



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Santtu Bäckström

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

3.5.2021

Tekijä Otsikko	Santtu Bäckström Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu
Sivumäärä Aika	36 sivua 3.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat	lehtori Tomi Hämäläinen energia-asiantuntija Oskari Tallqvist
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä aurinkosähköjärjestelmän toimintaan ja suunnitteluun vaikuttaviin asioihin. Samalla tavoitteena oli löytää uusia näkökulmia, joiden avulla voidaan mahdollisesti kehittää aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluprosessia. Työssä kerättiin kattavaa tietoa aurinkojärjestelmän toimintaperiaatteesta ja suunnitteluun vaikuttavista asioista.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin aurinkoenergian toimintaperiaate yleisellä tasolla. Työssä keskityttiin aurinkopaneeleiden, kiinnikkeiden, inverttereiden ja kaapeleiden ominaisuuksiin sekä niiden vaikutukseen suunnittelussa. Samalla tarkasteltiin olosuhteiden ja kiinteistön vaikutusta suunnitteluun. Työssä käytiin myös lävitse aurinkojärjestelmäturvallisuudessa huomioitavia asioita. Lisäksi työssä vertailtiin ennen suojalaitetta olevien eri impedanssien vaikutusta kaapelipituuksiin.</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin aurinkosähköjärjestelmiä myyvälle yritykselle. Kerättyä tietoa voidaan tarvittaessa hyödyntää aurinkojärjestelmän suunnittelussa. Tuloksista ilmeni, että paneelien pinta-alan ja painon kasvaessa myös nimellisteho kasvoi. Syöttökaapelin mitoituksen perusteet käsiteltiin työssä sekä kaapeleiden maksimipituuksia laskettiin pienempien oikosulkuvirtojen perusteella. Arvoja voidaan hyödyntää, mikäli verkon impedanssiarvot vastaavat taulukoiden arvoja.</p>	
Avainsanat	aurinkosähköjärjestelmä, aurinkopaneeli, invertteri, aurinkoenergia

Author Title	Santtu Bäckström Design of a Photovoltaic System
Number of Pages Date	36 pages 3 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Production Technologies
Instructors	Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer Oskari Tallqvist, Energy Specialist
<p>The purpose of the bachelor's thesis was to get acquainted with the operation and design of the photovoltaic system. Furthermore, the aim was to find new perspectives on the design of a photovoltaic system, which could be used to develop the design process of photovoltaic systems. The purpose of the thesis was to collect comprehensive information on the operating principle of the photovoltaic system and on the factors affecting the design.</p> <p>The principle of operation of solar energy was studied from a general point of view the focus was on the features of solar panels, mounts, inverters, and cables and their effects on the design. Besides, the effects of conditions and the building on the design were examined, and factors that need to be considered in photovoltaic system safety were investigated. Additionally, the effect of different impedances on cable lengths were compared before the protection device.</p> <p>This bachelor's thesis was done for a company selling photovoltaic systems. The collected data can be exploited in the design process of the photovoltaic system if needed. The results showed that as the surface area and weight of the panels increased, the rated power also increased. The basics of the supply cable dimensioning were discussed and the maximum cable lengths were calculated based on smaller short-circuit currents. The values can be utilized if the impedance values of the network correspond to the values in the tables.</p>	
Keywords	photovoltaic system, solar panel, inverter, solar energy

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Aurinko energianlähteenä	4
2.2	Auringon säteily	4
3	Aurinkosähköjärjestelmät	6
3.1	Aurinkopaneelit	7
3.2	Aurinkopaneelien kiinnitysjärjestelmät	10
3.3	Invertteri	14
3.4	Erotuskytkimet	16
3.5	Kaapelit ja suojaus	17
3.5.1	Tasavirtakaapelit	17
3.5.2	Syöttökaapelin ja suojauksen mitoittaminen	18
4	Suunnittelussa huomioitavia asioita	21
4.1	Aurinkojärjestelmän mitoittaminen	22
4.2	Kattopinta-alan hyödyntäminen	24
4.3	Painolaskenta	25
4.4	Sähkötekniset vaatimukset	26
4.5	Varjostusten huomioiminen	26
4.6	Yli 35 A aurinkojärjestelmät	27
4.7	PVC-kattojen suunnittelu	28
5	Turvallisuus	30
5.1	Paloturvallisuus	31
5.2	Säihköturvallisuus	31
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	33

Lyhenteet

AC	Vaihtovirta. Sähkövirta, jonka suunta muuttuu ajan funktiona.
DC	Tasavirta. Sähkövirta, jonka suunta ei muutu.
kVA	Kilovolttiampeeri. Näennäistehon yksikkö.
KW	Kilowatti. Tehon yksikkö.
mA	Milliampeeri. Sähkövirran yksikkö.
MW	Megawatti. Tehon yksikkö.
TWh	Terawattitunti. Energian yksikkö.
TW	Terawatti. Tehon yksikkö.
W_p	Wattipiikki. Aurinkopaneeleiden nimellistehon yksikkö.

