niiden toimintaan liittyvät vaatimukset

Erikoiskohteissa kuten maataloilla ja saaristossa myös:

- IEC 61216 – Ammoniakin kestävyys, esim. kohteissa, joissa käytetään lannoitteita
- IEC 61701 – Suolavesihuuruksen kestävyys, esim. meren rannikoilla ja saaristossa
- IEC 62938 – Aurinkopaneelin kantavuus

2.2.2 Invertteri eli vaihtosuuntaaja

Verkkoonkytkettävän järjestelmän Invertterin tehtävänä on muuttaa aurinkopaneelien tuottaman tasajännitteen vaihtojännitteeksi (230 VAC 50 Hz). Jakeluverkkoyhtiöt vaativat inverttereille suojausstandardit. Tällä hetkellä hyväksytyt standardit ovat VDE-AR-N-4105 -standardin 2018-11-versio eli ns. VDE-AR-N-4105:2018 sekä SFS-EN 50549-1:2019 -standardin 2019 versio. Tällä varmistetaan jakeluverkon mahdollisimman häiriötön toiminta ja estetään järjestelmän saarekekäyttö sekä saavutetaan suojasetusten toteutuminen vaaratilanteissa. Esim. syöttö verkkoon loppuu, kun sähköverkko on alhaalla vian tai korjauksen vuoksi. Sähkö syötetään turvakytkimen kautta kiinteistön verkkoon ja sieltä yleiseen sähköverkkoon. [1, s.32.]

Usein Invertterissa on MPPT-toiminto (Maximum Power Point Tracking eli maksimitehopisteen seuranta). Se tuottaa sähkötehon mahdollisimman suurella eli optimoidulla hyötysuhteella, vaikka tuleva jännitteen ja virran suhde vaihtelevat. Yleensä invertterissä on kaksi MPPT-liitinparia, eri olosuhteissa olevia paneeliketjuja eli stringejä varten. Kaikki paneeliketjussa olevat paneelit ovat samaa tyyppiä ja suunnattu samoin. Eri liittymiä käytetään, jos yksi paneeliketju on suunnattu itään aurinkoon ja toinen etelään. [6, s.35, 45.] On olemassa myös muita kuin MPPT-periaatteella toimivia inverttereitä, kuten PWM-säätöjärjestelmä sekä paneeliketjukohtaiset mikroinvertterit [1, s.17].

Invertterin koko määräytyy järjestelmän halutun tehon ja paneelien jännitteen mukaan. Esimerkiksi 20 kappaleen 330 Wp paneeleilla tuotetaan 6,7 kWp standardiolosuhteissa. Invertterin voi mitoittaa 6 kW:ksi, varsinkin jos ei ole tarvetta laajentaa järjestelmää jatkossa. Invertterin maksimiteho on kuitenkin hieman alhaisempi kuin paneelien nimellisteho. Paneelit harvoin toimivat nimellisteholla normaaliolosuhteissa. [5.]

Yleisin on kolmivaiheinvertteri, joka syöttää sähkötehon kaikille kolmelle vaiheelle tasaisesti. Suuritehoiset laitteet on kytketty näihin kaikkiin kolmeen vaiheeseen, kuten kiuas, liesi, lämminvesivaraaja, mutta pienitehoiset laitteet käyttävät vain yhtä vaihetta. Pienissä alle 3 kWp:n järjestelmissä voidaan käyttää yksivaiheinvertteriä, joka on harvinainen nykyään. Se syöttää sähkötehon vain yhdelle kiinteistön vaiheelle. Silloin täytyy tietää, mitkä laitteet käyttävät tätä vaihetta, jotta käyttöteho voidaan hyödyntää parhaiten. Verkkoyhtiö tutkii yksivaiheisen järjestelmän vakauden tapauskohtaisesti ennen liittymislupaa. [5.]

Kolmivaiheinvertterit ovat kooltaan 3–25kVA. DC-liitäntäteho kertoo aurinkopaneelien yhteistehon, joka voidaan liittää invertteriin. VA-teho kertoo maksimitehon, jonka invertteri voi maksimissaan tuottaa, vaikka paneelit tuottaisivatkin enemmän sähköä. Eli invertteri rajoittaa tuotettavan maksimitehon. [5.]

Invertterin voi asentaa ulos tai sisälle. Hyötysuhde hyvässä invertterissä on 96,5–98,2 %. Tämän osan se muuttaa tasasähköstä verkkosähköksi ja loppuosa muuttuu invertterin hukkalämmöksi. Ulosasennettavan invertterin IP-luokitus täytyy olla riittävä ($IP \geq IP65$). Sillä estetään kosteuden ja pölyn pääsy laitteeseen ja vähennetään kondenssiveden muodostumisen haitat. Myös lämpötilan kestävyys täytyy tarkistaa kovien pakkasten osalta sekä helteellä tarvittavan viilennyksen saaminen. [5.]

Sisälle asennettaessa, invertterin lämpötila pysyy tasaisempana ja sen kunto on seurattavissa paremmin. Riittävällä vapaalla tilalla invertterin ympärille varmistetaan sen hyvä tuuletus. Myös melutaso otetaan huomioon sijoitettaessa se sisätiloihin. Arktisiin olosuhteisiin tuotannon kannalta parhaiten soveltuu invertteri, jonka kytkeytymisen kynnysjännite eli minimitoimintajännite on mahdollisimman alhainen. Se mahdollistaa tuotannon kytkeytymisen päälle pienillä säteilymäärillä. [8, s. 26.]

Invertterissä voi olla oma näyttö tuotannon seurantaan tai liitin tietoverkkokaapelille tai antenni. Tuotannon seurantaan monet järjestelmän toimittajat tarjoavat tuotannonseurantapalveluja, jonka avulla oman aurinkojärjestelmän tuotantoa voi seurata reaaliaikaisesti mobiilisti, WLAN ja verkon kautta. (Suositellaan suojattua verkkoyhteyttä. Ethernet, Bluetooth, WLAN, RS422, ym.). [5.]

2.2.3 Kaapelointi ja erotuskytkin

Kaapelointi kuuluu luvanvaraisiin sähkötöihin, joilla on tarkat määräykset. Verkkoon kytkettyjen vaihtojännitteisten aurinkosähköjärjestelmien sähkötyöt saa tehdä vain yritys, jolla on sähköasennusoikeudet. Asentajan on oltava riittävän pätevyyden omaava sähköalan ammattilainen. Järjestelmän suunnittelija laskee oikeat kaapelit, paneelit ja invertterin järjestelmän koon mukaan, ja varmistaa materiaalit ja niiden yhteensopivuuden, jota on noudatettava. [7.]

Sarjaankytketyissä paneeliketjuissa syntyy 200–800 V tasajännitettä. Näin korkeiden jännitteiden takia tuotteiden on oltava turvallisia ja laadukkaita. Standardit SFS- EN 50521 tai SFS- EN 62852. Virheellinen kytkentä on suuri riski, joka näkyy eristevaurioina, maasulkuina, tulipalona, jotka voivat aiheuttaa hengenvaaraa, takuun ja vakuutuskorvauksen menettämisen. [1, s. 152-153.]

Aurinkopaneelien kaapelit ovat erikois-DC-kaapeleita (esim. PV1-F). Invertterille valitaan lyhin reitti, koska tehohäviö kasvaa huomattavasti kaapelin pidettäessä. Liittimien liitokset tehdään valmistajan hyväksymillä työkaluilla ja momenteilla, jotta varmistutaan liitoksien turvallisuudesta. (esim. MC4-liittimellä on oma työkalu kaapeliin liittimen kiinnitykseen) Aurinkopaneeleissa on valmiina noin metrinmittaiset, plus- ja miinuskaapelit, joissa on DC-liittimet. [5.]

Suunnittelussa tarkistetaan rakennuksen maadoituskaapeli tai viedään maahan tarvittava kuparikaapeli, jotta se on järjestelmän mukainen ja riittävä. Aurinkopaneelien kehykset maadoitetaan telineisiin kiinnikkeillä. Katolla järjestelmän maapotentiaalit ja telineet kytketään potentiaalitasauskaapeilla rakennuksen maapotentiaalitasauskiskoon. Katolla kaapelien reitityksessä plus- ja miinusjohdot kulkevat vierekkäin eli silmukat ovat mahdollisimman pienet. Näin ne muodostavat pienen yhteisen pinta-ala ns. antennin, joka ukkosella salamaniskusta saattaisi indusoida vaarallisen suuren ylijännitteen. [3, s. 12.]

Kaapelointi joutuu kovalle rasitukselle mekaanisesti esim. sään vuoksi. Katolla lämpötila nousee jopa +70 asteeseen sekä UV-säteily vaurioittaa ja haurastuttaa erityisesti muoviosia. Kiinnikkeiden ja liittimien on kestävä UV-valoa, kuumuutta sekä pakkasta. Kiinnikkeiden pitää kestää paneelin iän tai oltava helposti uusittavissa. Liittimissä ei saa olla teräviä reunoja, jotka vaurioittaisivat kaapelia sen liikuessa. Kaapelille ilmoitetaan sallittu taittokulma, jota ei saa ylittää. Materiaalien lämpölaajeneminen saattaa löystyttää liitoksia. Liitoksien ruuveille vaaditaan tietyt vääntömomentit, ja johdoille vedonpoistajat sekä vähimmäispituudet liikkumavaraksi.

Kaapelit kiinnitetään paneelin alle telineisiin, niin etteivät ne jää roikkumaan. Kaapeli kiinnitetään kaapelinliittimien molemmin puolin telineisiin, mikä estää mahdollisen liitoksen irtoamisen kaapelivedolla. [1, s.153.]

Asentaja kiinnittää invertteriltä lähteviin DC-liittimet DC-kaapeleihin ennen kuin paneelit liitetään toisiinsa. Paneeleissa sähkövirran tuotto alkaa heti kun siihen osuu auringon valo. Näin varmistetaan asentajan turvallisuus, kun kyseessä ovat suuret jännitteet. Kaapeloinnit invertteriltä katolle viedään metallisuojausputkessa (JAPP), jonka päihin laitetaan suojaholkit. Suojausputki maadoitetaan ja läpiviennit tiivistetään. Suojausputkessa ovat kaikki kolme kaapelia, plus-, miinus- ja potentiaalintasausjohto, aina paneelisarjaa kohti. Näin suojataan kaapelit, ja estetään rakenteisiin piiloon jääviä vaaratilanteita. Suojausputki suojaa kaapeleita myös jysyjiltä. AC-puolen kaapelointi invertteriltä viedään lukittavan AC-turvaerotuskytkimen kautta sähkökaappiin, jossa on johdonsuojat ja vikavirtakytkimet. Ja lopulta kaapelointi viedään etäluettavalle sähkömittarille. Tietoverkkoa varten kytketään tuotannon ohjausjärjestelmän käyttöjännite ja tietoverkkokaapelin vedot. Kaikki kaapelit merkitään liitoskohdissa. [3, s. 12-13.]

2.2.4 Sähkömittari ja valvontalaitteet

Jakeluverkkoyhtiö tarkastaa verkon keston ja liittymän tulevan aurinkojärjestelmän tietojen mukaan. Kiinteistön pääsulakkeet rajaavat osaltaan paneeliston tuotannon maksimitohon. Jakeluverkkoyhtiö huolehtii kohteeseen soveltuvan mittarin. Aurinkosähkøjärjestelmä, jonka nimellisteho on enintään 100 kVA ei tarvitse erillistä mittalaitetta. Riittää kun kohteessa on verkkoyhtiön etäluettava sähkömittari, joka mittaa erikseen sähköverkosta otetun ja siihen syötetyn energian. Mittalaite ei saa netottaa ottoa ja antoa, vaan ne tallennetaan omiin rekistereihin. [1, s 33-34.]

On sähkömittareita, joissa on toinen netotuskeino, hetkellinen netotus. Tässä netotus tapahtuu vaiheiden välillä. Tämä ei enää vaikuta, kun netotus tehdään tietojärjestelmillä tasejakson aikana valtioneuvoston asetuksen (66/2009) mukaan tuntikohtaisesti (myöhemmin vartti tunnein) 1.1.2021 lähtien viimeistään 1.1.2023. [1, s 33-34.]

Verkkoyhtiön vaatima lukittava turvakytkin on yleensä ulkoseinässä tai sähköyhtiön saatavilla. Se katkaisee tuotannon ja irrottaa järjestelmän sähköverkosta. Samalla estetään järjestelmän saarekekäyttö eli järjestelmää ei voi käyttää, jos sähköverkko on alhaalla. Invertteriltä kytkentä menee lukittavalle turvaerotuskytkimelle. Kytkimeltä kaapelointi menee kiinteistön sähkökaapin kautta kiinteistön sähköverkkokäyttöön ja sieltä ylimääräinen tuotanto yleiseen jakeluverkkoon sähkömittarin kautta. [3, s. 53.]

Laitteistoon vaaditaan turvamerkinntät. Kytkin, sähkökeskukset sekä invertteri varustetaan aurinkopaneelimerkillä tai varoitusmerkinnällä takajännitteestä. Verkkoyhtiö tarkistaa järjestelmän ja sähköverkon kuormituksen keston ja vaatii käyttöönottestit, tarkastukset ja dokumentoinnin. Järjestelmää ei saa liittää verkkoon ennen verkkoyhtiön lupaa. Verkkoyhtiölle toimitetaan asentajan täyttämä yleistietolomake. [1, s. 120.]

Sähköverkkoon ei saa syöttää korvamerkitsemätöntä sähköä. Siksi tuottajan täytyy tehdä sopimus ylituotannon myymisestä sähkönostajan eli sähköntoimittajan kanssa ennen verkkoon liittymistä. Kun tuotantolaitos täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset, tuottajalla on oikeus liittää tuotanto verkkoon.[1, s. 35.]

Valvontalaitteet helpottavat tuotannon seurantaa ja ennen kaikkea ohjausta. Järjestelmiin on saatavina hyvin erilaisia laitteita, jotka toimivat verkkojärjestelmillä ja/tai mobiilisovelluksilla.

Järjestelmät antavat historiatietoa tuotannosta ja sen toiminnasta, päivittäin viikoittan kuukausittain ja vuosittain. Voi seurata sähkölaskun oikeellisuutta.

Aurinkopaneelijärjestelmän tuotanto vaihtelee hyvin nopeasti ja sen vuoksi on myös tuotannon seurannan oltava reaaliaikainen. Tuotannon seurantalaitteesta näkee heti, kun sähköä on yli oman tarpeen. Silloin se voidaan hyödyntää sähkölaitteessa, jota käytettäisiin kuitenkin myöhemmin. Tämän avulla kulutuksesta tulee näkyvää, kun laitteesta näkee paljonko mikäkin laite kuluttaa käytön aikana. Kiuas 8 kW, ilmapumppu 1,5 kW lämmitysvaiheessa ja 0,8 kW ylläpitovaiheessa, pesukone 2 kW vedenlämmitys vaiheessa ja 0,2 kW pesunaikana. Toisaalta jos sähköä ei ole voi pesupäivän siirtää aurinkoisemmalle päivälle. [5.]

Kuvassa 9 näkyy kulutustottumuksen vaikutus tuotannon hyötykäytön seurauksena. Alussa sähkön käyttö on aamu- ja iltapäivällä. Säädon ansiosta kulutus ja tuotanto kohtaavat. Tilanne on optimaallinen, minkä saavuttaminen on vaikeaa ilman automaattiohjausta. Automaation kautta voidaan laitteistosta riippuen, voidaan ohjelmoida tiettyjä toimintoja keskipäivälle. Esim. vedenlämmittäminen. Monimutkaisimmat laitteet pystyvät toimimaan sääennusteiden ja sähköhinnan mukaan tai seurata yksittäisten aurinkopaneelien toimintaa. Laitteistojen hinnat ovat sitten jo kalliita. Mutta halvimmilla laitteilla (300–1000 €) seuranta on jo kattava ja sillä voidaan ohjata jo yksittäistä laitetta. Esimerkiksi sähköautonlatausta.



Kuva 9. Sähkönkulutus tottumuksen vaikutus. Vasemmalla on vanha tottumus ja oikea kulutuksen hienosäätö aurinkosähkön tuotannon mukaan. [9.]

2.3 Kuormat

Kun katolle lisätään rakenteita, on huomioitava katolle aiheutuva lisäkuorma. Periaatteessa lumikuorma ei juurikaan lisääntyisi katon myötäisen paneelin ansiosta, ellei se aiheuta lumen kinostumista tai pääse paneeliston alle. Katon omapaino lisääntyy telineiden ja paneelien painon verran. Nämä on huomioitava kantavuuslaskennassa tasolle tuleva neliömetri painolisäyksenä. Myös kiinnikkeiden kohdalla syntyy pistekuormia, joita voidaan hallita kiinnikkeiden määrällä tai rakenteen vahvistamisella.

Vanhoissa rakennuksissa ja erityisesti sellaisissa, joissa on pitkät jännevälit (12 m), on alkuperäinen mitoitus tehty todennäköisesti huomattavasti pienemmillä luonnonkuormilla, kuin mitä se tehdään nykypäivänä. Rakennukselle lasketaan uuden rakenteen kantavuuslaskelmat, jotta voidaan varmistua rakenteiden kestävyys. Jos toimittaja ei tee laskelmia rakennukselle on kiinteistön omistajan huolehdittava, että rakenne kestää tulevan kuorman. [12.]

Rakenteen kuormat luokitellaan *seuraamusluokkiin, käyttöluokkiin ja kuormien aikaluokkiin*. Ensimmäisessä luokassa eli seuraamusluokassa (CC1– CC3), omakotitalo tai varistorakennus kuuluu luokkaan CC2 eli keskisuuret seuraamusluokkaan, jolla luotettavuusluokka on RC2 ja kuormakerroin K_{FI} on 1,0. Toinen eli käyttöluokka on rakenteiden ympäristöolosuhteiden mukaan 1–3. Olisi puurakenne ulkona kuivana ja suojassa perusteella käyttöluokka 2. Ja kolmas on kuormien aikaluokka, joita ovat pysyvät (yli 10 vuotta), pitkäaikaiset (6 kk–10 vuotta), keskipitkät (1 vko–6 kk), lyhytaikaiset (alle viikko) ja hetkelliset kuormat. *Pysyvään kuormaan G* luokitellaan omapaino. *Muuttuvia kuormia Q* ovat tuuli-, lumi- ja hyötykuorma. [10, s. 10-15.]

Omapaino lasketaan piirustuksista mittojen mukaan ja rakennusosien tilavuuspainojen ominaisarvojen mukaan. Lumikuormaan vaikuttavat katon muoto, kattokaltevuus, maantieteellinen sijainti ja lumen kinostuminen. Puuskanopeuspaineen avulla määritellään tuulikuorma, johon vaikuttavat rakenteen korkeusasema, maastoluokka ja pinnanmuodot. Tuulikuorma voidaan kohdentaa katon eri pinta-aloja kohti painekertoimien avulla. [11.]

Toisaalta pistemäisten kuormien aiheutuminen paneelitelineen kiinnikkeiden ansiosta kannattaa tutkia. Varmistetaan rakenteiden kiinnityskohdat, että ne ovat tarpeeksi jämät pistemäisen kuorman vastaanottamiseen.[11.] Toimittajat laskevat telineen kiinnikkeisiin kohdistuvat kuormat, joilla todetaan riittävä liitinmäärä neliömetrille sekä liittimen kantavuudelle. Profiili- ja

huopakaton läpi vietävät pultit kiinnitetään kattotuoliin. Tässä vaiheessa on hyvä tarkistaa kattotuolin yläpaarre ja siihen porattava ruuviliitos, ettei liitos heikennä kattotuolin kantavuutta.

Paneelien kantavuudessa huomioidaan niiden tuenta. Ne kiinnitetään pitkiltä sivuilta telineeseen, ei nurkista. Huonosti tuettu aurinkopaneeli taipuu herkästi, lasipintaan tulee huomaamattomia mikromurtumia. Murtumat heikentävät paneelin tehoa ja voivat myös aiheuttaa paneelin ylikuumentumista ja oikosulkuja. [13.] Paneelin toimittajat ilmoittavat paneelin paine ja imuvoiman keston, se on tasaisesti paneelin pinnalla. (Esim. Paine 5400 Pa= 540 kg/m², imu 1600Pa = 160 kg/m²).

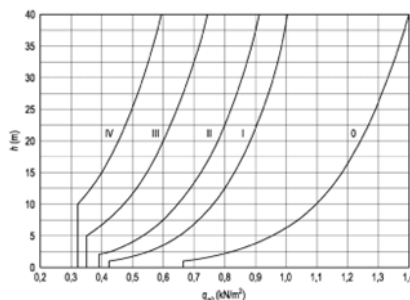
2.3.1 Tuulikuorma

Tuulikuormaan vaikuttaa ympäröivän maaston pinnanmuodot. Tuulikuorman suuruus riippuu siitä, missä paneelit sijaitsevat esim. rakennuksen katon nurkissa tai lähellä räystästä, toisaalta mistä suunnasta tuulee ja minkä muotoinen rakenne on. Tuulikuorma lasketaan pintoihin vaikuttavien painekertoimien avulla. Laskennassa negatiivinen tulos on tuulen aiheuttama imupaine eli rakenteesta pois päin ja positiivinen paine rakenteeseen päin. Eurokoodi 1. tuulikuormien suunnitteluohjeessa EN 1991-1-4 lasketa aloitetaan selvittämällä alueen maastoluokka. Luokkia on viisi 0, I, II, III, IV [Taulukko 1]. [10.]

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Taulukko 1. Maastoluokat [10, s. 10]

Jos lähellä on äkillisiä maaston muutoksia, korjataan maastoluokkaa korjauskertoimilla. Maastoluokan avulla saadaan puuskanopeuspaine $q_{p0}(z)$ [kN/m²] tasaisessa maastossa, taulukosta korkeusaseman z avulla, taulukko 1. Korkeusasema lasketaan maanpinnasta rakennuksen paikalla. Suomen tuulennopeuden modifioimaton perusarvo on $v_{b,0} = 21$ m/s, jota tarkennetaan suuntakertoimella (c_{dir} yleensä 1) ja vuodenaikakertoimella (c_{season} yleensä 1) saadaan tuulennopeuden perusarvo v_b . Eli $v_{b,0} = v_b = 21$ m/s. Esim. maastoluokka II ja korkeusasema $z = 4,5$ m. Puuskanopeuspaine $q_{p0}(z)$ on 0,49kN/m². Kuva 10. [10.]



Kuva 10. Nopeuspaineen ominaisarvot $q_{p0}(h)$ eri maastoluokissa, kun $v_b = 21$ m/s. [10, s. 13]

Laskettaessa rakenteen pintoihin vaikuttavaa tuulikuormaa se voidaan laskea pintapaineiden avulla. Pintoihin vaikuttava ulkopuolinen kuorma $F_{w,e}$ lasketaan:

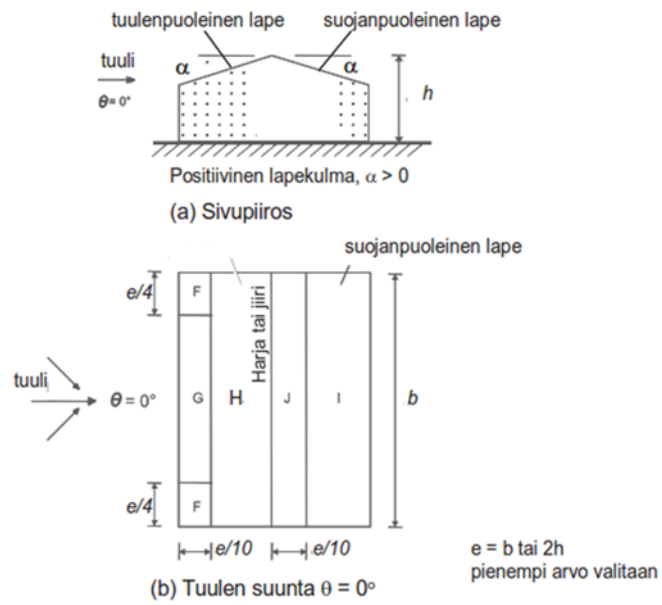
$$F_{w,e} = C_s \times C_d \times \sum w_e \times A_{ref} \quad \text{Kaava 1,}$$

jossa $w_e = q_p(z_e) c_{pe}$ yksittäiseen pintaan korkeudella z_e vaikuttava ulkopuolinen paine

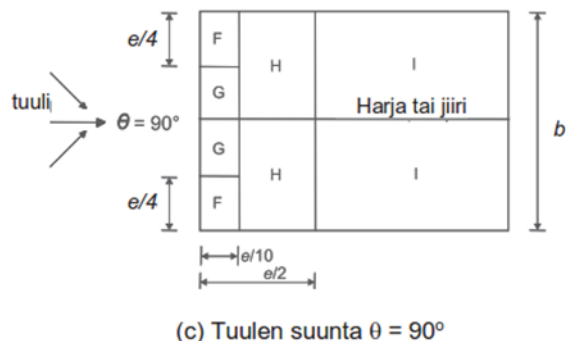
c_{pe}	ulkoisen paineen kerroin
z_e	nopeuspainekorkeus
A_{ref}	yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala
$C_s \times C_d$	rakennekerroin vesikatolla on 1 (rakenneosan ominaistajuus on yli 5 Hz)

Eurokoodi EN 1991-1-4 on suunnitteluohje tuulikuormille. Ulkoisenpaineen painekerroin c_{pe} avulla selvitetään paine tiettyä pinta-alaa kohti rakenteen mukaan. Näitä on ohjeessa mallinnettu mm. tasa-, harja-, pulpetti-, auma- ja kupolikatoille. Laskennassa painekertoimen negatiivinen tulos on tuulen paineen imu eli rakennuksesta pois päin ja positiivinen paine rakennukseen päin.

Esimerkki harjakatosta: Matalaan, alle 15 metriä korkeaan harjakattoon tuleva tuuli määräytyy katto alueisiin F,G,H,I ja J. Sivulta tuleva tuuli (kuva 11), katto jakautuu alueisiin e mukaan. Tämä e määräytyy pienimmän arvon mukaan joko $e=b$ tai $e=2h$, jossa b on tuulen suuntaisen sivun mitta ja h on rakennuksen korkeus. Näitä vastaavat ulkoiset paineet löytyvät suunnitteluohjeesta katon kaltevuuskulmankohdalta kattoalueittain. Katon miinus kaltevuus tarkoittaa kuvakattoa. Vastaaville alueille harjakaton päätyyn tuleva tuuli lasketaan (kuva 12). Ulkoisen paineen kerroin riippuu kuormitusalaan A_{ref} koosta. Arvot on ilmoitettu aloille 1 m^2 ja 10 m^2 , joiden väliarvot saadaan logaritmisesta interpolointikaavan avulla. [11.]



Kuva 11. Harjakaton tuulialueet suunnasta 0° (myös kuvetaiteinen katto, kun lapekulma alle 0).
[11]



Kuva 12. Harjakaton tuulialueet suunnasta päädystä 90° (myös kuvetaiteinen katto, kun lapekulma alle 0). [11]

2.3.2 Lumikuorma

Suomessa peruslumikuorma vaihtelee välillä 1,4–2,6 kN/m², joka on 140–260 kg/m². Se kuvaa tasakatolla olevan lumen määrää, joka esiintyy joka 30 vuosi. (Kuva 13 oikea). Lumen tiheys vaihtelee pakkaslumesta painavaan suojalumeen: kuiva 0,08–0,13 kg/dm³ ja märkä <0,95 kg/dm³. Esim. 0,6 m:n lumi katolla huhtikuussa Pohjanmaalla 210 kg/m³ on 126kg/m². Lumenpaino on suurimmillaan kevättalvella. Lumen vesipitoisuus pienentää lumen liukukerrointa aurinkopaneelilla. [12.]

Aurinkopaneelin pinta-ala on noin 1,7 m². Paneelitiedoissa ilmoitetaan paneelin paineen kesto esim. 5000 Pa eli 500 kg /paneeli. Eli paneeli kestää n 294 kg/m². Mutta tämä tarkoittaa paneelin etupinnalle tasaisena kerroksena tulevaa painoa. Paneelit eivät kestä pistemäisiä kuormia, kuten esim. kävelyä paneelin päällä. Paneelin taipuminen aiheuttaa mikromurtumia ja ne voi havaita vain laboratorio-olosuhteissa. Nämä saattavat jäädä piiloon ja aiheuttaa vakavia ongelmia myöhemmin. Lumikuorman kestävyys vaikuttaa suuresti paneelin asennustapa. Paneeli kiinnitetään pitkiltä sivuilta, ei nurkista ja se lepää alumiinirunkoisen telineen päällä.

Eurokoodisuunnittelu EN1991 lumikuorma EN 1991-1-3 mukaan lumikuorma (s) lasketaan kaavalla 2.

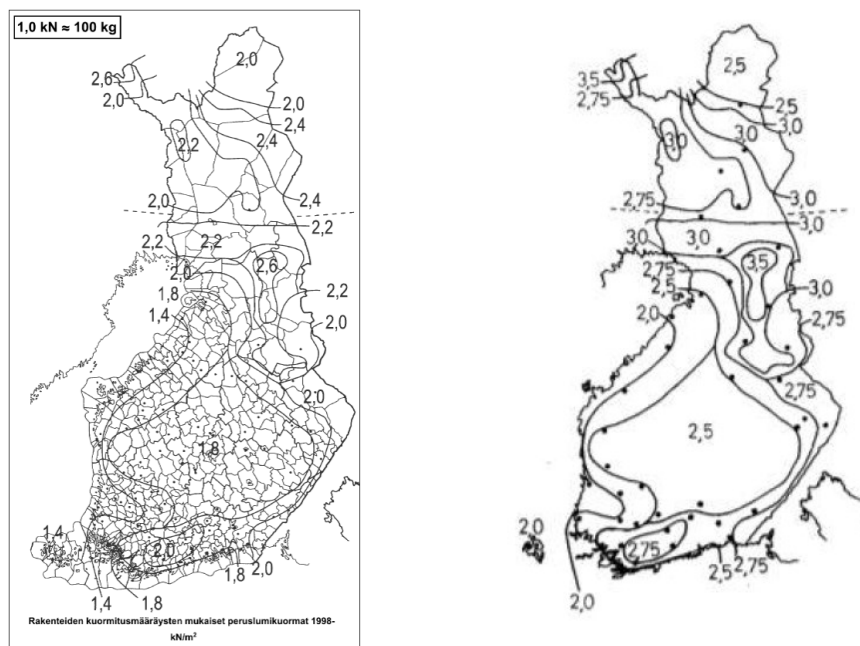
$$s = \mu \times C_e \times C_t \times s_k \quad \text{kaava 2,}$$

jossa μ on muotokerroin, joka on 0,8, kun katon kaltevuus on välillä 0–30 asteeseen. C_t on lämpötilakerroin ja C_e tuulisuuserroin. C_t on 1 ellei lämmitetyn rakennuksen kattorakenteen lämmöneristys ole vähäinen (lasikate). C_e vaihtelee välillä tuulinen 0,8 (joka puolelta avoin), normaali 1,0 ja suojainen 1,2 (huomattavasti ympäröivän maaston alapuolella). Maassa olevan lumikuorman ominaisarvo on s_k [kN/m²] (kuva 13 vasen). [11]

Paikkakuntakohtaisia tietoja lumenominaisarvoja maassa löytyy verkosta (Esim. esim. Raahe 2,1 kN/m²).

Likiarvot löytyvät kuvasta 13. Jossa S_k Raahessa olisi 2,5 kN/m². Kaavalla 2 lumikuorma:

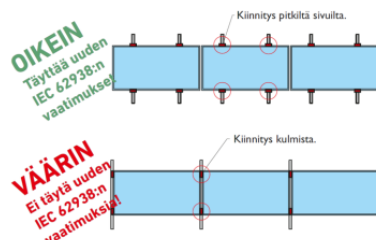
$$\Rightarrow s = 0,8 \times 1 \times 1 \times 2,5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow 2 \text{ kN/m}^2 \text{ (Raahe)}$$



Kuva 13. Oikealla 1998-2014 rakentamismääräyksen mukainen peruslumikuormat s (kN/m²) [12] Vasemmalla lumikuorman ominaisarvot s_k maan pinnalla. [11]

Aurinkopaneelien ja kiinnitysjärjestelmien valmistaja ilmoittavat, millaisen painon ne kestävät. Suunnittelija määrittelee niiden mukaan kattokiinnikkeiden, asennuskiskojen määrän ja sijoittelun niin, ettei lumikuorman käyttöraja ylitä. Varmistetaan myös, ettei paneelitelneiden aiheuttama pistekuorma kasva liian suureksi kattorakenteisiin tai kiinnityskohteisiin. [1, s. 149.]

Vuonna 2020 julkaistu - SFS-EN IEC 62938 Photovoltaic (PV) modules – Non-uniform snow load testing on valmistusstandardi paneelin rakenteen määrittelyyn hyvin poikkeuksellisten ja epätavallisten lumikuormien alla [1, s.149]. Paneelien kiinnitys tehdään paneelin pitkältä sivulta, kuva 14. Kun paneelien pinta-ala kasvaa, kasvaa myös tuen tarve. Kehystetyt 1,7 m² paneelit ovat yleisimmin testattuja Suomen oloissa. Erityisen tarkastelun kohteena on paneelien alareuna tasakatolla, kun alas pakkautuva lumi kuormittaa paneelin alareunaa.



Kuva 14. IEC 62938 ohjeistaa paneelikiinnikkeiden paikan Suomessa. [13]

3 Järjestelmän hankinta

Hankinnassa on useita osapuolia ja vaiheita, kuva 15. Asiakasideoi järjestelmän ja pyytää tarjoukset järjestelmän toimittajilta. Toimittajat tekevät ehdotuksia järjestelmän sisällöstä, koosta, sijoituksesta ja suuntauksesta. Kunnasta selvitetään tarvittavat rakennuslupa-asiat. Jakeluverkkoyhtiölle tehdään kysely järjestelmän koon sopivuudesta ja muista verkkoa koskevista rajoituksista sekä mahdollisista tarvittavista muutoksista. Asiakas valitsee järjestelmätoimittaja tarjouksen. Voimala toteutetaan ja järjestelmälle tehdään käyttöönottotarkastus. Energiayhtiön kanssa tehdään sopimus ylijäämätuotannon myymisestä ennen verkkoon kytkemistä. [7.]

Hankinnan osapuolet	Eteneminen				
	Asiakas	Idea	Ilmoitus / hakemus	Ilmoitus / hakemus	
Kunta		Käsittely			
Jakeluverkko-yhtiö			Käsittely		
Energiayhtiö					Sopimus ylijäämänsähkön ostosta
Järjestelmä-toimittaja	Tarjous		Ilmoitus / hakemus	Voimalan toteutus	Käyttöön ottotarkastus

Kuva 15. Hankintaprosessi

Aurinkoenergian hankinnan syitä on useita. Se voi suojata sähkön hinnannousulta, kun ostosähkön määrä pienenee. Käyttö on helppoa sekä lähes huoltovapaa puhdas teknologia. Aurinkoenergia on uusiutuva luonnonvara ja käytännössä loputon ja saasteeton resurssi, joka ei tuota melua, savukaasua, hiilidioksidia eikä pienhiukkaspäästöjä. Se on myös pitkäaikainen sijoituskohte, joka tuottaa korvatun sähkönhinnan jopa yli 30 vuoden aikana.

Kaavaa, jolla saataisiin täysin oikeankokoinen järjestelmä tiettyyn kohteeseen ei ole, vaan hanke lähtee asiakkaan tarpeista ja toiveista. Talouksissa, joissa aurinkopaneelin käyttö hyödynnetään on kiinteistöissä, joissa on sähköllä toimiva lämmitysjärjestelmä kuten suorasähkö, maalämpö tai ilmalämpöpumppu. Kesällä ilmalämpöpumppu myös viilentää ilmaa. Vastaavasti vähän sähköä käyttävät kiinteistöt, joissa on öljylämmitys ja kaukolämpö eivät hyödy niin hyvin aurinkosähköjärjestelmästä.

Sähkönkulutus ja aurinkopaneeleista saatava energia vaihtelevat auringon valon mukaan vuosittain, vuodenajoittain, päivittäin ja tunneittain. Periaatteena pidetään, että aurinkosähkön tuotto käytetään kokonaan omassa kiinteistössä, silloin sen hyöty on paras. Sähkönhinta vaikuttaa suoraa järjestelmällä hyötyyn. Myyntihinta on sidottu Nord Pool-sähköpörssin tunneittain muuttuvaan spot-hintaan. [7]

Ylijäämäenergian hyödyntäminen akuilla on tällä hetkellä vielä kallista, mutta tulee kannattavammaksi akkujen kehityksen ja saatavuuden myötä. Akkujen raaka-ainekilpailu näyttäisi pitävän niiden hinnan vielä tovin korkeina. [7]

Toisaalta energiamyynti jakeluverkkoon tai virtuaaliakku tuovat järjestelmän käytölle joustavuutta. Virtuaaliakku on energiajakeluverkon ylläpitämä sopimuksellinen energiavarasto, ei todellinen, tuottajan ylituotannolle. Virtuaaliakun käyttö ja kustannus ovat toimittajakohtaiset. Teemu Kettunen Motivasta on kuitenkin sitä mieltä, ettei järjestelmää kannata rakentaa virtuaaliakun varaan. Hankinnan vaiheessa se on yleensä vain markkinointikeino ja sen sopimuksen tekeminen pitäisi olla mahdollista milloin tahansa. [15.]

3.1 Alkuvaiheen selvitykset.

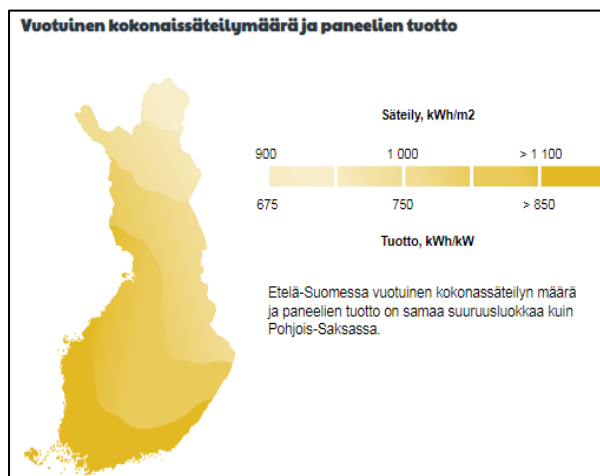
Kulutusprofiilin selvittäminen. Aurinkosähköllä korvataan käytettyä sähköä, joten sen määrittäminen on ensimmäinen tehtävä. Järjestelmän koon kartoituksen alkuvaiheessa selvitetään vuotuinen sekä kuukausittainen sähkönkulutus eri kellon ja vuodenaikoina. Nämä tiedot saa omalta energiayhtiöltä eli sähköntoimittajalta. Karkeasti aurinkopaneelijärjestelmän vuosituoton voi mitoittaa puoleen sähkön vuosittaisesta tarpeesta. Toinen tapa on mitoittaa kesän perussähkönkulutuksen mukaan. Tällöin koko sähköntuotanto saataisiin omaan käyttöön. Toisaalta kaikki ylituotanto voidaan myydä. [1, s. 94.]

Pohjakulutukseen perustuva järjestelmä. Siinä haetaan aurinkoisen ajan pienin kokonaiskulutus kuukausi. Tältä ajalta etsitään pienin tuntikohtainen kulutus. Tämä pohjakulutukseen perustuva mitoitusjärjestelmä on pieni ja tuottaa vain vähän, jos ollenkaan ylijäämäsähköä myyntiin. Tuotanto aika on kesä-elokuun välillä ja kesällä sähköä käytetään vähemmän, kun lämmitys jää pois. Kulutuksessa ovat jatkuvassa käytössä olevat laitteet kuten jääkaappi, pakastin yms. Nykyisin jäähdytysjärjestelmät lisäävät sähkön käyttöä myös kesällä ja päivällä, jolloin aurinkopaneelin tuotto on parhaimmillaan. *Keskimääräiseen kuukausikulutukseen* perustuvasta järjestelmästä tulee suurempi. Tuotto pyritään käyttämään kiinteistössä ja tuoton hyödyntäminen vaatii usein sähkönkäytön tottumusten muuttamista. *Nettonollaenergiamitoitus eli keskimääräinen* kulutus vuoden aikana. Kesällä tuotetaan ylituotantoa niin paljon, että sillä pärjätään talven yli. Järjestelmän koko kasvaa ja ylimääräinen sähkö syötetään verkkoon. Kannattavuus riippuu paljon myydyn sähkön hinnasta. Tässä järjestelmässä vaaditaan kulutuksen ajoituksen ja käyttöpiikkien tasoitusta. Järjestelmästä tulee helposti kannattamaton, mutta automatiikkaa hyödyntämällä ja laitteiden tehotarpeita laskemalla käyttö järkevoityy huomattavasti. Järjestelmä vaatii paljon suunnittelua ja hyötyy huomattavasti erillisestä sähkön talteen otosta. [1, s. 96.]

Järjestelmän käytettävissä olevata asennuspaikat ja pinta-ala. Varjostamaton aurinkoinen sijoituspaikka kannattaa hyödyntää. Selvitetään alueen sijainti ja pinta-ala [1, s. 94]. Paneelijärjestelmä voidaan sijoittaa kiinteistössä rakennuksen katolle, seinälle tai maahan kiinteälle tai aurinkoa seuraavalle telineelle. Paneelien erilliset maatelieet vievät tonttialaa ja vaativat perustukset. Kinostuvan lumen ja varjojen vuoksi niiden pitää olla tarpeeksi korkealla. Mutta ne tuottavat talvellakin optimaalisen kallistuskulman ja helpon puhdistumisen vuoksi. Lisäksi maassa oleva lumi lisää hajasäteilyä paneeleille. Aurinkoa seuraavassa telineessä liikkuvat

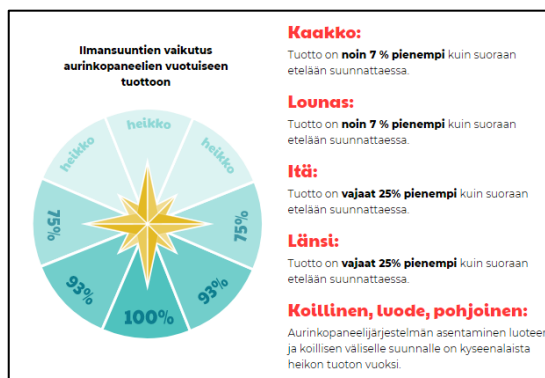
osat vaativat huoltoa ja niiden suuri pinta-ala on altis tuulenpuuskille. Seinä asennus etelään suunnattuna on hyvävaihtoehto talven tuotannon kannalta. Katon myötäinen kattoasennus on helpoin toteuttaa. Paneelit ovat korkealla katolla parhaiten suojassa varjostumilta ja mahdolliselta mekaaniselta rasitukselta esim. lumilingosta lentävät kivet. Varjostumien kohdalla kannattaa miettiä, voidaanko varjostavat rakenteet poistaa. Piippujen yms. kattorakentaa lähellä paneelit varjostavat, kasaavat lumen ja /tai likaavat paneelin helposti. Tontin varjostukset vähentävät tuotantoa huomattavasti. [7.]

Kiinteistölle tuleva auringon *säteily määrä* vaikuttaa sähkön tuottoon. Kuvassa 16 nähdään, miten paljon eri alueilla Suomessa auringon kokonaissäteily ja tuotto vaihtelevat. [7.]



Kuva 16. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa [7]

Paneeliston suuntauksessa otetaan huomioon ilmansuunnat ja paneelin kaltevuus suhteessa aurinkoon (kuva 17). Ilmansuunnista etelä on tuottoisin ja suurin tuotto tapahtuu keskipäivällä. Mutta itä-länsi suuntausta kannattaa harkita, jos sähkönkulutus tapahtuu pääosin aamu- ja/tai iltapäivästä.



Kuva 17. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa [7]

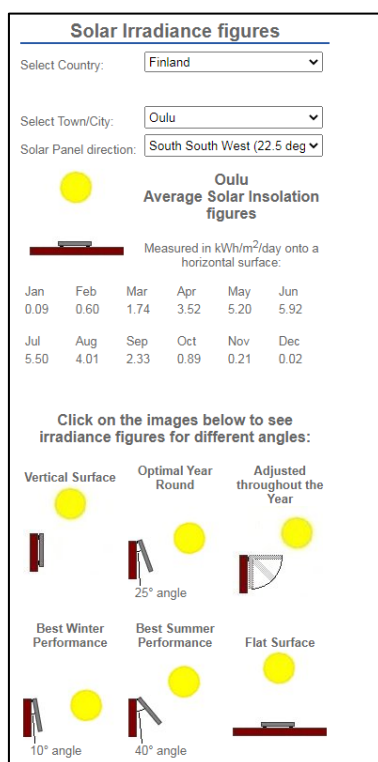
Järjestelmää varten käytettävissä oleva *rahamäärä* vaikuttaa hankintaan. Sijoitus on pidemmän aikavälin kohde. Omakotitalon järjestelmän kotitalousvähennys osuus on 40 % aurinkopaneelien työosuudesta, kun kohde ei saa muita avustuksia. Arvonlisäverollisen yrittäjän kautta hankittu työosuus 5875 € tuottaa maksimivähennyksen 2250 €/hlö (omavastuu 100 €). Jos luopuu öljylämmityksestä, vähennys on työosuudesta 3500 €/hlö 2022–2027). Osamaksulla kaupassa järjestelmän työosuus kannattaa maksaa kokonaisuutena, täyden vähennyksen saamiseksi.

Asunto rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) myöntää 2021–2022 energia-avustusta, jos asennuksen vaikutus parantaa vaadittavasti laskennallisen energiatehokkuuden vertailulukua eli E-luku kWh/(m²a) (esim. 44 %). Hankkeen voi aloittaa vasta, kun hakemus ja energiatodistus on toimitettu Aralle. Käsittely kestää noin 4 kuukautta. Avustus on 50 % avustettaviksi hyväksytyistä kustannuksista, maksimissaan 4000–6000 € asuntoa kohti. Avustettavia kustannuksia: aurinkoenergian hyödyntämiseen käytettävät laitteistot, kaapeli- ja putkivedot. Avustuksen laskennassa huomioitava osuus kustannuksista on 50 %, josta avustusosuus on 25 %. [14.]

Simulointi työkalut. Suunnittelutyökaluja löytyy netistä useita, toimittajien omia ja valmistajien ohjelmia, joilla voi kartoittaa järjestelmän kokoa. Havainnollinen nettisivu on esim. Sun Energian sivu: Testaa kannattaisiko sinun siirtyä aurinkoenergiaan, jossa näkee paneelin tuotosta ja koosta karkean kuvan. (<https://kattowatti.sunenergia.com/>). Varsinainen paneeliston suuntaus ja kallistus voidaan aloittaa PVGIS aurinkoenergian laskentaohjelmalla (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>). Sen yksinkertaistettu versio on EU:n tiedekeskussivuilla vapaasti käytettävissä. Tämän laskurin avulla voi arvioida asennuspaikan, säteilymäärän, paneeliston tyyppin, häviöt, kallistuskulmat, suuntaukset ja varjostukset. Ohjelmassa näkee tontinpaikan, jonka voi hakea kartalta, osoitteella tai koordinaateilla. Se on tarkoitettu käytettäväksi Euroopassa, Afrikassa ja suuressa osaa Aasiaa ja Amerikkaa. [16.]

Suomessa ohjelmaa on hyvä hiukan korjata. Esim. Keski-Suomessa, jos paikka on aurinkoinen, tarkistetaan ettei ennuste ylitä 800 kWh/kWp ja lasketaan ennustetta tämän verran alaspäin, jos näin on käynyt. Jos paikka on osaksi varjoinen, niin tarkistetaan ettei ennuste ylitä 700 kWh/kWp ja korjataan ennustetta tämän verran alaspäin. PVGIS-aurinkosähkölaskurin ilmaisversio on osoitteessa: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. (Liite 2) Ohjelmaan syötettävät/valittavat tiedot: 1. Paikka 2. Tietokanta 3. Aurinkopaneelin koko 4. Asennuspaikka 5. Kallistuskulma 6. Ilmansuunta etelään nähden 7. Laskee tulokset 8. Käytetyt asetukset 9. Kuukausittainen tuotto 10. Tulosteet. [5.]

Maamittauslaitoksen sivuilta näkee tontilla olevien tontin ja kattojen varjostukset ja suunnat sekä tontin rajat. (<https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>). Paikkakuntaakohtaisen aurinkosäteilytymäärä, kWh/m²/pvä, kuukausittain suurimmissa kaupungeissa löytyy osoitteessa: <http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html> (kuva 18). Ohjelmalla voi havainnoida aurinkopaneelin kulman vaikutusta tuotantoon.[16.]



Kuva 18. Paikkakuntaakohtainen aurinkosäteilyt, jossa voi vaihtaa paneelin kallistuskulmaa. [23]

Jakeluverkkoon sopiva järjestelmä. Jakeluverkkoyhtiöltä on hyvä selvittää minkä kokoisen aurinkopaneelijärjestelmän kiinteistöön voi hankkia. Kolmevaihe aurinkopaneelijärjestelmä tarvitsee kolme vapaata sulakepaikkaa [7].

Ylituotanto myyntisopimus on välttämättömyys ennen verkkoon liittymistä. Ostaminen on energiayhtiö kohtainen, kaikki eivät osta ylituotantoa. Hinta on kaikilla tunneittain muuttuva Nord Pool-sähköpörssin spot-hinta. Ylituotannon myynnissä hinnassa on vain tuotetun sähkönhinta, kun sähkön ostossa on mukana perusmaksut, siirtomaksu ja arvonlisävero. Yhtiö voi hyvittää ylituotannon ja vähentää sen tulevista laskuista. [7.]

Vakuutusyhtiön kanssa sovitaan aurinkosähköjärjestelmän liittäminen kotivakuutukseen. Eri vakuutusyhtiöiden vakuutusehtoihin tutustuminen etukäteen voi tuoda lisäetuja.

Tuotannonseuranta ja hyödyntämistä auttavat järjestelmät tuovat suurta etua järjestelmän hallintaan. Järjestelmästä näkee tuotonmäärän ja -kulutuksen, sekä myyntiin menevän osuuden reaaliaikaisesti. Voi hallita kulutuspiikkejä ja havainnoida sähköä kuluttavien laitteiden tehonkulutuksesta. Järjestelmän hyötykäytössä tulee varautua kulutustottumusten muuttamiseen parhaan tuotannon aikaan sekä huomioida laitteiston sähkönkulutus. Esim. Vedenlämmitys päiväsaikaan ja kiuas vie helposti 8 kW lämmitysvaiheessa, laitteiden yhtäaikaisen käytön välttäminen, jos tuotettu sähkö ei riitä. Useat pumput/moottorit käyvät vain hetkittäin tehden piikkejä kulutukseen, mikä ei vähän käyttöajan vuoksi kuitenkaan vaikuta sähkön kokonaiskulutukseen. Näiden hallinta vaatii tarkempaa perehtymistä käytönohjaukseen. Siksi kannattaa miettiä tueksi järjestelmiä, jolla voi seurata reaaliajassa päivän sähkönkulutusta tai ohjata automaattisesti kulutuksen huippuja tuotannon huippuaikoihin ja ylituotannon hyödyntämistä. [5.]

Erillisten *akkujen* hankinta on tällä hetkellä vielä kallista, mutta ne kehittyvät jatkuvasti. Akkumateriaalien kysyntä on kasvanut ja saatavuus on vaikeutunut, mikä enteilee hintojen pysyvän korkealla. [7.] Sähköauton lataamisella voidaan jo nyt hyödyntää ylijäämäsähköä, jos auto on paikalla ylituotantoaikana. Esim. sähköauton latauksen käyttämisestä vara-akkuna ja lämmön taltioinnista veteen. Toisaalta kuten talvi 2022 osoitti, ylimääräisen sähkönmyynti sähköntoimittajalle, saattoi tuottaa hyvin.

Kaikessa *sopimisessa kirjalliset sopimukset* ovat tärkeitä. Toimittajan valinnassa on olennaista tutustua Kilpailu- ja kuluttajavirasto kotimyyntin ohjeisiin (myös puhelinmyynti), joita koskevat erityiset lait. Esim. kotimyyntin voi perua 14 päivän sisällä. [7.]

Tärkeimpiä tarjouksessa käytäviä osia ovat invertterin teho ja laadukas valmistaja. Paneeleissa tärkeä on niiden suuntaus, kappalemäärä, pinta-ala ja nimellis- ja hyötYTEHOT. Paneeliston telineiden kohdalla kiinnitetään huomio materiaaleihin, kiinnitystapaan, kiinnikkeiden kestävyys ja kantavuuteen. Kaapelit ja kytkimet sisältyvät tarjoukseen. Takuuajat ovat mukana tarjouksessa. [7.]

Invertteri rajaa järjestelmän koon. Iso invertteri tarvitsee suuremman jännitteen käynnistyäkseen, joten se kannattaa mitoittaa paneelien mukaan. Tämän vuoksi invertterin tuotanto koko pitäisi olla lähellä paneelien tuottoa. Invertterin ikä on noin 15 vuotta, joten se mahdollisesti joudutaan uusimaan paneeliston käyttöiän aikana. Olisi hyvä varmistaa korvaavan invertterin saaminen (Esim. tunnettu tuotemerkki). Takuuaika invertterille on 5–12 vuotta. Verkkoon liitettävän invertterin on täytettävä suoja-asetukset ja irtikytketymsajat. (SFS-EN 50549-1:2019 tai VDE-AR-N 4105:2018-11). Invertterin DC-sisääntulojen määrä mahdollistaa useamman aurinkopaneeliketjujen liittämisen. MMPT-kytkentä optimoi paneelien tehopisteen, ja seuraa tuotantoa kaiken aikaa. [1, s. 57-60.]

Paneelin valmistusmateriaali piikideraaka-aine tulee pääasiassa Aasiasta. Paneeleista monikidepaneeli on halvempi ja herkempi vastaanottamaan aurinkosäteilyä. Toisaalta yksikidepaneelin hyötysuhde on parempi ja lämpötilan vaikutus paneelin tehoon hiukan pienempi [1, s. 12]. Paneelien käyttöaika on n. 30 vuotta. Paneeleilla takuu aika on 10–25 vuotta. Tiedetään, että paneelien teho vähenee vuosien myötä, ollen 25 vuoden päästä noin 85 % alkuperäisestä. Selvitetään paneelin teho ja pinta-ala, jolla selvitetään tarvittava asennusala. Paneelin yleisimmät tehot liikkuvat n. 250–395 Wp välillä ja koko on noin 1,7 m². Kun asennetaan yhtenäinen paneelialue, se vähentää kaapelien vetoja ja telineitä. Harjakatoilla lumi poistuu helpommin yhtenäiseltä alueelta. Tasakaton kallistuskulma asennustelineet vaativat usein lisäpainoja pitämään paneelit paikoillaan. Paneeleille vaadittavia standardeja ovat EN 61215 ja EN 61730. Toimittaja laskee useita versioita asennuspaikan, sijainnin ja tehon mukaan. [7.]

Kiinnitystelineet on valittava asennuspaikan ja kuormituksen mukaan. Paras paikka paneelille on aurinkoinen seinä, maatelina tai kattoasennus, jossa se on parhaiten suojassa. Kattotelineen tarkoitus on paitsi pitää paneeli paikoillaan myös jäähdyttää sitä. Tiili- pelti-, sauma-, lukkosauma-

ja huopakatolla on jokaisella omat kiinnitystarvikkeet katolle, joiden päälle telineet asennetaan. Asbestipinnoitteiselle katolle ei aurinkopaneeleja saa asentaa. Tiilikatolla koukut kiinnitetään tiilen alle kattotuoleihin ja tiili hiotaan, ettei se jää kantamaan kourun päälle. Sauma- ja lukkosaumakatolla on omat saumoihin kiinnitettävät kiinnittimet. Peltikatolla teline kiinnitetään ankkuripultilla ruodelaudan ja kattotuolin yhtymäkohtaan (aluskaite pysyy ehjänä) sekä profiilipellin korkeimmalle kohdalle UV-suojatulla kumikauluksella. Huopakaton kiinnittimet ruuvataan ankkuripultilla ruode- ja kattotuolin liitoskohtiin tai ne voidaan liimata huopaan tasakatolla. Katteen läpi kiinnitettäessä tulee käyttää EPDM-kumitiivisteitä tiivistyksenä. Tasakatolle on useita asennustelineitä, jotka vaativat lisäpainon pysyäkseen paikoillaan ja kantavuuslaskelmat rakenteille. Se on huomioitava katon lumi- ja lisäkuormituslaskennassa. Telineen painaumat saattavat kerätä vesilammikoita. [7.]

Toimittajalle tarvitaan tieto *kattorakenteesta*, alasta. Sen mukaan mistä kattomateriaalista katto on, tarvitaan kattotuolien ja ruodelautojen jako, kattotuolin yläpaarten korkeus, sen leveys sekä räystäiden pituudet. Työtä helpottaa myös kattopinnoitteen tuotemerkki tai tyyppi, jolla saadaan kattokiinnikkeiden paikat mitoitettua oikeaan paikkaan. esim. tiilen etenemä. [5.]

Rakennustelineiden ja nosturikulut voivat olla suuret. Katon kaltevuus ja yli neljän metrin räystäskorkeus vaikuttavat asennukseen. Aina ei hyväksytä paikalla tehtyjä telineitä. Telineiden ja nosturin paikalle saanti ja kustannukset on hyvä selvittää, kuka hankkii ne ja millä kustannuksilla. [7.]

Kiinnikkeiden kohdalla kannattaa olla tarkkana, että ne on suunniteltu yhteensopiviksi telineiden kanssa. Näin estetään kiinnitystarvikkeiden korroosioauriot. Aurinkopaneelitelineet ovat yleensä ruostumatonta terästä ja alumiinia (elokoituja tai anodisoituja). Harjakatolla ne ovat joko yksikerros tai kaksikerros (eli ristikkäin) asetetut, asennustelineitä. Yksikerros on tietysti halvempi ja nopeampi. Kaksikerrosteline tuo suuremman tuuletusvälin ja lisää paneelin tuottavuutta. Telineiden päälle kiinnitetään paneelit aurinkopaneeliliittimillä, jotka sallivat paneeleille lämpötilaliikkeen. Liittimissä oleva pienin piikki maadoittaa aurinkopaneelin telineeseen. Kiinnitystelineiden kesto on 30–40 vuotta ja niille luvataan noin 10–30 vuoden takuu. Metallirakenteet eivät helposti vahingoitu, jos niiden kantavuudet on laskettu oikein, tarvikkeet ovat telinevalmistajan hyväksymiä kokonaisuuksia ja ne on asennettu oikein. Tasakattotelineiden soveltuminen Suomen oloihin kannattaa tarkistaa. Tasakattotelineiden sijoittelussa on hyvä ottaa huomioon telineiden etäisyydessä tuuli-, lumikuormat ja huoltomahdollisuudet telinekuorman lisäksi. [7.]

Kaapelointi on järjestelmän vahingoittuvimpia kohteita ja siksi siihen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. Sähköasentajan on oltava ammattilainen, omaa S1- tai S2- sähköpätevyyden ja hyvät tietämys aurinkopaneelien asentamisesta. Paneelin kaapeleita ei saa asentaa suoraan katon pintaan tai palavalle materiaalille. Kaapelit kiinnitetään telineisiin, huomioiden säävaihtelut, lämpötilalaajenemiset, vedonpoistot, UV-suojaukset ja terävät pinnat, jotka saattavat vaurioittaa kaapeleita niiden liikkeessä. DC-kaapelien ja potentiaalintasausjohtokuljetus suojausputkessa katolta invertterille on tärkeä turvallisuus tekijä. AC-kaapelointiin invertteriltä kuuluu lukittava turvaerotuskytkin ennen sähkökeskusta. Kiinteistön uudelleen *maadoitus* ja maadoituskaapelien potentiaalintasauskisko on hyvä laskea mukaan tarjoukseen. [5.] Se lisää järjestelmän turvallisuutta. Kaapeloinnille asennustakuu-aika voi olla 2–10 vuotta [7]

Kaapeliliittimet valitaan standardien SFS-EN 50521 tai SFS-EN 62852 mukaisesti. Valmistajan liittimien yhteensopivuus on takuu kestävästä liitoksesta. Esim. MC4-liitin on yleisnimike, mutta eri valmistajan liittimien yhteensopivuus on epävarmaa. Liitosten tekemisessä on noudatettava valmistajan hyväksymiä työkaluja ja momenteja. [1, s. 152.]

Toimittajan *palvelumahdollisuudet*. Millainen mahdollisuus toimittajalla on ohjeistaa ja opastaa työn edetessä, jos asentaa itse, on tärkeä saada tuotteiden mukaiset asennusohjeet. Palveluun kuuluva tuki ja sen kiinteä kustannus saattaa olla pieni sijoitus hyvän ja luotettavan lopputuloksen saavuttamiselle. Toimitukseen kuuluu mm. järjestelmän käyttöönotto-opastus, huolto-ohje, seurantalaitteet ja niiden asentaminen ja käyttöohje, opastusohje palokunnalle, varoitustarrat. On hyvä selvittää toimittajan palveluhinnoittelu myös tarjousvaiheen aikana. Työstä voidaan veloittaa, jos lopullista sopimusta ei tehdä, vaikka se olisi kaupassa ollut ilmainen: esim. paikalla on käyty arvioimassa paneelien asennuksia. [7.]

Lupa-asiat selvitetään tarjouksen alkuvaiheessa, kuka tekee ja milloin ne on tehtävä. Toimittaja ohjeistaa asiakasta näiden hankinnassa ja avaimet käteen hankinnassa osa toimittajista voi tehdä itsenäisesti ne asiakkaan luvalla. Osalla toimittajista se kuuluu maksutta tarjoukseen, mutta sekin on hyvä tarkistaa. [7.] *Rakennuslupakäytännön* selvittäminen ja tarvittava rakennus- tai toimenpideluvan hakeminen. Rakennusluvan tai toimenpideluvan tarve on kuntakohtainen, ja se selviää kaupungin rakennusjärjestyksestä. Syitä rakennuslupa on esim. rakennuksen ulkoasun muuttuminen, asemakaavan-alue, paneelin pinta-ala tai historiallinen rakennus. Yleensä sitä ei tarvita katon suuntaisesti asennettaville paneeleille asemakaavan ulkopuolella, mutta katosta poikkeava suuntaus erillisellä telineellä ja maateline tarvitsevat joko toimenpide- tai rakennusluvan. [4.]

Verkkosähköyhtiön kanssa selvitetään lupa voimalan kytkemisestä verkkoon. Riittääkö pääsulake suunniteltuun tuotantoon, oikosulkuvirta, onko vapaita sulakepaikkoja, onko sähkömittari soveltuva kaksi suuntaiseen mittaukseen? *Yleistietolomake verkkoyhtiölle* täyttäminen, joko itse tai asentaja tekee sen. [19.] Asentaja tekee verkkoon liittymisvaiheen mittaukset ja laitteen konfigurointi. *Sähkönmyyntisopimus sähköyhtiölle* on tehtävä, ennen verkkoon kytkeytymistä. [7.]

Aikataulu, millä järjestelmä hankitaan, vaikuttaa hankinnan hinnoitteluun. Suurin osa tuotteista tulee ulkomailta. Tällä hetkellä kysyntä vaikuttaa hintaan. Halvimmat hinnat ovat syksyllä ja talvella, kun kiireisin kevään ja kesän asennusaika on ohitettu. Toimituksien ennakointi ja mahdolliset yhteistilaukset voivat vaikuttaa hinnoitteluun. Avaimet käteen hankinnassa toimitusaika voi olla 2–4 viikkoa ja asennusaika on puolesta päivästä kahteen päivään.

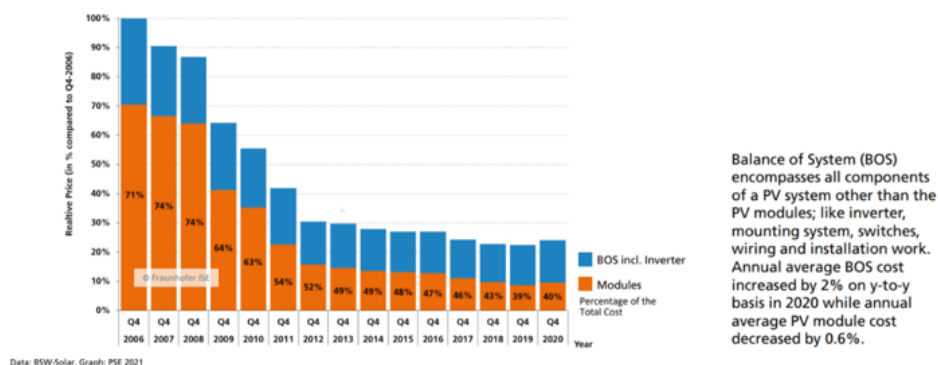
Kun nämä asiat on saatu kartoitettua ja toimittaja hyväksi havaittu, voidaan tehdä *sopimusta koskevat ajoitukset*. Asennettaessa itse on selvitettävä toimitusten ajoitus, rahat, kuljetuskerrat ja materiaalin säilytys, käsittely, tilankäytön suunnitelmat sekä tarvittavat ennakkotyöt. Tehdään asentajan ja työryhmän ajoitukset, hankinta ja selvitetään oikeus aurinkopaneeliasennukseen. On hyvä sopia mahdollisista sään ja toimitusten viivästymisestä ja niiden aiheuttamien häiriöiden käsittelystä. Turvalaitteet, rakennustelineet ja nosturi yms. hankinnat ja suunnittelu tehdään hyvissä ajoin ennen asentamisen aloitusta. Toimittaja tekee listauksen hinnoista ja materiaalien ominaisuuksista, joilla hän vakuuttaa materiaalien sopivuuden aurinkopaneelikäyttöön ja takuut. Avaimet käteen sopimuksessa saattaa riittää, että asentajalla on pääsy asennustiloihin.

Toimittajan tehdessä ehdotuksia eri asennustavoista ja kokoonpanosta on tärkeä, että huomioidaan rakenteiden kantavuus ja teetetään mahdollinen *kantavuuslaskenta* uuden kuormituksen mukaan ja erityisesti telineiden kiinnikkeille ja niiden pistekuormien huomio.

Kokonaishintaa voi vertailla €/W-suhteella, jossa suurempi paneelisto laskee järjestelmän hintaa. Laitteiston hinta kävi viime vuonna 1 €/W, mutta hintojen nousu alkoi viime vuoden keväällä. Järjestelmän hinta voi vaihdella suuresti esim. 7 kW:n järjestelmä oli Motivan avaimet käteen tarjouskampanjassa välillä 7000–12000 euroa (1–1,7 €/W). Järjestelmiä vertaillen invertterin hinta on materiaaleista suurin yksittäinen hanke. 3–10 kW:n järjestelmien invertterit ovat noin 20–30 % paketin hinnasta. [7.] Invertterin koko kannattaa mitoittaa paneelien mukaan, jos ei laajenneta lähiaikoina. Alimitoituksella tuhlaata kannattavuutta.

Saksan hintakehitystä kuvaava pylväsdiagrammi kuvaa hyvin myös Suomen hintakehitystä, vaikka kuvassa on suhteellisen suuria järjestelmiä 10 – 100 kWh (kuva 19). Paneelien hinnat laskivat huomattavasti 20 vuoden ajan. Tällä hetkellä lasku on hiipunut ja uudet toimittajat tarkistavat paneelien hintoja jo useita kertoja kuukaudessa ja yleensä ylöspäin. Kuvasta näkyy myös, että kaikki muu kuin paneelit paketissa ovat pysyneet hyvin samoissa hinnoissa. Viime vuonna hinnat ovat myös niiden osalta nousseet. [7.]

Price Development for PV Rooftop Systems in Germany (10kWp - 100kWp)



Kuva 19. Aurinkopaneelien hinnan suhde kattoasennus järjestelmien hinnoista vuosien 2006–2020 välillä. Kokonaishinta on alentunut lähelle 25 %:a vuodesta 2006. [7]

Lisähintaa järjestelmään saattaa kertyä mm.:

- internet yhteyden vahvistin n. 100 € (etäisyys yli 30 m)
- jyrkkä katto, yli 30 astetta, nosturivuokra
- vapaiden sulakkeiden tarve, n. 150 €
- ohjauksjärjestelmä esim. alle 1000 € halvimmat tai on jo mukana tarjouksessa
- akut hinta-arvio 500–600 eur/kWh, mutta toimitusaikaa ei ole. Joten hinta voi olla aivan jotain muuta. (Mahdollisesti tarvittava vaihto hybridi invertteri yms.)

Järjestelmän vuosituottoa kuvataan kWh/kWp-luvulla. Etelään suunnattu aurinkopaneelijärjestelmän vuosisäteily määrä Keski-Suomessa on noin 800 kWh/kWp aurinkoisella paikalla. Jos haluttaisiin tietää esim. 6,6 kWp :n järjestelmän vuosituotto, saataisiin se kertomalla 6,6 kWp etelän suuntauksen vuosisäteily määrällä 800 kWh/kWp. Tuloksena olisi 5280 kWh/a. Eli vuodessa järjestelmä tuottaisi noin 5,3 kWh sähköä. [9, s. 8.] Etelään suunnatun paneeliston huipputuotto on keskipäivällä (Klo 9–15). Jos laitteita ei voi automatisoida toimimaan päivällä tai kotona ei voida päivällä niitä säätää, tuoton hyötykäyttö on vähäistä. Yhtenä

vaihtoehtona on siirtää paneelit vastaanottamaan aamu- ja iltasäteilyt lounas- ja kaakkosuuntaan, jolloin tuotto saattaa pienetä jonkin verran, mutta sitä pystytään käyttämään tehokkaammin.

Jos paneelin nimellisteho olisi 330 Wp, tarvittaisiin 20 kpl paneeleja tuottamaan 6,6 kWp järjestelmä. Paneelien lukumäärä olisi helppo jakaa 10 kpl sarjaan kahdelle lappeelle, kahteen 5 paneelin sarjaan.

Toinen tuotannon hyötykäytön lisääminen olisi kuormituksen uudelleenohjaus keskipäivälle, ajoittamalla esim. vedenlämmitys ja ilmanjäähdytys keskipäivälle. Sähkölaitteita, kuten pesukoneet ei suositella käytettäväksi, jos paikalla ei ole ketään valvomassa laitteita. Ohjauslogiikoilla voisi esim. saunan lämmittää aikaisemmin. Tuotannon käyttäminen vaatii tottumusten muutosta, joka voidaan helpoiten tehdä, kun *ohjauslaitteessa* näkee reaaliaikaisen tuotannon seuranta.

Kolmas vaihtoehto on *akuston* hankkiminen ja lataaminen päivällä ylituotannon aikaan. Akkujen käyttö ja niiden koon selvittäminen vaatii enemmän perehtymistä järjestelmän tuottoon ja kulutustottumuksiin. Mutta kun akkujen saanti ja niiden hinnat vielä hiukan alenevat, ovat ne varmasti hyvä lisäjärjestelmän hyödyntämissä. Sähköauton lataus käy akusta, mutta onko se paikalla keskipäivällä?

Toimittajista osa tarjoaa *virtuaaliakun* käyttöä joka on sopimustekninen järjestely. Se tarkoittaa periaatetta, että aurinkosähkön tuottaja tallentaa ylituoton verran sähköä myöhempää tarvetta varten. Toisaalta tämän voi ajatella ylituotantosähkön myymiseksi. Virtuaaliakun hyöty on kiinni virtuaaliakun kuukausikustannuksesta, joka usein on hiukan kalliimpi kuin järjestelmän hyöty. Sähköyhtiöt tällä tavalla sitovat asiakkaan sopimukseen, jota on vaikeampi irtisanoa. Esim. jos asiakas vaihtaa sähköyhtiötä, miten käy jo hankitun sähkön hyödyntämisen. [7.]

3.3 Aurinkopaneelin asennus katolle

Toimittaja mitoittaa paneelien paikat huomioiden paneeleihin kohdistuvat kuormayhdistelmät katon kantavuuden, telineiden ja paneelien mukaan. Toimittaja tekee kartoituksen paneelien sijoituksesta ja kaavion, minne ne katolla asennetaan. Paneeli pyritään asentamaan katon aurinkoisimmalle ja korkeimmalle paikalle. Kuitenkin tuulikuormien mukaan laskennallisesti tietylle etäisyydelle suurimpien imu ja tuulipaineiden päähän katon lappeesta ja reuna-alueilta. Lumikuormien kasautuminen ja lumen mahdollinen putoaminen katolta paneelin päälle täytyy estää, etteivät paneelit vahingoitu. Paneelien pintakitka on pieni, siksi on huomioitava myös katolta liukuvan lumen vaarallisuus ja lumiesteiden paikat, että ne eivät ole liian lähellä paneeleja. Paneelien ja lumiesteiden väliin on jäätävä riittävän pitkä väli, ettei lumi pääse liukumaan niiden yli.

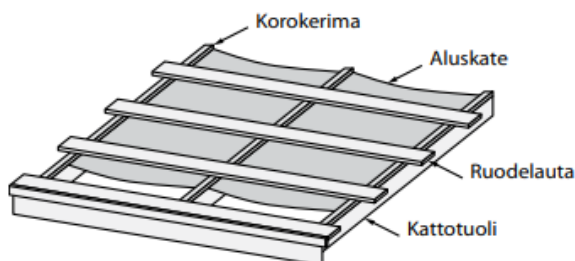
Kattotyöskentely vaatii riski- ja vaarojen arvioinnin tekemisen ennen työn aloittamista. Kattoliitto ry:n sivuilla on Kattotöiden työturvallisuus opaita, joka on ladattavissa sivulta www.kattoliitto.fi. Työmaalle tehdään työmaasuunnitelma liikkumisesta ja varastoinnista. Telineiden ja nostureiden tarkastukset, katsastukset ja turvalaitteiden toiminta on varmistettu. Sääolosuhteet huomioidaan ja pyritään työskentelemään puolivarjoisena, kuivana ja sateettomana aikana. Työntekijöillä on henkilökohtaiset suojavaarusteet. [17.] Huomioidaan, että ympäristön vaaratilanteet minimoidaan, sähkötyöt SFS 6002 ohjeistuksen mukaisesti.

Asentaminen voidaan aloittaa, kun rakentamiseen on hankittu tarvittavat luvat. Tällaisia ovat rakennus- tai toimenpidelupa, sähköyhtiön tarkastamat verkkoon kytkeytymisen edellytykset ja sähkönmyyntisopimuksen valmius ja että rakenteiden kantavuus on arvioitu. [1, s. 115-118.]

Ensin tarkistetaan alue, jolle järjestelmän tulee ja tehdään tarvittavat kunnostustyöt ja rakenteiden vahvistukset mahdollisten lujuuslaskelmien mukaan. Kattoliitto ry:n sivuilta löytyy kattohuoltokirjat eri materiaalien mukaan. Järjestelmän ikä on yli 30 vuotta ja katon kunnostus paneelien ollessa paikoillaan on vaikeaa. Tämä vaihe tehdään yleensä kiinteistön omistaja toimesta, eikä kuulu toimituksiin. Katon pesu hyvissä ajoin esim. homepesu, paikkaukset yms. (Maatelineet vaativat perustukset ja usein rakennusluvan, joille telineet kiinnitetään.) Ullakkotyö on parasta tehdä viileään aikaan aikaisin keväällä tai syksyllä. Jos kuumuutta ei voi välttää, löytyy Kattoliitto ry:n sivuilta Kuumassa työskentelyn ohje. [17.] Poistetaan mahdollisuuksien mukaan varjostavat puut, pensaat, rakennelmat. Hankitaan paneelin nostotelineet ja kulku katolle.

Paneelin kiinnitystelineet tai kiinnitysjärjestelmä. Kiinnikkeiden tulee olla CE-merkittyjä ja korroosion kestäviä paneelikiinnitykseen tarkoitettuja tarvikkeita. Jokaisella kattomateriaalilla on omat kiinnitysjärjestelmät. Valmistajan suunnittelema järjestelmä tulee noudattaa. On tärkeää, ettei muuteta alkuperäisiä osia, sillä ne ovat laskennallisesti tai materiaalin osalta kohteeseen valittuja. Korvaava tai väärä kiinnike voi aiheuttaa suuria ongelmia (esim. korrosio, kantavuus). [1, s. 148.]

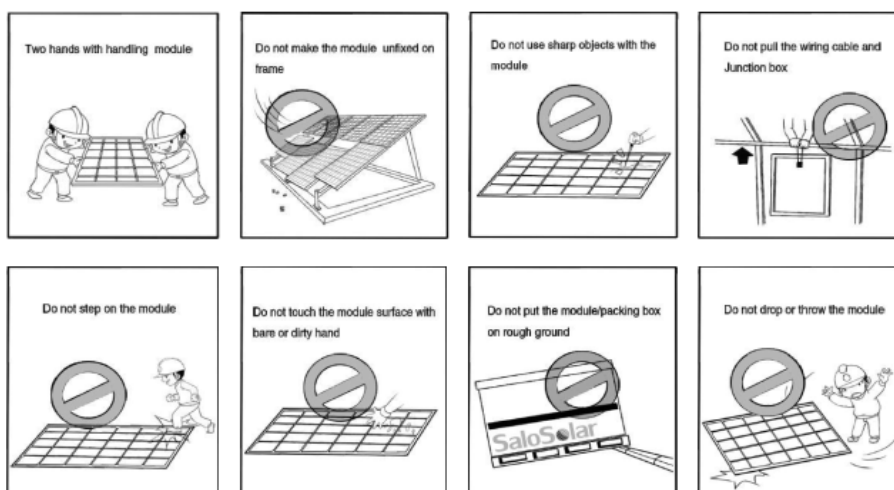
Kiinnikkeet tulevat kattotuolin ja ruodelaudan yhtymäkohtiin tiili-, profiilipelti- ja huopakatoissa. Tällä halutaan suojata aluskate, joka ohjaa kosteuden pois välikatolta, kuva 20. Tiilikatolla kiinnitys tapahtuu koukkujen avulla, jotka tulevat tiilen alareunan ali. Tiilen alareuna koverretaan, ettei se jää kantamaan koukun päälle. Työ vaatii kattotiilien irrottamisen ja hiomisen. Kulmahionta vaatii tulityöluvan ja sen mukaisen jälkiseurannan. Profiilipeltikaton ankkurikiinnityspultissa on UV-säteilyn kestävä suojaiviste, joka ruuvilla tulee profiilipeltiä vasten. Pultin kohdistus tehdään profiilin yläkaareen. Huopakatolle tulee noin 10 cm:n halkaisijalla oleva eristepala, joka kiinnitetään liitosreiän suojaksi. Sauma- ja lukkopeltikatoilla liitokset tehdään peltisaumoihin tarkoitetuilla erikoisliittimillä. [3, s. 9-10]



Kuva 20. Aluskate johtaa kattokosteuden pois välikatolta. (RT-0423) [3]

Kiinnikkeet nostavat paneelientelineet irti kattomateriaalista, mikä parantaa paneelien jäähtytystä ja samalla tuottoa, minimi 10 cm. Telineiden ja katon suuremman ilmavälin on havaittu hidastavan merkittävästi palon edistymistä. [1, s. 148.] Kiskojen on oltava suorassa, että teline, paneelit ja kiinnikkeet kestävät kuormat ja pysyvät paikoillaan, eivätkä aiheuta vääntömomenttia paneeleille.

Aurinkopaneelien käsittely (kuva 21). Yhtä paneelia katolla käsittelee aina kaksi henkilöä. Paneeli on kevyt ja tuuli ottaa siihen helposti. Paneelit asennetaan vain aurinkopaneeleille suunnitelluille telineille, valmistajan ohjeiden ja hyväksymien yhteensopivien kokonaisuuksien mukaan. Vältetään terävien esineiden käyttöä ja putoamista paneelin päälle eikä kuljeteta paneelia kaapelista tai kaapelikotelosta. Kannattaa huomioida, että paneeleissa on jännite, vaikka sitä ei ole kytketty. Vältetään paneelin päällä kävelyä, sillä kengänkokoinen pinta-ala voi ylittää paneelin keston ja aiheuttaa mikromurtumia. Paneeleita käsiteltäessä käytetään viiltöhanskoja, sillä käsissä oleva rasva ja lika yleensä vähentävät paneelin tehoa. Toisaalta paneeleissa saattaa olla teräviä viiltäviä reunoja. Paneelien pesuun ei käytetä pesuaineita, vaan pelkkää vettä. Täytyy varoa, ettei pestä lasia kylmällä vedellä, mikä rikkoo karkaistun kuumen lasin helposti. Aurinkopaneelin pakkauksia käsitellään varoen ja sijoitetaan tasaiselle alustalle, etteivät paneelit väännä. Pakkauksia purettaessa ne kannattaa tukea ja estetään niitä kaatumasta. Paneelit saattavat rikkoutua helposti pudotessaan. [18, s. 15.]

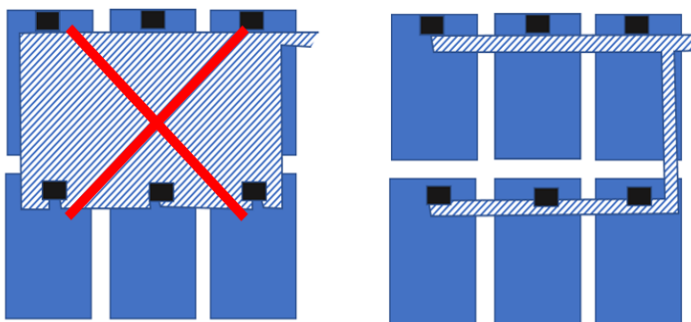


Kuva 21. Aurinkopaneelin asennus. SALO® -Solar Panels asennus- ja käyttöohje [18, s. 15.]

Invertterin paras asennuspaikka on viileä, tasalämpöinen paikka ja sen ympärillä tulee olla hyvä tuuletus. Valitaan paikka, jossa käyntiäni ei häiritse. Seinäliitoksen on oltava tukeva ja paloa hillitsevä. Invertterin pitäisi olla mahdollisimman lähellä paneelistoa, jotta DC-kaapelien tehohäviö olisi mahdollisimman pieni. DC-kaapelit suojataan hyvin kulutukselta, liikkumisen aiheuttavalta rasitukselta ja auringolta. Kaikki terävät reunat poistetaan tai suojataan. Kaapelit eivät saa tehdä jyrkkiä mutkia, huolehditaan kaapeleille ohjeen mukainen taitoskaari. Kaapelin pituus vaihtelee lämpötilan mukaan huomattavasti ja sen vuoksi on jätettävä kaapelivara liikkeille ja liitoksille, etteivät liitokset avaudu kaapelivedon vuoksi.

Potentiaalilin tasauskisko ja maahan sijoitettava kuparinen maadoituskaapeli asennetaan järjestelmän suojaksi asentajan laskelmien mukaan. Potentiaalilin tasauskiskoon tuodaan kaikki järjestelmässä olevat potentiaalintasauskaapelit. Paneelien alla oleviin kaikkiin telineisiin liitetään potentiaalikaapelit. Esim. hiotaan telineen pinta, johon tulee liitosrasva SR1- ja RST-kiinnikkeet. Ne sijoitetaan asentajan valitsemaan paikkaan, niin etteivät ne ole tiellä kattotyöskentelyssä. [5]

DC-kaapelit ja potentiaalikaapeli (kevi) viedään invertteriltä maadoitetussa metallisessa suojaputkessa (JAPP) katolle paneelien alle. Jos tehdään läpivientejä, huolehditaan niiden tiivistykset. Suojaputken päät hiotaan ja suojataan muoviholkeilla. Invertteriltä katolle lähteviin, plus ja miinus DC -kaapeliin asennetaan liittimet ennen katolla kytkettäviä paneeleja, sillä paneeleissa tulee korkea tasajännite, joka voi aiheuttaa hengenvaaran liittimiä kytkevälle sähköasentajalle. Liittimillä on omat työkalut ja momentit, joilla varmistetaan niiden pitävyyt. Katolla sähköasentaja kytkee paneelin kaapelit, niin että ne muodostavat mahdollisimman pienen pinta-alan. Tällä estetään ukkosella salamaniskun indusoituminen moninkertaiseksi (kuva 22). Paneelien liitokset tehdään huolella ja varmistetaan, ettei liitokseen tule kosteutta tai likaa. Liitoksesta pitää kuulua lukitusääni. [5]



Kuva 22. DC kaapelin kaapelointi, vasen vaarallinen ja oikea suositeltava.

Paneelien kiinnitys suoritetaan niin, ettei kaapeleille tule vetoa, eivätkä ne jää roikkumaan. Kiinnityksessä ei saa olla teräviä kulmia. Ne tehdään molemmiin puolin kaapeliliitintä ns. vedon poistajan tapaan. Kaapeliliitoksen jälkeen paneeli asennetaan alumiiniprofiilin päälle ja kiinnitetään paneeliliittimillä. Liittimissä on pieni nasta, joka pureutuu paneelin kehykseen ja maadoittaa ne telineen kautta. Liittimillä on tietty välys ja kiinnitysmomentti. Paneelien väliin jää väli (noin 22–24 mm), joka on laskettu paneelin pinta-alaan tilaa kartoitettaessa. Asentaja tekee lopuksi kytkennälle sähköiset mittaukset ja tarkistaa toiminnan. [5]

Kun DC-puoli on kaapeloitu ja maapotentiaalit kunnossa, vedetään kaapelointi invertteriltä AC-puolen kaapelointi AC-turvakytkimelle. Kytkimen on oltava lukittava ja asennetaan palokunnan tai verkkoyhtiön helposti saataville. Sieltä kaapelointi viedään sähkökaapin kautta, vikavirtasuojaja johdonsuojakatkaisijalta, kiinteistön käyttöön ja etäluettavansähkömittarin kautta yleisverkkoon. [7.]

Eri invertterin mukaan, järjestelmän toimintatietoa voidaan seurata joko suoraan invertteristä tai se kytketään tietoverkkokaapelilla tai antennilla suojattuun verkkoon, WLAN ja/tai Ethernet. Lisäksi kytketään muut mahdolliset tuotannonseurauslaitteet, käyttöjännite- ja tietoverkkokaapelit. [7] esim. HomeManager

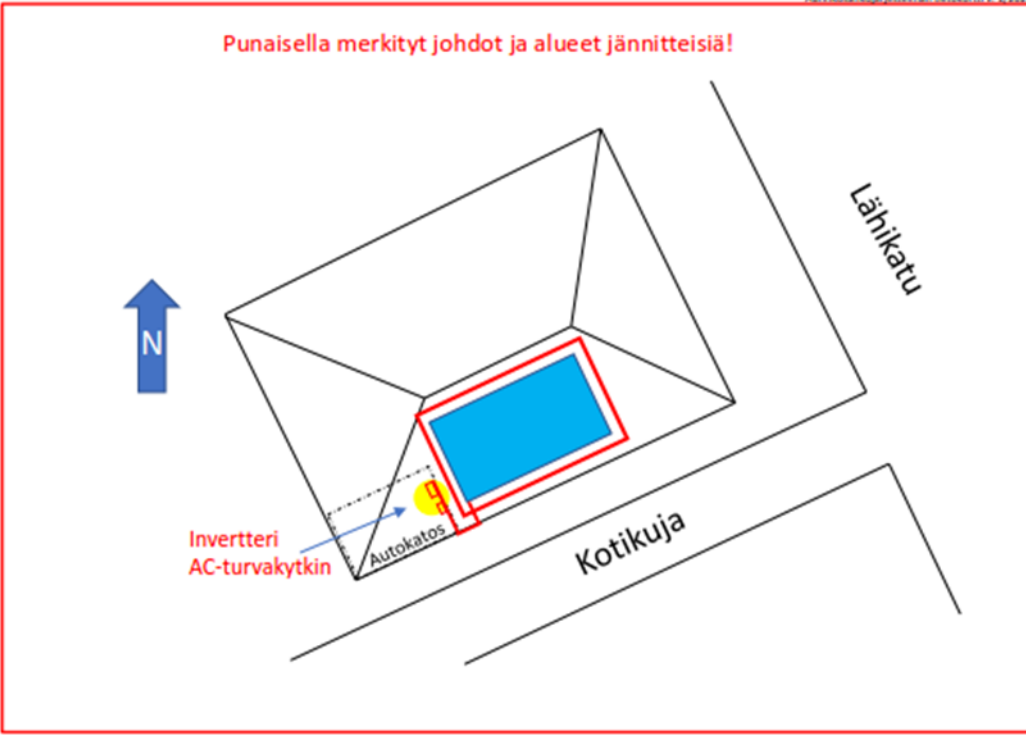
Tukesin hyväksymä sähköasentaja suorittaa järjestelmän tarkastuksen (SFS-EN 62446-1 sekä SFS-käsikirja 607 Aurinkosähköjärjestelmät). Standardissa SFS-EN 62446-1 määritellään aurinkosähkölaitteiston käyttöönottotestit, tarkastuskriteerit sekä vaatimukset dokumentaatiolle. Samalla laitteelle annetaan laitekohtaiset salasanat, jotka otetaan talteen. Laitetta ei jätetä verkkoon kytketyksi. Laitteen kytkeminen verkkoon voidaan tehdä, kun verkkoyhtiöltä saadaan siihen lupa. [1, s. 155.]

Sähkötyöstä pitää jäädä järjestelmän omistajalle *sähköasennuksen käyttöönottotarkastuspöytäkirja*, joka kannattaa erikseen vaatia. Sähkönmyyntiyhtiön kanssa on tehty *sopimuslytuotannon myymisestä*. *Palo- ja turvallisuusmerkinnät* on kiinnitetty hyvin näkyviin kaikkiin aurinkosähköjärjestelmän laitteisiin ja sähköpääkeskukseen, kuten ovat tarrat varoitus VP eli aurinkosähköstä ja varoitus takajännitteestä. Kiinteistöön tehdään *tietokortti (kuva 23)*, jossa on paikannettu laitteisto ja kulkutiet karttakuvalla. [7.]


Sähköverkkoyhtiön hyväksyntää varten toimitetaan *pientuotantolaitteiston liittäminen sähköverkkoon yleislomake (liite 1) ja ohjeet*, jonka jälkeen yhtiö antaa luvan tuotantolaitoksen käynnistämiseen ja se on heti käyttövalmis. [7.]

Aurinkoakkujärjestelmän tietokortti v. 1(2021)

Punaisella merkityt johdot ja alueet jännitteisiä!



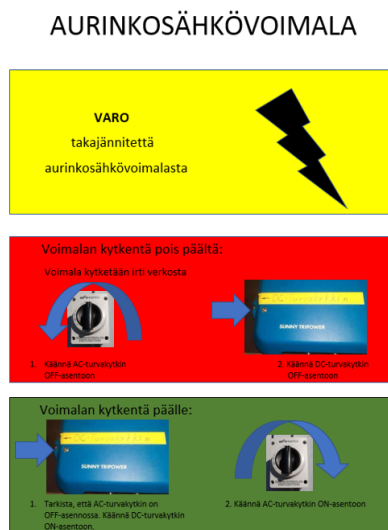
Kohteessa on akusto: kyllä ei tyyppi: litium lyijy jännite: _____ V

Pvm: 30.9.2020	Yleiskuva:	Kohde ja osoite:
Merkkien selitys: — Jännitteinen johto tai alue ■ Aurinkopaneelit ● Turvakytkin, invertteri tai akusto ← Kulku ■ Lämpöeräimet		Kotikuja 12 12345 Tämäkylä
		Urakoitsija: AurinkoUrakka Oy 234 567 8901
		Päivystäjä ja numero: Omistaja: Matti Meikäläinen 042 892 3246

Kuva 23. Kiinteistön tietokortti esimerkki [7]

3.4 Käyttöönotto

Sähköntuotanto on käytettävissä heti, kun auringonvalo tai hajasäteily saa paneelien kytkentäjännitteen käynnistämään invertterin. Etälueuttava sähkömittari näyttää verkkoon syötetyn sähkön määrän kW/h:na. Itsekäytetty tuotto ei sähkömittarissa näy. Laitteen käynnistysjärjestys on, ensin invertterin DC-turvakytkin. Käynnistymisen tapahtuminen seurataan invertterin kytkentävalojen yms. seuraamalla. Sitten kytketään AC-turvakytkin. Sulkeminen tehdään päin vastaisessa järjestyksessä, ensin AC-turvakytkin ja sitten invertterin DC-turvakytkin (Käynnistysohje esimerkki kuva 24).



Kuva 24. Aurinkovoimalan kytkentäohje. (Liite 3)

Tuotannonseurantaohjelmalla ja laitteilla päästään näkemään tarkemmin järjestelmän tuotto tunnissa, päivässä, kuukaudessa, vuodessa. On kuitenkin muistettava, että esim. tuntikäyttö näyttää keskimääräisen käytön, siksi seurantajärjestelmässä on hyvä olla hetkittäisen sähkönkäytön mittari, jolla voi seurata esim. 10 sekunnin välein tuotannon muutosta. Tällä pystyy seuraamaan kodinkoneiden tehonkulutusta. Esim. uuni/liesi (0,6–2,2 kW), vedenlämmitys (2 kW), kiuas (8 kW). Tämän avulla voi seurata yksittäisten laitteiden käyttöä ja välttää ostosähkön käyttöä. Vedenlämmittimen käynnistyessä odotetaan, kunnes se sammuu ja laitetaan vasta sitten pesukone käyntiin tai kun tuottoa on tarpeeksi. Tuotannonkäyttöön ja myyntiin menevän sähkön seurantaan voikin sitten uppoutua ja hienosäätää loputtomiin.

Esimerkki tuotannonseurantaohjelmasta: HomeManagerin kautta pystyttiin seuraamaan koko tuotannon määrää reaaliaikaisesti. Verkkosovelluksessa näkee, milloin järjestelmä kytkeytyi, paljonko se tuotti ja paljonko tuotannosta meni verkkoon myytäväksi tai käytettiin itse. Samalla näkee myös, paljonko sähköä ostettiin.

Esimerkkejä järjestelmän näytöistä kuvassa 25: a) paneelisto tuottaa 8 kW, omakäyttö 3,06 kW ja myyntiin 4,94 kW valtakunnan verkkoon. Kuvassa b) tuottoa on vain 10 W ja ostosähkön määrä on 380 W. Kuvassa c) nähdään ostosähkön määrä punaisena ja aurinkosähkön tuotto keltaisena. Kuvassa d) nähdään aurinkosähkön tuoton päiväkäyrä. Varjostukset tai pilvet ovat tehneet kaareen koloja.



Kuva 25. Tuotannon ohjauksen käyttöjä. a) Tuotantoa riittää myyntiin b) Tuotto 10 W ja tarvitaan ostosähköä 380 W. c) kuvaa ostosähkön (pun.) ja aurinkosähkön (kelt) tasapainoa d) paneelien tuottokäyrä päivältä . [5]

3.5 Ylläpito ja huolto

Katolle asennettavassa järjestelmässä ei ole liikkuvia osia, jotka vaatisivat huoltoa. Siksi järjestelmä on lähes huoltovapaa. Paneelit tuottavat aina, kun auringonvaloa on saatavilla, jopa pilvisinä päivinä auringon hajasäteilyn ansiosta. Talvella paneelien päällä oleva lumi estää sähkön tuoton. Myös auringon vähäinen valon takia marraskuusta helmikuuhun tuotantoa ei juuri ole. Kevättalvella maaliskuussa tuotto on jo merkittävä, jos paneelit ovat lumettomat. Silloin kylmyys lisää sähköntuottoa.

On hyvä tehdä kohteesta järjestelmää kuvaava tietokortti sekä kytkentäohje. KytKentäohjeesta käy selville, miten järjestelmä kytketään päälle ja pois päältä. Tietokortista selviää järjestelmän olennaiset tiedot komponenttien sijainnista sekä turvallinen toimintatapa sammutus- ja palvelutehtävissä. KytKentäohje ja tietokortti sijoitetaan invertterin tai sähkökeskuksen läheisyyteen.

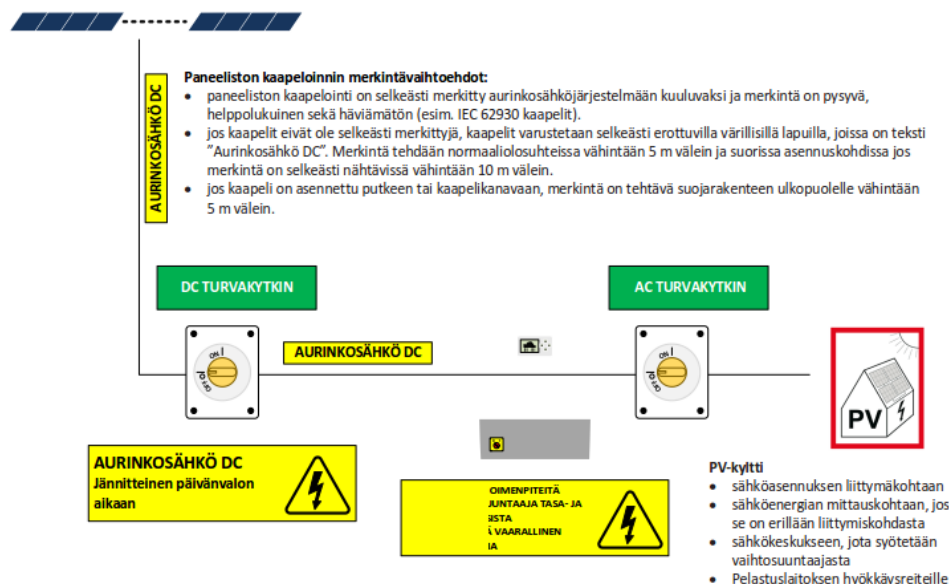
Järjestelmän huoltamiseen riittää laitteiston toiminnan tarkkailu. Poikkeavat toiminnot tai huomattava muutos tuotannossa kannattaa selvittää käyttöohjeen ja/tai järjestelmän toimittajan kanssa. Yleensä riittää, kun järjestelmä on käynnissä. Laitteiston takuuajat ja takuuseen liittyvät huoltovelvollisuudet huomioidaan ja tehdään niille ajoitukset.

Lasipinnan kunto vaikuttaa paneelien tehoon. Paneelien puhdistamiseen riittää sade. Pelkällä vedellä huuhtomalla ja pehmeällä harjalla voi poistaa likatahrat, jotka eivät sateella lähde. Kylmän pesuveden ja kuuman paneelin lämpötilaero voi helposti rikkoa paneelin lasin. Erittäin pinttyneen lian voi poistaa puhtaalla alkoholilla. Talvella ei saa pestä paneeleja tai rapata jäätä paneelin pinnalta. Keväällä paneelinpinta paljastuu nopeasti sen tumman pinnan ja vähäisen kitkan vaikutuksesta. Lumenpoistoa ei suositella. Kantavuuslaskelmien mukaisesti asennetut paneelit kestävät lumikuorman. Aikaisemmin tehtyjen paneelien räikeimmät asennusvirheet korjattiin standardin IEC 62938 avulla. Katolla on huomioitava aina kattotyöskentelyn turvallisuus.

Paneelien tarkistus kannattaa tehdä katon huollon yhteydessä, esimerkiksi keväällä lumiesteiden ja muiden kattotuotteiden tarkastuksen yhteydessä. Tarkistetaan silmämääräisesti paneelit, liittimet ja johtojen kiinnitykset ja kunto. Onko telineissä tapahtunut liikkumista tai löytyykö katolta jotain ylimääräistä? Rikkinäiset paneelit ja löysät liitokset voivat aiheuttaa hengenvaaran. Ullakolla tarkistetaan, näkyykö vuotokohtia tai värimuutoksia, aluskatteessa tai kaapelien läpiviennissä. Tarkastetaan kattotuolien kunto ja mahdolliset eläinten pesät yms.

Invertterin toiminnasta ilmoittavat toiminta- ja varoitusvalot tarkistetaan säännöllisesti. Jos laitteisto kytkeytyy pois päältä, selvitetään, mistä se johtuu ennen uudelleenkytkemistä. Invertterin vikailmoitukset käydään läpi ohjekirjan avulla ja sähköviat saa korjata sähköasentaja. Sähköverkonyhtiön vaatimukset tuottajalle on, että sähkön laatu pysyy sellaisena, ettei verkkoon kytketyt muut laitteet häiriinny ja sähkön käyttäjien ja sähköverkon parissa työskentelevien turvallisuus on varmistettu. [1, s. 38-48.]

Invertterin kiinnitys, tuuletus ja pölyntyminen on hyvä tarkistaa vuosittain. Laitteiden kytkimien toiminta on hyvä testata kytkimen asentoa vaihtamalla päälle ja pois (Huomioidaan kytkimien kytkentä järjestys). Puhdistetaan invertteri valmistajan ohjekirjan mukaisesti. Tarkistetaan, että invertterin käyttöohje löytyy sen läheltä, varoitusarvojen kunto ja DC-kaapeleiden merkinnät ovat kunnossa, kuva 26. Invertterin vaihto on noin 15 vuoden vaiheilla, jolloin erityisesti toimintaa kannattaa seurata ja varautua sen vaihtoon.



Kuva 26. Merkintätarrat. (Standardit SFS 6000-7-712 ja IEC 62548) [7]

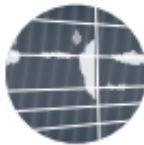
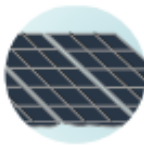
Motivalla on malli vuosihuoltosuunnitelmasta (Kuva 27), jonka avulla järjestelmän tarkistus voidaan suorittaa ja kirjata poikkeamat ja huomiot. Ongelma- ja vikatilanteita varten kannattaa säilyttää takuuseen liittyvät dokumentit, kuten esim. paneelien sarjanumerot, asentajan kytkentätodistus, käyttöohjeet, takuutodistukset. [7]

Aurinkosähköjärjestelmän vuosihuoltosuunnitelma:

Kohteen nimi tai osoite: _____

Tarkistuspäivämäärä: _____

Tarkistuksen tekijä: _____

Toimenpide	Tarkistettu	Poikkeama tai huomio
<p>Tee paneeleille visuaalinen tarkistus. Värimuutokset paneeleissa voivat olla merkki viasta. Mekaanisesti vaurioituneesta paneelista voi saada sähköiskun.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>EVA-kalvon laminaointi on pettänyt paikaitellen, mikä on johtanut ilmataskujen syntyymiseen.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Taipuneita aurinkopaneelien alumiini-kehyskehyksiä.</p> </div> </div>		
<p>Puhdista paneelit tarvittaessa. Yleensä sade huuhtelee lian paneeleista. Erityisen liikaisissa olosuhteissa varovainen puhdistus voi olla tarpeen ja esim. lintujen jätökset on hyvä putsata paneeleilta pois.</p>		
<p>Tarkista liittimien kunto silmämääräisesti.</p>		
<p>Tarkista, onko johdotuksia irronnut kiinnityksistä.</p>		
<p>Tarkista, ettei laitteissa ole eläinten aiheuttamia vaurioita. Esimerkiksi oravat voivat jyrsiä kaapeleita tai linnut voivat tehdä katolle pesän.</p>		
<p>Tarkista, ettei katon tai seinien läpivientien kohdalla ole vuotoja.</p>		
<p>Tarkista visuaalisesti, että paneelien kiinnitystelineet ovat kunnossa. Tarkista myös, ettei telineet ole liikkuneet tai aiheuttaneet vaurioita.</p>		
<p>Verryttele DC-kytkintä. DC-kytkin on joko paneelien ja invertterin välissä tai se on integroitu invertteriin. Saännöllinen verryttely puhdistaa kontaktipintoja. Verryttely tapahtuu laittamalla ensin invertteristä sähkö pois (AC-kytkin) ja sen jälkeen kääntämällä DC-kytkin pois-päälle noin 10 kertaa.</p>		
<p>Tarkista, että laitteiston dokumentointi on ajantasalla ja kiinteistömerkinnät sekä varoituskyltit paikoillaan.</p>		

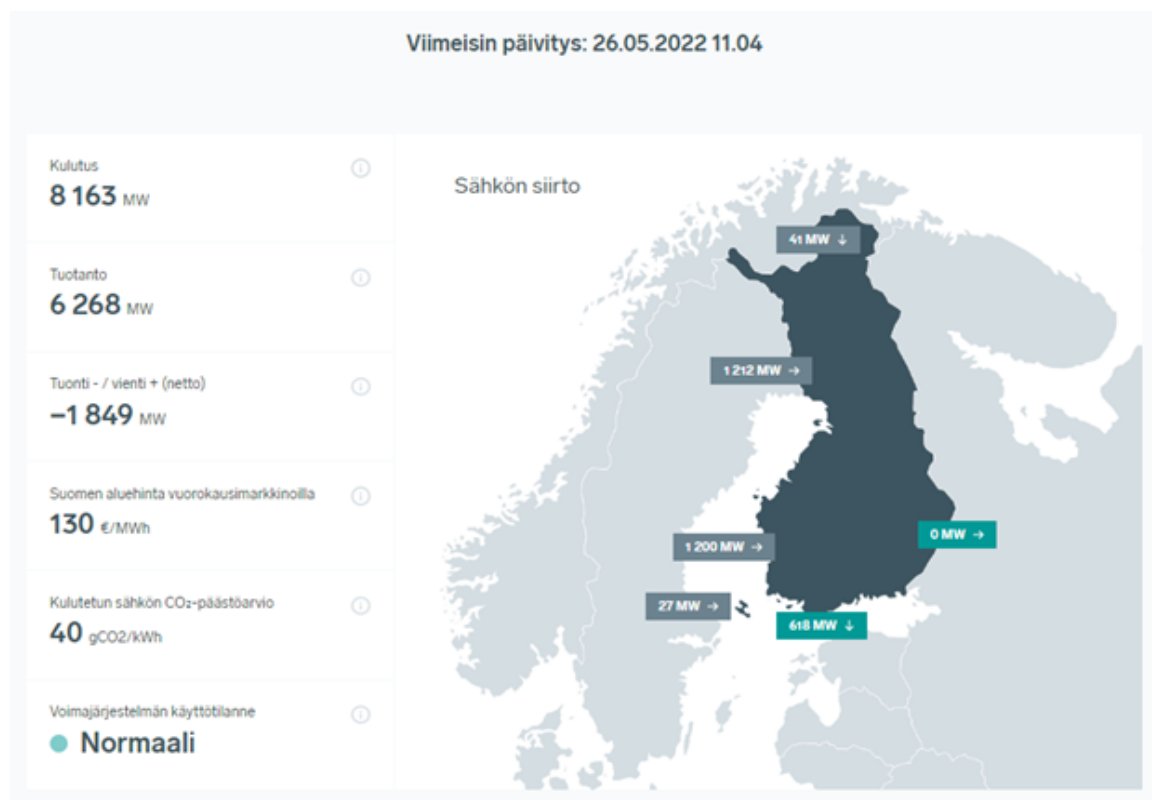
Muita huomioita aurinkosähköjärjestelmästä:

Kuva 27. Motivan vuosihuoltosuunnitelma. [7]

3.6 Tulevaisuus

Aurinkosähköjärjestelmän materiaalikustannukset ovat laskeneet useita vuosia, mutta hinnat lähtivät nousuun vuonna 2021. Komponenttien saatavuusongelmat vaikuttavat hintoihin. Toimittajat päivittävät hintoja jatkuvasti ja tukkuhinnat vaihtelevat nopeasti. Myös asennuksissa on ollut useiden kuukausien odotusaikoja. [7.]

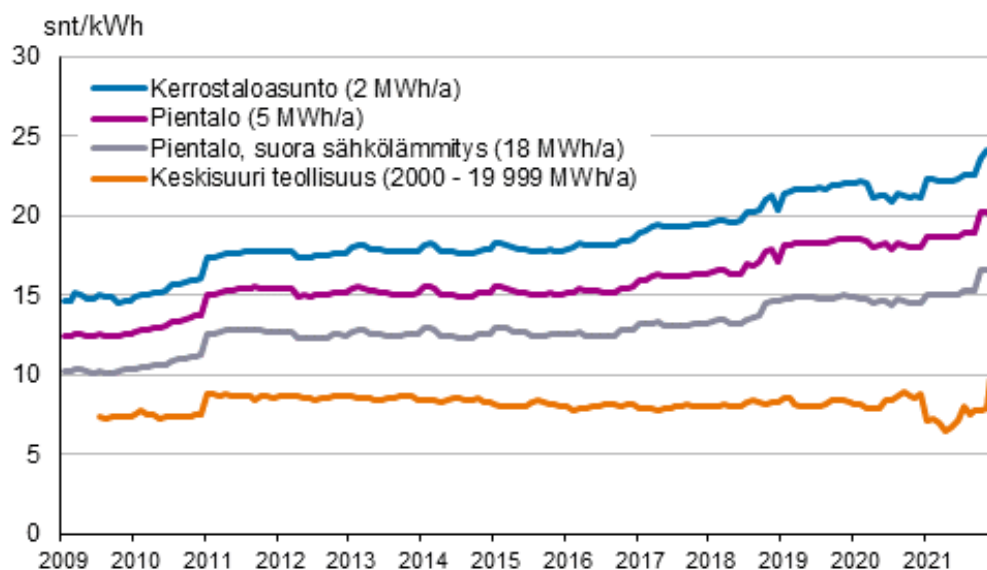
Suuria muutoksia tapahtuu Suomen sähkönkäytön alueella. Valmistuneen ydinvoimalaitoksen käynnistyminen on takkuillut ja uuden Fennovoiman tuotantolaitoksen rakentamiseen vaikuttavat ulkopoliittiset tekijät ovat vielä käsittelemättä. Talvella 2021 tapahtui sähkön spot-hinnan huima nousu, mikä aiheutti omakotitalojen sähkölaskun kallistumiseen. Sähköä ostettiin Ruotsista, Norjasta ja Venäjältä 2022, mutta Venäjän toimitukset loppuivat keväällä 2022. (Kuva 28)



Kuva 28. Suomen sähkön siirto 26.5.2022 [21]

Suomen sähköhintaan on vaikuttanut huomattavasti 2000-luvun alusta sähköverkkoyhtiön siirtohinnan nousu. Sähkön hinnan kaikki palaset, siirtohintaa, verot ja käytetty energia, ovat kallistuneet vuoteen 2011 asti. Tämän jälkeen hinta pysyi muutaman vuoden tasaisena, kunnes 2017 nousu alkoi jälleen. [20.] Kuva 29.

Liitekuvio 4. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin



Kuva 29. Hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot. [20]

Tilastokeskuksen uusimman tiedon mukaan sähkönhinta nousi 2021 lopulla ennennäkemättömästi:

”Sähköpörssin hinnat nousivat vuoden viimeisen neljänneksen lopulla aivan poikkeuksellisen korkeiksi. Koskaan aiemmin ei systeemihinnan eikä Suomen aluehinnan kuukausikeskiarvo olleet nousseet yli 100 euron megawattitunnilta (€/MWh), mutta joulukuussa systeemihinta oli 147 €/MWh ja Suomen aluehinta 193 €/MWh.” [20]

€/MWh		
Vuosi	Hinta	snt/KWh
2021	72,34	0,7234
2020	28,02	0,2802
2019	44,4	0,444

Kuva 30. Sähkön pörssihinta vuosina 2019–2021 [22]. Nord Pool



Kuva 31. Nord Pool Spot -sähköpörssin kuukausikeskiarvot. [20]

Sähkön vähittäismarkkinoiden keskitetty tiedonvaihtojärjestelmä Datahub otettiin käyttöön 21.2.2022. Se on Suomen sähkön kantaverkkoyhtiön Fingrid Oyj:n tytäryhtiön, Fingrid Datahub Oy:n sähkökaupan keskitetyn tiedonvaihdon palvelu eli datahub. Datahubin käyttäjiksi siirtyi noin 80 sähkömyyjää ja 80 jakeluverkkoyhtiötä. Datahubia kehitetään muuttuvien energiamarkkinoiden tarpeisiin, ja se tulee mahdollistamaan muun muassa energiayhteisöjen muodostamisen sekä vartin tasejakson ("varttimittauksen") käyttöönoton vuoden 2023 aikana. [21.]

Aurinkovoiman tuotanto vaatii ainoastaan pääomainvestointeja, energia itsessään on ilmaista.

”Isot energiayhtiöt joutuivat pihalle uusiutuvan (energian) buumista, koska tässä pääoman tuotto oli pienempi. Sen sijaan esimerkiksi eläkeyhtiöt lähtivät mukaan, sillä ne ovat tottuneet tekemään investointeja pidemmällä takaisinmaksuajalla. Uusiutuviin investointi on myös riskittömämpää.” (LUT- yliopiston prof. Jero Ahola [9.]

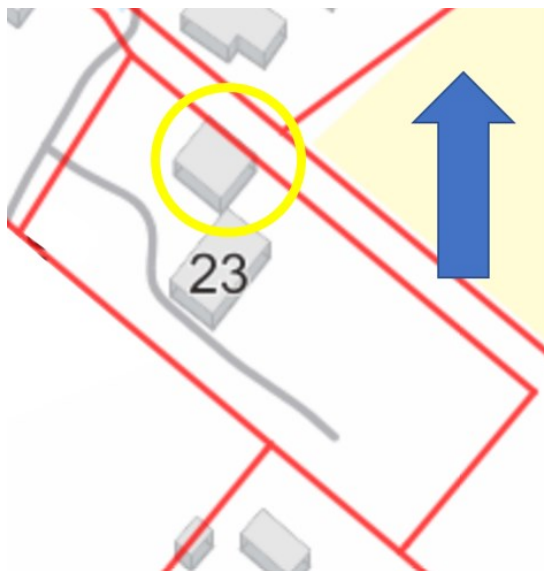
Ennen kuin tilanne selviää pientalon omistajan kannattaa vielä varmistaa oma sähkönsaanti ja vaikuttaa sen hintaan. Aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa koko ajan, kun aurinko paistaa (marras-helmikuuta lukuun ottamatta) ja maksaa sijoituksen sitä nopeammin mitä kalliimmaksi sähkön hinta nousee. Jos järjestelmän tuotto maksoi ennen itsensä 12–17 vuodessa, tapahtuu se näillä näkymin paljon nopeammin (invertterin vaihto huomioitu). Ja jos tuotantoa on myydyä, kannattavuus tuo lisätuottoa mahdollisesti korkeammalla sähkön hinnalla sekin. Järjestelmä tuottaa 30 vuotta tai kauemminkin, eli 13–20 vuotta saadaan ilmaista tuottoa. [7.]

Tällä hetkellä näyttää houkuttelevalta vaihtoehdolta tehdä mahdollisimman suuri aurinkosähköjärjestelmä, jonka tuotto käytetään kohteessa hyväksi ja myydään ylituotto korkeaan hintaan. Kohteessa on tarkoitus lisätä aurinko paneeleja ja nostaa vuosituotto lähemmäs 10 kWh vuodessa. Akkujen lisääminen järjestelmään tulee yhä kannattavammaksi, joten niiden tarve tulee jatkossa olemaan merkittävä. Tietysti on otettava huomioon myös tilanne, jossa sähkön hinta laskee, mutta tällä hetkellä sijoitus näyttäisi hyvältä. Vuosi 2023 näyttää miten sähkön varttinetotus tuo tullessaan.

4 Case Rantavoima

Lähtötilanne aurinkosähköjärjestelmässä oli hankkia sijoituskohde, jonka asentaminen voitaisiin tehdä mahdollisimman pitkälti kohteessa itse ja sähkötyöt tekisi sähköurakoitsija. Toimittajaksi valikoitui hyvin pian 8 vuotta aurinkopaneelilyhteistilauksia Suomessa tehnyt yritys (Purotokka OY, Aurinkovirta). Nettisivut olivat kattavat, referenssejä, suosituksia ja tietoa oli hyvin saatavilla. Koronaepidemian aikana konsepti sopi hyvin, sillä toimitukset tulevat suoraan tilaajan pihaan ja neuvonta tapahtui puhelimitse, sähköpostilla sekä nettisivujen kautta. Käytettävissä oli myös yhteistilaajien tietotusväylä, kommenteille ja huomioille.

Kartoitus aloitettiin kiinteistön sijainnilla karttapaikka nettisivun avulla. Toimittaja-arvio oli, että paras tuotto saataisiin rakentamalla järjestelmälle oma teline tontin itänurkkaukseen ja suuntauksella etelään. Lisäksi tutkittiin epäedulliset suuntaukset aurinkoon, autotallin lappeiden kaakko-luode suuntiin. Kolmas ehdotus oli niiden välimuoto: katto asennus kaakkoon ja maaneline. Itänurkkauksen sijoitus olisi vienyt tontin käyttöalaa ja tontilla liikkuminen aiheuttaisi varjostumia paneelille, ellei teline olisi huomattavan korkea. Autotallin kaakko-luode -sijoittelu veisi vähän tilaa ja olisi miltei huomaamaton katolla (Kuva 32).



Kuva 32. Autotalli tontilla ja merkitty pohjoinen ilmansuunta.

Lähdettiin kartoittamaan 8 kW huipputehon järjestelmää PVGIStools-ilmaislaskentaohjelmalla. Sähkökulutus oli ollut lähellä 10 000 kWh vuodessa. Ohjelmalla haettiin paikka, kartalla tai koodinaateilla, ja valittiin kohteen tiedot (järjestelmän huipputeho kWp, katon kaltevuus ja ilmansuunta jne.)

Testattiin kyseinen suunta, kaakko–luode, nykyisellä katon kaltevuudella 15,5°. Laskettiin 8 kW:n järjestelmällä, jaettuna kummallekin lappeelle, luode ja kaakko, 4 kW:n tuotto. Tällä suuntauksella käyttöaika pitenee aamusta iltaan, tosin keskipäivän maksimituottoa ei saavuteta.

Ohjelmassa ERA5-järjestelmällä tuotot olivat: luode 2398 kWh/ vuosi ja kaakko 3186 kWh/vuosi ja Cosmo-tietokannalla saatiin vastaavat: luode 2388kWh/ vuosi, kaakko 3064kWh/ vuosi. Seuraavaksi laskettiin 4 kWp:n paneelistolle ns. ominaistuotto eli 1kWp paneelistoa kohti. Jaetaan luvut 4 kWp. Ominaisuotto 1 kWp on: luode 597 kWh/kWp, kaakko 766 kWh/kWp. Päädyttiin selvittämään 10 kW järjestelmää, jossa olisi 10 kW:n invertteri.

Käytiin läpi kattorakenteet. Kattotuolien määrä 11 kpl. Kattotuolit oli tehty kahdesta 25 x 100 mm lautarakenteista, joiden viistotukien välissä oli 25 mm tyhjävälä. Kattotuolit olivat jaolla 935–940 mm ja ruodeväli 350 mm. Harjan pituus 9815 mm ja räystääs 360 mm. Katon kaltevuus 15,5°. Kattomateriaali oli profiilipelti Tiilikainen. Toimittaja ehdotti viistotukien väliin lautaa, johon tehtäisiin ennen asennusta ankkuripulttien paikat. Päätettiin vahvistaa kattotuolien rakennetta. (Kuva 33).



Kuva 33. Kattotuolien rakenne ennen vahvistusta.

Toimittajalle annettavat tiedot järjestelmän suunnittelua varten:

- käytetyn sähkön määrä vuodessa (kesällä, kuukaudessa, päivässä)
- paikkatiedot (osoite tai koordinaatit)
- rakennuksen tiedot: harjakorkeus, -pituus, räystäät, kattotuolien määrä ja jako, ruodelautojen jako, kattomateriaali, kattokaltevuus, varjostavat elementit piiput, kattoikkunat yms. tontin varjostukset.
- pääsulake koko, lämmitysmuoto, sähkön käytön erityispiirteet esim. uima-allas, jäähdytys kesällä.

Järjestelmän kooksi hahmottui 10 kW:n järjestelmä, jossa on 16 paneelia per lape (paneelin koko 1,68 m²). Paneelien käyttämä pinta-ala olisi n. 27,5 m² / lape (yht. 55 m²). Valittiin toimittajan, alumiiniprofiilikiinnitysjärjestelmä, ankkuripulttiasennuksella. Toimittaja teki paikkakunta-kohtaiset lumi- ja tuulikuormalaskelmat sekä telineiden, paneelien ja pulttien kantavuuslaskennat ja runkopulttien määrä- ja paikannuskaavion.

Tässä vaiheessa otettiin yhteys sähköverkkoyhtiöön, jossa tarkastettiin järjestelmän sopivuus verkkoon. Saatiin verkkosuunnittelusta lupa 10,2 kVA:n aurinkosähköjärjestelmälle. Sovittiin *yleistietolomakkeen* (liite 1) toimittamisesta verkkoyhtiölle, kun asennus on valmis ja testattu. Lomakkeen tietoja ovat mm. laitoksen haltija, käyttöpaikan numero, pääsulake koko, tuotantolaitteisto ja tekniset tiedot. Jos tekniset vaatimukset täytetään, verkkoyhtiö ei voi evätä aurinkojärjestelmältä lupaa.

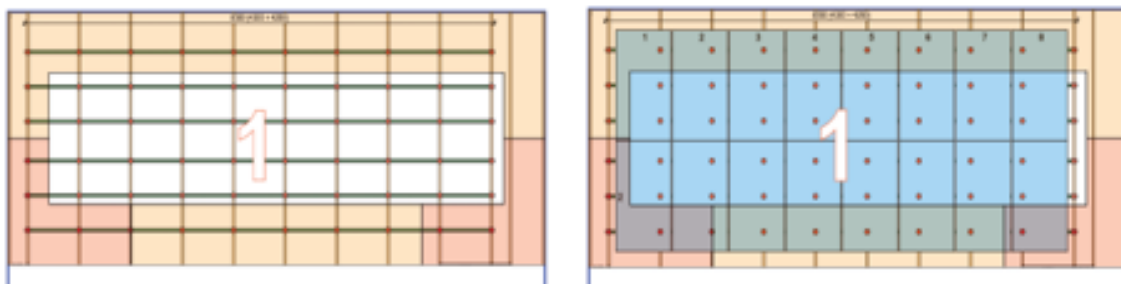
Sähköyhtiön kanssa sovittiin pientuotannon aloittamisesta ja ylituotannon myymisestä sähköyhtiölle (spot-hinta). Tuntinetotus ei ollut vielä käytössä tässä sähköyhtiössä (viimeistään 1.1.2023). Alueen rakennusjärjestyksessä on tieto, että asemakaavan ulkopuolella olevat aurinkopaneelit eivät tarvitse toimenpidelupaa, jos koko on yli 10 m² ja alle 100 m².

Järjestelmäksi valikoitui 32 kpl x 330 Wp -aurinkopaneelijärjestelmä, invertteri 10 kVA 3-vaiheinvertteri, paneelin telinejärjestelmä peltikatolle ankkuripulttikiinnityksellä. Ankkuripulttien pituudeksi varmistui 250 mm, josta 115 mm kiinnitetään puuhun, kattoristikoon ja ruodelautaan. Valittiin kolmen profiilikiskon teline, jossa yhtä pystysuunnassa olevaa aurinkopaneelia kohti on kolme kiskoa. Käytön vaivattomuuden lisäämiseksi päädyttiin hankkimaan myös tuotannon ohjauslaitteisto, joka näyttää kulutuksen, oston, myynnin ja tuoton sekä mahdollisuuden ohjata laitteita. Päätettiin liittyä yhteisostohankintaan 2021 keväällä. Tässä

vaiheessa maksettiin kiinteä neuvontamaksu, joka määräytyi hankinnan koon mukaan. Toimittajan tarjoukseen kuului:

- 330 Wp aurinkopaneelit (32kpl) + rahti
- 3-vaiheinvertteri + rahti
- Järjestelmän ohjauslaite (HomeManager)
- Kiinnitystelineen osat, 2 lappeelle
- Varoitustarrat (aurinkovirta- ja takajännitevaroitustarrat)
- DC-kaapelit ja liittimet invertterille (DC - ja AC -liittimet)
- Sähköasennusosat: turvaerotuskytkin, sähkökaappi ja poranterä + rahti
- Osallistumis- ja suunnittelumaksu

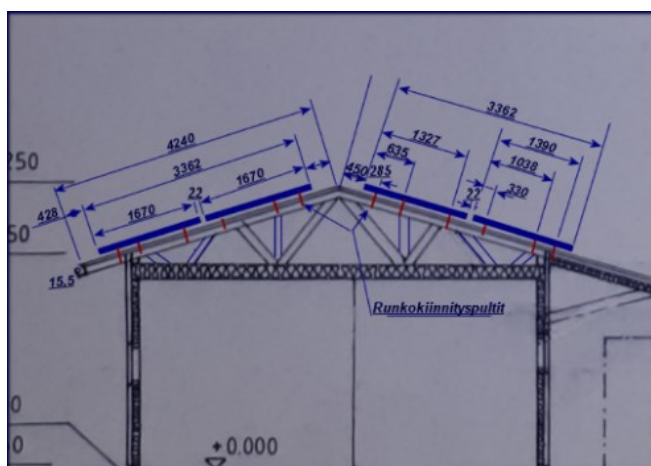
Suunnitelmaan toimittaja laati telinepaikannuskuvat ja paneelin sijoittelukuvat sekä kattoasennuksen lujuuslaskennat telineille (Kuva 34): rakenteelle $0,11 \text{ kN/m}^2$, tuuli $0,57 \text{ kN/m}^2$ ja lumikuormilla $1,6 \text{ kN/m}^2$. Erilliset laskelmat tehtiin telineille, universal-Adaptoreille ja paneelin väli ja pätekiinnittimille.



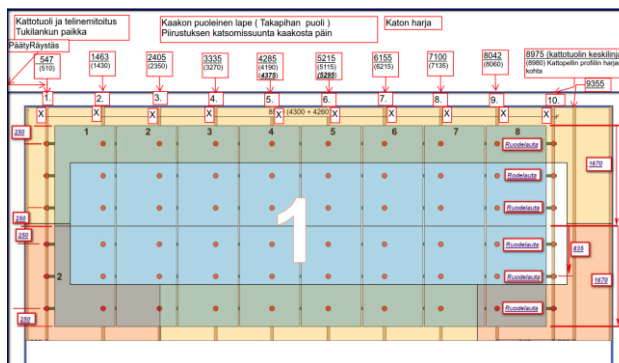
Kuva 34. Vasen: Asennustelineet, ankkuripulttien paikat kattotuolin ja ruodelaudan liittyymiin. Oikea: Paneelien sijoitus telineessä. (Punaiset pisteet ovat ankkuripultteja). [5.]

Tilaus hyväksyttiin, ennakkomaksu maksettiin ja ensimmäiset toimitukset tulivat 2–4 viikon kuluttua. Aloitettiin kattorakenteiden tutkiminen ja vaadittavien vahvistusten tekeminen. Päätettiin vahvistaa kattotuolit $50 \times 100 \text{ mm}$:n lankuilla, johon kiinnitetään järjestelmän ankkuripultit katon läpi. Tämä lankku kiinnitetään kattotuolin sivuun. Läpivientien vuotokohtien minimoimiseksi pulttien paikat tähdättiin ruodelaudan ja tulevan lankun liittymäkohtaan. Näin aluskate pysyy ehjänä.

Samalla peltikatteelle tuleva reikä saatiin profiilipellin profiilin yläkaareen. Tämä onnistui säätämällä lankun paikkaa, kummalle puolelle kattotuolia se laitettaisiin. Tehtiin vielä kaaviokuva ankkuripulttien paikoista (Kuva 35 ja 36). Kattotuolien lautojen väliin asennettiin vielä tyhjään väliin, 25 mm lauta. Asentamiseen käytettiin akkukäyttöistä naulapysäyssiä ja nauvoja 1000 kpl 90 mm, sekä jokaiseen lankkuun tuli ruuveja 16 kpl 6x120 mm.



Kuva 35. Ankkuripulttien paikat punaisella. Kaksi paneeliriviä päällekkäin.



Kuva 36. Ankkuripulttien paikat punaisella: yhdelle lappeelle

Sähköurakoitsijan kanssa sovittiin alustavasti sähkötoista. Potentiaalitasaus kaapelin kytkeminen, paljas kuparikaapeli maan alle sekä potentiaalintasauskisko. Kaapeleiden vienti maadoitetun metalliasennusputken eli JAPP-putken (\varnothing 25mm) sisällä invertteriltä katolle sekä DC-kaapelit ja -reititys sekä paneelien liittimien liittäminen sekä potentiaalitasausjohdon kytkeminen kaikkiin alumiiniprofiileihin. Sovittiin alustavasti myös invertterin, sähkökaapin, erotuskytkimen ja *HomeManagerin* kytkeminen.

Kattotuolien vahvistamista varten käytettiin kiinteää rakennustelinettä ullakolle pääsemiseksi. Suunnitelmasta tehtiin ankkuripulttipaikannuskaavio, johon laskettiin kaikille pulteille oma paikka, joka oli lankun keskellä ja mahdollisimman korkeassa kohdassa profiilipeltiä.

Katolla työskentely aloitettiin telineiden kokoamisella, rakentamisella ja putoamisvaljaat otettiin käyttöön. Ennen asennusta katto pestiin ja huollettiin mm. vaihdettiin huonot ruuvit ja korjattiin mahdolliset reiät. Katolla kuljettiin profiilin pohjalla, ettei profiilipelti taitu.

Ensimmäisessä toimituksessa saapuivat aurinkopaneelit ja kattotelineet. Aurinkopaneelit tulivat suoraan tehtaalta alkuperäispakkauksissa. Paneeleiden paketti painoi 516 kg ja oli 2 m korkeassa pahvilaatikossa. Vastaanottovaiheessa tarkistettiin paketin kunto, pienten painaumien vuoksi ja kuvattiin rahdintoimittajalle, jos paneeleista löytyy vaurioita.

Purkaminen piti tehdä pystyasennossa ja tukea, ettei paketti pääse kaatumaan. Paneeliläheteessä oli paneelien yksilöidyt sarjanumerot, jotka tarkastettiin paneeleista. Tämä lista arkistoiitiin takuuasioiden ja varkaustilanteiden varalta. (Kuva 37)



Kuva 37. Aurinkopaneeli toimitus, purku ja säilytys.

Katolle merkittiin ankkuripulttien, ylä- ja alanurkkien paikat ja kurkattiin pellin alle varmistaen oikea paikka. Näin saatiin pystylinjat ankkuripulteille (Kuva 38). Samalla etsittiin ruodelaudan etäisyyksien vaakalinjat. Kaikille ankkuripulteille tehtiin merkinnät kattopeltiin ja tarkistettiin ristimitalla.



Kuva 38. Ankkuripultti, kumitiiviste, ruuvit ja universal-liitin telineen kiinnitykseen ruuveineen. Pultissa on valmiina EPDM-kumitiiviste, puuruuvin kierreosus n. 70 mm ja kolme M12-mutteria. Ankkuripultin alkureikä kattopeltiin tehtiin pienellä poranterällä 4–5 mm. Reikää suurennettiin 12 mm poranterällä, jonka jälkeen kartioaskelporalla saatiin 16 mm siistireunainen reikä peltiin, jotta ankkuripultin tiivistemuovi pysyy ehjänä. Lopuksi 8,5 x 390 mm:n metalliporalla tehtiin kattopeltiin poraohjaimen avulla katon suuntainen kohtisuora reikä, ruodelaudan ja lankun yhtymäkohtaan. Puuhun tulevan reiän syvyys oli 115 mm.

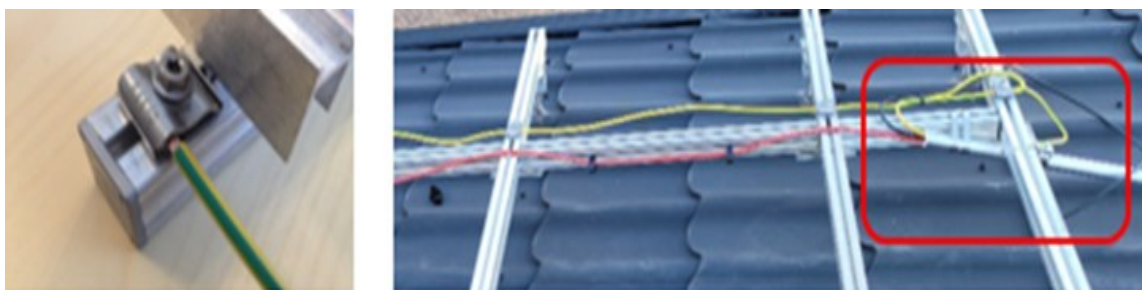
Ankkuripultit 12 x 250 mm uitettiin mäntysuopaliuoksessa kitkan vähentämiseksi ja tuotiin sangossa katolle. Työ aloitettiin reunariveistä. Pultit esiasennettiin runkopultti hylsillä ja tarkistettiin korko, että kaikki ovat linjassa ja oikealla korkeudella. Kumitiiviste tiukattiin kattopeltiin. Kun yksi sivu oli tehty, tehtiin lappeen vastakkainen sivu. Pulttien väliin vedettiin linjalanka ohjaamaan välille tulevien pulttien korot ja paikat.

Kun ylärivin kaikki ankkuripultit olivat paikoillaan, aloitettiin alumiiniprofiilitelineiden asentaminen. Koottiin alumiiniprofiili maassa liittämällä kaksi alumiiniprofiiliputkia yhdeksi pitkäksi saloksi, profiilijatkosetillä. Alumiinin hahloon liu'utettiin kaksi nelikulmaista rapid cross-ruuvia, jokaista ankkuripulttia kohti. Telineen päihin tuli muovitulpat. Vietiin alumiiniprofiili katolle ja kiinnitettiin universal-liittimiin telineen mutterit. Yläprofiilin jälkeen asennettiin alin profiili (kuva 39). Tarkistukset tehtiin mitalla, tasolaserilla ja luotilangalla, ja asennettiin loput alumiiniprofiilit. Yhteensä alumiiniprofiilitelineitä tuli 6 per lape.



Kuva 39. Alumiiniprofiilien kiinnitys universaladapterin avulla. Ylin ja alin teline kiinnitetty. Välirivien ankkuripultit ovat paikoillaan.

Tässä vaiheessa tuli invertteritoimitus. Invertterissä on kaksi MPPT-tuloa, joihin kytketään kaksi erillistä paneelisarjaa eli stringit. (MPPT maksimitehopisteenseuraajan alue 320–800 V) Invertterin sijoituspaikaksi valittiin autotallin sisäseinä, joka on säältä suojattu. Invertterin kuumeneminen estetään varaamalla sen ympärille riittävästi vapaata tilaa. Invertteri on painaa 20 kg ja se kiinnitetään tukevalle omalle alustalleen. Autotallissa invertterin käyntiäänä ei haittaa. Kaapelien läpiviennit katon harjalle tehdään JAPP-putkessa (metallisuojaputki), jonka päihin laitetaan suojatulpat. Kaikkia kolmea kaapelia, DC- ja kevi-kaapelit, viedään JAPP-putkissa katon harjan kautta kummallekin lappeelle omansa (Kuva 40). Katonharjapellin alta se viedään aina ylimmän paneelin alapuolelle asti. Näin putki suojaa kaapelit mahdollisimman hyvin.



Kuva 40. Oikealla potentiaalitasaus- eli kevi-kaapelin RSY -liitin kiinnitettynä aurinkopaneelin alumiprofiiliin. Oikealla näkyy katon harjalta tuleva JAPP putki.

Asentaja teki kaapeloinnit, liitti kevi-kaapelin kaikkien paneelien telineiden päihin, josta se on hyvin tarkastettavissa myöhemmin. Liitos tehtiin telineen mukana tulleilla RST-kiinnikkeillä. Alumiinitelineen pinta hiottiin liittimen alta liitosrasvan kanssa. Myös JAPP -putken liitettiin kevi. Kaikki kevi-kaapelit kytketään rakennuksen pääpotentiaalitasauskiskoon. Matka invertteriltä paneeleille on mahdollisimman lyhyt sähköhäviön estämiseksi. Kaapeleihin jätettiin kuitenkin lämpötilan muutoksista johtuva liikkumavara. Valmistajan ohjeessa kaapeleiden käänöksien pitää olla halkaisijaltaan vähintään 60 mm, taivutussäde on 5 x kaapelin halkaisija. Invertterille tulevien DC-kaapeleiden päihin tuli SUNCLIX-liittimet (plus ja miinus). Paneeli päähän katolle tuli MC4-liittimet. MC4-liittimiä varten oli täysin omat työkalut, joilla liitokset on tehtävä, jotta varmistutaan liitosten kunnosta. Toimittaja lainasi pihdit asentajan käyttöön.

Sähköasentaja veti PV1-F kaksoiseristetyt DC-kaapelit paneeliston alle tavalla, joka minimoi SFS 6000 -vaatimusten mukaan johdinlenkit ja pienentää näin ylijännitevaurioiden syntymisen riskiä. DC-kaapelien vedossa punainen (plus) DC-kaapeli tekee lenkin mustan (miinus) DC-kaapelin rinnalla paneeliketjussa kuuluvien paneelien alla. Näin johdinlenkkien muodostama pinta-ala on mahdollisimman pieni.

Paneelien asennus sääksi valittiin kuiva, tuuleton, puolipilvinen päivä. Paneeleita käsiteltiin puhtailla viillon kestäväillä hansikkailla, vain kehyksistä. Kevyt paneeli muodostuu helposti leijaksi ja sen vuoksi niitä käsitteli katolla aina kaksi henkilöä (Kuva 41). Aurinkopaneelien liittäminen aloitettiin kaakkolapteen alarivistä oikealta. Paneelit nostettiin katolle nosturilla, johon oli tehty paneeleita varten nostoteline. Telineeseen mahtui kerralla 4–6 paneelia pitkällä sivulla nojaten ja lukittuna paikoilleen.



Kuva 41. Paneelin asennus profiilien päälle.

Aurinkopaneelin kaapeleissa oli valmiiksi kiinnitetty Stäublin MC4 DC-liittimet. Paneelit asentaja kytkee sarjaan. MC4- liittimien liitokset tehtiin huolellisesti, ettei liitokseen pääse likaa tai kosteutta ja jokaisesta liittimestä kuului lukitusääni. Lopulta DC-kaapelien liitokset kiinnitettiin telineisiin liittimen molemmin puolin vedon poistamiseksi. Johtimen kiinnityskohta suojattiin UV-suojatulla halkaistulla muoviputkella, joka kiinnitettiin metallipanduuteilla. Näissä oli pyöristetyt reunat. Mahdollisesti roikkumaan jäävät johtimet kiinnitettiin UV-säteilyn kestäväillä muovi proklipmulti 10S-kaapelikiinnikkeillä sekä panduuteilla. Näin ne eivät takerru mihinkään (esim. lumi, jää) ja pysyvät ehjinä (Kuva 42).

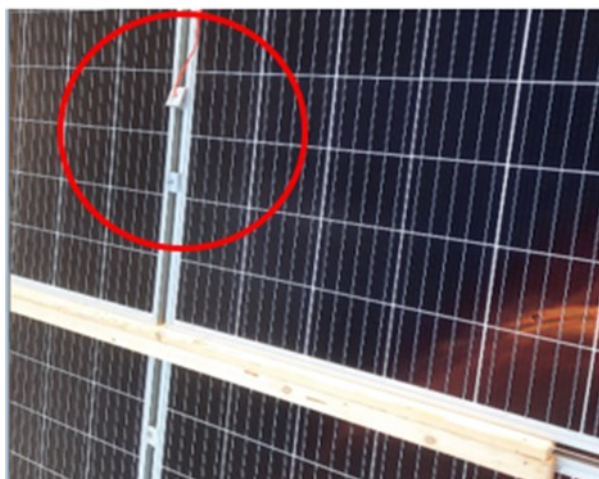


Kuva 42. MC4 liitos ja DC -kaapelin liittäminen kiskoon.

Kun kaapeli oli kiinnitetty, voitiin paneeli kiinnittää telineisiin. Reunimmaisheet paneelisivut kiinnitetään sivuliittimillä ja paneelien väleihin tulee väliliittimet (kuvat 43). Paneelien oikeiden välyksien pitämiseen tehtiin jigat. Pystyvällyksenä oli naruun kiinnitettyt kaksi liittintä, joihin teipattiin tarvittava väly. Vaakatasossa välin tekemiseen käytettiin L:n muotoista lankkua, jonka päälle paneeli nojasi asennuksen ajan (kuva 44).



Kuva 43. Paneelien väli- ja päätyliittimet kiskokiinnitykseen .



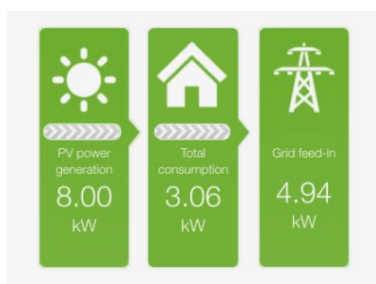
Kuva 44. Paneelien jigat asennusvaiheessa. Narussa pysty jigi paneeliliittimien avulla, joihin on lisätty väly sekä lauta vaaka välystä varten.

Rakennukseen lisättiin maadoituskaapeli maahan ja potentiaalitasauskisko. Kun kytkennät oli paneelilta invertterille hoidettu, sähköasentaja huolehti myös AC-puolen materiaalit ja kytkennät. Invertteriltä kaapelit vedetään turvakytkimelle ja sieltä autotallin omaan sähkökeskukseen. Samalla asentaja kytki tuotannon ohjausjärjestelmään kuuluvan HomeManagerin kytkennän invertteriltä pääsähkökeskukseen, jossa oli kiinteistön sisäisen tietoverkkokaapeliliitin.

Sähkötöihin kuuluivat myös testaukset ja sähköasennuksen käyttöönottotarkastuspöytäkirja ja kytkentäkaaviot sekä ohje voimalan kytkemistä päälle ja pois. Asennukseen kuuluu myös tarrojen kiinnittäminen aurinkopaneeli laitteisiin. Kun kaikki on kunnossa, asentaja konfiguroi laitteen verkkoon. Sähköverkkoyhtiölle lähetetään pientuotantolaitoksen yleistietolomake, minkä jälkeen saatiin lupa liittää järjestelmä verkkoon.

Kun lupa saatiin, käännettiin vain invertterin DC-kytkin päälle ja sitten AC-turvakytkin. Etäluettavasta sähkömittarista näkyi nyt verkkoon menevä ylituotannon sähkön määrä omana mittauksena kWh:na.

HomeManager:n kautta pystyttiin seuraamaan aurinkopaneelijärjestelmän tuotannon määrää. Verkkosovelluksessa näki, milloin järjestelmä käynnistyi, paljonko se tuotti ja paljonko tuotannosta meni verkkoon myytäväksi tai käytettiin itse. Samalla näki, myös paljonko ostettiin sähköä. Kuvassa 45 on esimerkki järjestelmän näytöstä. Paneelisto tuottaa 8 kW kyseisenä hetkenä, itse käytetään 3,06kW ja myyntiin menee 4,94 kW valtakunnan verkkoon.



Kuva 45. Esimerkki HomeManagerin näytöstä, jossa näkyy tuotto, omakulutus ja verkkoon syötetyn myydyin sähkön määrä.[5]

5 Yhteenveto

Tilastokeskuksen julkaisussa 2.11.2021 sanotaan:

”Aurinkosähköntuotanto kasvoi Suomessa huomattavasti vuonna 2020, mutta sen osuus kokonaissähköntuotannosta on edelleen marginaalinen (0,3 %).” [20]

Tällä hetkellä Suomen energiatuotannon tilanne on ongelmallinen. Turpeen- ja kivihiilenkäyttö energiatuotannossa on lopetettu ja atomien energian tuotannossa on ongelmia. Maakaasun tuonti on lähes pysähtynyt. Öljyn hinnannousu ja hiukkaspäästöt vähentävät sen käyttöä. Myös puunpolto on hiukkaspäästöjen vuoksi pyritty vähentämään. Tätä taustaa vasten tarvitaan uusiutuvia energialähteitä, kuten aalto-, tuuli- ja aurinkoenergia.

Aurinkopaneelien hankinta vaikuttaa yksinkertaiselta. Avaimet käteen järjestelmien tarjoajat saavat sen näyttämään todella helpolta päivän asennustehtävältä. Matkalla on kuitenkin paljon selvitettävää ja kaiken aikaa tapahtuu suuria muutoksia lainsäädännössä, sähkökaupparakenteilla, aurinkopaneelijärjestelmien kehityksessä ja tuotannossa.

Järjestelmän tulisi toimia *yli 30 vuotta* moitteettomasti, sen vuoksi on hyvä sijoittaa asennukseen tuotteiden laatuun ja takuuajoihin. Käyttöaikana otetaan huomioon invertterin vaihto ja paneelien tekninen heikkeneminen iän myötä (30 vuoden päästä n. 80% alkuperäisestä). *Ammattitaitoinen toimittaja* tukee hankinnassa ja tuo esille vaihtoehtoja. Laadukkaat tuotteet (tunnetut merkit) ja hyvät takuuajat tuovat varmuutta järjestelmän kestävyydelle.

Hankinta on helpoin tehdä avaimet käteen toimituksena asiantuntevalta ja vastuulliselta toimijalta. Mikä tarkoittaa yleensä suurta toimittajaa, jolle maine on tärkeä alalla pysymiseksi. Vastuu toimituksesta ja järjestelmän toiminnasta jää toimittajalle. On kuitenkin hyvä tietää, mitä kauppaan kuuluu ja mitä toimittajalta on hyvä vaatia.

Erityisesti huopa- ja profiilipeltikatoille tuleva järjestelmä on riskialtis, jonka asentamiseen täytyy kiinnittää huomiota katon läpivientin takia. Helpommat katteet ovat tiili- ja saumapeltikatto asennukset. Katon lappeen suuntainen asennus on helpoin toteuttaa, kun erikoistelineitä ei tarvita. Rakenteen kantavuus ja kunto on hyvä tarkistaa ennen asennusta.

Järjestelmän hankinnan kannattavuus on suoraan verrannollinen sähkön hintaan. Suuremmat järjestelmät maksavat suhteessa vähemmän, koska kiinteät osat järjestelmästä jakaantuu järjestelmään, kuten invertteri, telineet, suunnittelu ja asennus.

Omakotitalojen järjestelmien koot ovat 3–10 kWp. Yleisin on 5kWp järjestelmä. Sen hinta avaimet käteen hankittuna vuonna 2021 oli 5000–7000 e. Hyvällä aurinkoisella paikalla sillä saavutetaan 4000–4500 kWh vuodessa. Hinta muodostuu suunnittelusta, asennuksesta, opastuksesta ja laitteista. [5]

Paneeliston suuntaus ja paikka varjoton paikka ovat järjestelmän ydin. Parhaan hyödyn järjestelmästä saa *käyttämällä tuoton kohteessa*, kun sitä on saatavilla eli päivällä. Usein on kuitenkin niin, ettei keskipäivällä ole käyttäjiä vaan kulutus painottuu aamu ja ilta aikaan. Tämän vuoksi usein suositeltu paneeliston suuntaus etelään sen suurimman tuotannon vuoksi ei välttämättä ole paras ratkaisu, vaan myös paneeliston suuntaus kaakko-lounassuuntaan tuo mahdollisuuden hyödyntää tuotantoa pidenpään ilta ja aamu aikaan.

Paraskaan järjestelmä ei ole kannattava käyttäjälle, ellei tuoton ohjausta hallitse. *Tuotannonseurantaohjelma* on välttämätön osa järjestelmää, jos halutaan käyttää tuotanto tehokkaasti hyväksi. Ohjelmalla seurataan reaaliaikaisesti tuotantoa ja ohjataan kulutusta laitekohtaisesti. Myös vialliset laitteet havaitaan helpommin kulutuksessa. Tuotannonseurantaohjelma tuo hyvin pian hintansa takaisin. Seurantaohjelman kautta havaittiin helpommin vikatilanteita sähköjärjestelmissä. Esim. lämmitysjärjestelmän maalämpöpumppu käynnistyi tiheästi. Syynä oli lämpötila-anturin liitoksen hapettuminen ja väärä tieto ulkolämpötilasta. Pumppu oli käynnistynyt useita kertoja turhaan. Kohteessa jopa saunomistottumukset ovat vaihtuneet iltapäivän aurinkoiseen aikaan.

Sähkön hinnan nousu vaikuttaa suoraan aurinkopaneelien kannattavuuteen. Tällä hetkellä Suomen oma tuotanto ei riitä omavaraisuuteen. Sähkön tuotantoa voi seurata Fingridin sivuilta ja aurinkosähkönmyyntihintaan vaikuttavaa sähkön spot-hintaa Nordpoolin sivuilta. Omakotitalon aurinkojärjestelmän hankintaa ei juurikaan tueta. Arvonlisäverollisen yrityksen tehdyn työn saa verotuksessa vähennyksiin.

Kertasijoitus tuottaa vähäisellä huollolla ilmaista energiaa useita vuosia. Kun huomioidaan jatkuva sähkönhinnan nousu ja inflaatio (2022 maaliskuussa 5,8 % [20].), se on yksi harvoista varman tuoton kohteista kiinteistöissä, jos sijoituksen tuotolla ei ole kiire ja sähkön hinta jatkaa nousuaan.

6 Pohdintaa

Etelä-Suomessa ja Pohjois-Saksassa vuotuinen kokonaissäteily määrä on lähes sama. Saksa on Euroopan johtava maa aurinkopaneelien asennuksessa, niin miksipä Suomessa ei voitaisi hyödyntää aurinkoenergiaa varsinkin kesän pitkinä valoisa päiviä.

Päätavoitteena työssä oli tutustua verkkoonkytkettyyn aurinkopaneelijärjestelmään ja sen hankintaan omakotitalon harjakatolle. Mitä laitteiston kokoonpanoon kuuluu ja miten se rakennetaan? Mitkä asiat vaikuttavat säteilyn parhaaseen tuotantoon? Mitä lupa-asioita täytyy käydä läpi ja kenelle järjestelmästä on ilmoitettava?

Tutustuin alan kirjallisuuteen sekä julkaisuihin. Selvitin järjestelmän perustoiminnan ja järjestelmään kuuluvan laitteiston ja niiden ominaisuudet. Tutustuin järjestelmien hankintaan ja pääsin mukaan toimittajan kautta aurinkopaneelien yhteistilaukseen. Toimittajalla oli yhteistilaaajille suljettu sosiaalisen median alusta, jossa oli paljon tietoa ja kokemuksia järjestelmän hankinnasta.

Tarkoituksena oli hankkia aurinkopaneelijärjestelmä maalämpöpumppu lämmitteiseen omakotitaloon. Lähtökohdaksi oli korvata ostosähköä aurinkosähköpaneelijärjestelmällä ja tehdä sijoitus tulevaisuuteen. Samalla pyrkiä mahdollisimman puhtaaseen energian tuottamiseen. Aihe kiinnosti, koska pääsin toteuttamaan aurinkosähköjärjestelmää omakotitaloon, eikä minulla ollut aikaisempaa tietämystä aiheesta. Työn rinnalla valmistui omakotitaloon 10 kW:n aurinkopaneelijärjestelmä, jossa on 32 paneelia. Paneelit sijoitettiin kahdelle lappeelle luode ja kaakko suuntiin. Sen vuosituotto oli yli luvattun, n. 7500 kWh vuodessa. Tuotannonohjauksen kautta sähkönkäyttöä on voitu seurata ja hyödyntää.

Työn aikana opin aurinkopaneelijärjestelmän rakenteen ja toiminnan sekä huomasin kuinka nopeaa kehitys on alalla ja tuotteissa. Törmäsin useisiin vanhentuneisiin tietoihin, mutta myös aivan uusiin standardeihin ja laki muutoksiin sekä sähköverkon uudistukseen. Opin kattotyöskentelyyn liittyvien turvallisuusohjeiden tarpeellisuuden. Opin myös paljon paneelien käsittelystä ja sähköturvallisuudesta. Tutustuin rakennuslakiin ja kaupungin rakennusjärjestykseen.

Työtä piti rajata useaan kertaan, ettei aihe olisi ollut liian laaja. Työ koskee verkkoon liitettävän 3-vaihe järjestelmää, jossa ei ole akkuja. Kantavuus- ja kannattavuuslaskelmat rajasin pois, sillä niissä on paljon kohdekohtaisia yksityiskohtia.

Jatkossa akkujen käyttöönotto ja määrittäminen omakotitaloihin olisi seuraava askel. Tällä hetkellä niiden saanti on ollut vaikeaa, sillä toimittajakaan eivät ole voineet kyselyihin vastata.

Lopputuloksena työ oli haastava, mutta mielenkiintoinen. Suomessa energian tuotannon alalla tapahtuu nyt niin paljon muutoksia, ettei niiden vaikutuksia vielä voida kuin arvailla. Tällä hetkellä omakotitalouksilla on vähän mahdollisuuksia vaikuttaa energian hinnannousuun, mutta ainakin tällä hetkellä aurinkosähköjärjestelmä on yksi konkreettinen esimerkki vaikuttaa itse käytetyn sähkön määrään ja sitä kautta sähkölaskun suuruuteen.

Lähteet

1. Lehto Ina, Orrberg Matti, Ylinen Marko, Andersén Markus. (2021) Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähkötieto ry.
2. Tahkokorpi Markku, Erat, Bruno, Hänninen Pekka, Nyman Christer, Rasinkoski Asko ja Wiljander Mats. (2016) Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus
3. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät, RT 103076 <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/24829#page=1>, Saatavilla 23.5.2022.
4. Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL 132/1999) <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L18P126>, Saatavilla: 21052022.
5. Aurinkovirta.fi, Purotokka Oy, www-sivut, <https://www.aurinkovirta.fi/>, Saatavilla 18.1.2022.
6. Aurinkodemo Esko Ala-Myllymäki, https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf, Saatavilla 19.1.2022.
7. Motiva Oy, www-sivut. <https://www.motiva.fi/>, Saatavilla 19.1.2022.
8. Arktisen aurinkosähkön hyödyntämisen opas, Mikko Rintala ja Jukka Joutsenvaara. https://energiayrittajyys.fi/sites/energiatehokkaasti/files/b_10_2016_arktisen_aurinkosahkon_hyodyntamisen_opas.pdf, Saatavilla 25.2.2022.
9. Aurinkopaneelien hankintaopas. Kaikki, mitä sinun tulee tietää ennen aurinkopaneelien hankkimista. https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/aurinkopaneeleiden_hankintaopas.pdf, Saatavilla: 26.3.2022.
10. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, Viiden painos, Eurokoodi 5, <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/>, Saatavilla 6.2.2022.
11. Suomen Rakennusinsinööri Liitto RIL ry. 2017. RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.

12. Ympäristöministeriö, www-sivut, Faktaa Rakennusta ympäristöstä, maaliskuu 2018, [YM_lumikuormaa-esite_Web_2018.pdf](#), Saatavilla 6.4.2022.
 13. Aurinkopaneelien kantavuustestaus tarkentuu https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/ohjeet/Aurinkopaneelien%20lumikuormavaatimukset%20tiukentuu.pdf, 25.5.2022.
 14. Ara Asumisen rahoitus. ja kehittämiskeskus. Energia-avustus henkilöasiakkaille. https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Henkiloasiakkaat, Saatavilla 4.4.2022.
 15. Virtuaaliakusta ei ole kultakaivokseksi. <https://pointti.fi/teema/virtuaaliakusta-ei-ole-kultakaivokseksi/> Saatavilla 13.4.2022.
 16. EU:n tiedekeskus. PVGIS aurinkosähkö maantieteellinen tietojärjestelmä. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html, Saatavilla 25.5.2022.
 17. Kattoliitto ry, <https://www.kattoliitto.fi/kaikki-julkaisut/>, Saatavilla 26.4.2022.
 18. SALO® -Solar Panels asennus- ja käyttöohje. http://www.arevasolar.fi/sites/default/files/salo-solar_panels_asennus_ja_kayttoohje_pr.pdf, Saatavilla 26.4.2022.
 19. Energiateollisuus ry, www-sivut, Saatavilla 19.1.2022.
 20. Tilastoksekuksen www-stat.fi. Saatavilla 25.5.2022.
 21. Fingrid Oyj, www-nettisivut. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/>, Saatavilla 26.5.2022.
 22. Market data, Nord Pool. www-sivut. <https://www.nordpoolgroup.com/>, Saatavilla 9.4.2022.
- Kuva:
23. Aurinkosähkön käsikirja 2019 painos. <http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html>, Saatavilla 26.4.2022.

Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

PIENTUOTANTOLAITTEISTON JA/TAI SÄHKÖVARASTON LIITTÄMINEN SÄHKÖVERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellisteholtaan enintään 100 kW tuotantolaitteiston ja/tai sähkövaraston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle. Verkkoyhtiöllä on oikeus varmistaa, että tuotantolaitteisto täyttää liittämistä koskevat tekniset edellytykset. Lomake on päivitetty eurooppalaisen EN 50549 -standardin voimaan tulon myötä.

1. YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Henkilötunnus tai Y-tunnus	
Sähköposti	Puhelinnumero	
Ösoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkösiirtolaskulta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	
	Puhelinnumero	

2. TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Biokaasu	<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> Vesi	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliitännälaitteiden (invertteri/vaihtosuuntaaja) valmistaja, määrä ja malli						
Tuotantolaitteiston nimellisteho (suurin mahdollinen laitteistosta sähköverkkoon sirtyvä teho)	kVA/kW	Tuotantolaitteiston enimmäisvikavirta (laitoksen suurin mahdollinen virta)	A			
		Liittymän mitattu oikosulkuvirta (pääkeskus tms.)	A			
Laitteiston kytkentä	<input type="checkbox"/> Kolmivaiheinen	<input type="checkbox"/> Yksivaiheinen, merkitse vaihe	<input type="checkbox"/> L1	<input type="checkbox"/> L2	<input type="checkbox"/> L3	
<input type="checkbox"/> Käyttöpaikkaan on liitetty sähkövarasto (akku)	Sähkövaraston kapasiteetti ja teho			kWh		
						kW

3. TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

3.1. Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehdoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytkentymisajat.

<input type="checkbox"/>	Energiateollisuuden suositus - pientuotannon tekniset vaatimukset (kesäkuu 2021) Perustuu eurooppalaiseen pientuotannon standardiin SFS-EN 50549-1:2019
<input type="checkbox"/>	Saksalainen vaatimusdokumentti VDE-AR-N 4105:2018-11 (suojaustekniset vaatimukset)
	Huom! Suositellaan SFS-EN 50549-1 -standardiin siirtymistä mahdollisimman pian.

Mikäli tuotantolaitteisto ei täytä kumpaakaan esitetystä pientuotannon standardelsta/vaatusdokumenteista, tulee verkkoyhtiöön olla yhteydessä hyvissä ajoin, jotta voidaan selvittää, soveltuuko laitteisto liitettäväksi sähköverkkoon Suomessa.

3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen

<input type="checkbox"/>	Vakuutan, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy (esim. talon ulkoseinällä, ei lukitussa tilassa)
Erotuskytkimen sijainti (esim. talon ulkoseinällä pääoven vieressä)	
<input type="checkbox"/>	Liittymän sähkökeskuksilla on varoituskyttilit takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle
<input type="checkbox"/>	Tuotantolaitteiston liitäntäsuojaus on toteutettu keskitetyllä suojauslaitteella (koskee nimellistehoaltaan vähintään 50 kW tuotantolaitteistoja)

4. TUOTETUN SÄHKÖN VERKKOONSYÖTTÄMINEN

Verkkoyhtiön sähköverkkoon siirtyvän sähkön ostaja (yhtiön nimi)
<input type="checkbox"/> Sähkön siirto käyttöpaikalta sähköverkkoon on teknisesti estetty (sähkön ostajaa ei tarvita)

HUOM! Verkkoyhtiön sähköverkkoon syötettävälle sähkölle on oltava ostaja.

5. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT

(tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Urakoitsija toimittaa asiakkaalle laitteistoa koskevan käyttöönottotarkastuspöytäkirjan. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja on pyydettyäessä toimitettava verkonhaltijalle.

6. LISÄTIEDOT

Lisätietoja

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemiaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. Lisätietoja saat verkkoyhtiöltäsi.

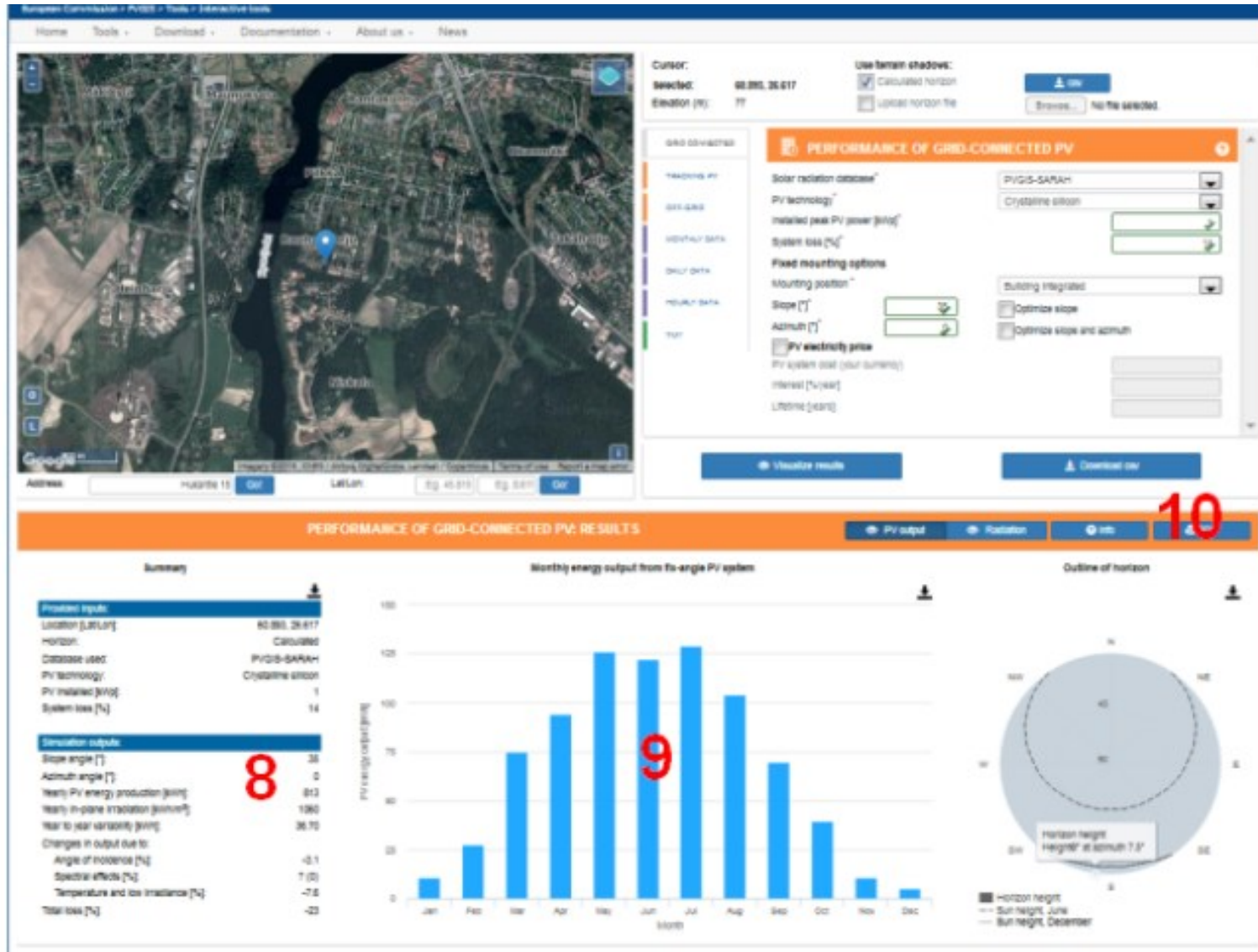
7. ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi
Päivämäärä ja paikka Allekirjoitus ja nimenselvennys

Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho, kuten sähköurakoitsija

The screenshot shows the PVGIS web application interface. At the top, the European Commission logo and the title "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM" are visible. Below the header, there is a navigation menu with options like Home, Tools, Download, Documentation, About us, and News. The main area is divided into a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows a location in Finland with a blue location pin. The configuration panel includes a sidebar with options like GRID CONNECTED, TRACKING PV, OFF-GRID, MONTHLY DATA, DAILY DATA, HOURLY DATA, and TMY. The main panel is titled "PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV" and contains various input fields and dropdown menus for configuring the PV system. Red numbers 1 through 7 are overlaid on the interface to highlight specific elements:

- 1: Address input field (Hukantie 15)
- 2: Solar radiation database dropdown (PVGIS-SARAH)
- 3: Installed peak PV power [kWp] input field
- 4: Mounting position dropdown (Building integrated)
- 5: Slope [°] input field (35)
- 6: Azimuth [°] input field (6)
- 7: Visualize results button



10

8

9

VARO
takajännitettä
aurinkosähkövoimalasta



Voimalan kytkentä pois päältä:

Voimala kytketään irti verkosta



1. Käännä AC-turvakytkin OFF-asentoon



2. Käännä DC-turvakytkin OFF-asentoon

Voimalan kytkentä päälle:



1. Tarkista, että AC-turvakytkin on OFF-asennossa. Käännä DC-turvakytkin ON-asentoon.



2. Käännä AC-kytkin ON-asentoon