1 Johdanto

Suomessa hallitus on Sanna Marinin hallitusohjelmassa 2019 asettanut tavoitteiksi, että Suomi olisi hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi on uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntäminen energiantuotannossa nostanut kysyntää. Monille talouksille ja yrityksille helpoin keino pienentää omaa hiilijalanjälkeään on aurinkojärjestelmän hankkiminen. (1.) Maailmanlaajuinen aurinkojärjestelmien kysynnän kasvu on vauhdittanut viime aikoina tapahtunutta aurinkojärjestelmien hintojen laskua. Lisäksi aurinkojärjestelmien tekniset ominaisuudet ovat parantuneet huomattavasti ja aurinkoenergiaa pystytäänkin hyödyntämään yhä tehokkaammin nykyään. Nykyaikaiset ja modernit ratkaisut ovatkin yhä houkuttelevampia, kun aurinkoenergian hyötysuhde on suurempi kuin aiemmin ja asiakkaat ovat myös kiinnostuneita pienentämään omaa hiilijalanjälkeään.

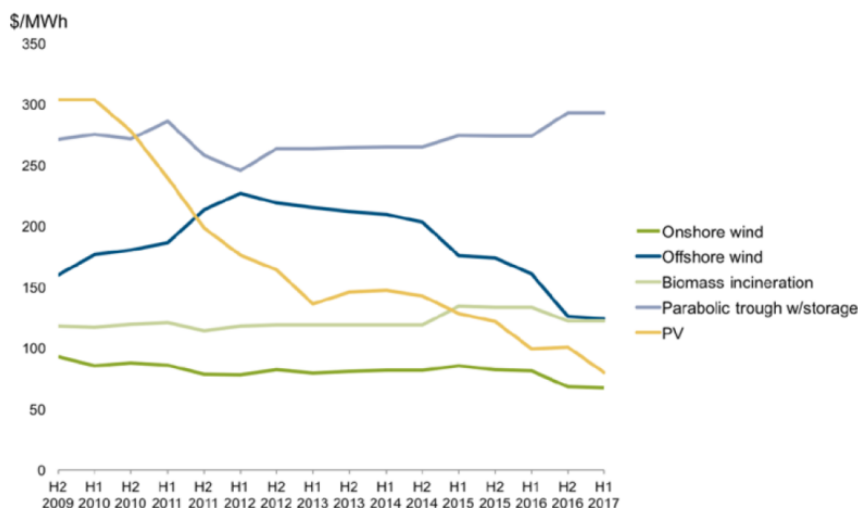
Aurinkoenergia luokitellaan uusiutuviin energiantuotantomuotoihin, joiden tuottamasta energiasta ei synny päästöjä. Aurinkoenergiaa voikin kutsua myös puhtaaksi energiaksi. Aurinkoenergian hyödyntäminen onkin järkevä tapa vähentää yritysten ja talouksien energiakustannuksia pitkällä aikavälillä. Aurinkoenergian tuotantomuodot jaetaan kahteen kategoriaan: aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmiin, joista tämä työ keskittyy aurinkosähköjärjestelmiin.

Opinnäytetyössä käsitellään aurinkoenergiaa, aurinkoenergia syntymistä sekä auringonsäteilyä Suomessa ja maailmalla. Lisäksi työssä käsitellään aurinkojärjestelmän komponentteja, suunnittelua ja turvallisuuteen vaikuttavia asioita. Työn tavoitteena on antaa parempi yleiskuva aurinkojärjestelmän toimintaperiaatteesta ja komponenttien vaikutuksesta järjestelmään sekä suunnitteluun. Lisäksi työssä avataan suunnitteluprosessiin vaikuttavista asioista, joiden avulla pyritään antamaan uusia näkökulmia, jotta järjestelmien suunnittelua ja toteutusta voidaan helpottaa. Tämä insinöörityö on tehty toimeksiantona yritykselle, joka myy aurinkojärjestelmiä.

2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergian suosio on ollut suuressa kasvussa viime vuosina. Kasvun syitä voi olla monia, mutta maailmanlaajuinen kapasiteetin kasvu on laskenut aurinkojärjestelmien hintoja huomattavasti. Hintojen pienentyessä aurinkosähköstä onkin tullut yksi edullisimmista uusista sähköntuotantomuodoista suurimmassa osassa maailmaa. (2.) Kuva 1. kuvaa hintojen suhdetta sähköntuotantoon vuosilta 2009–2017. Kuvan 1 perusteella voidaan huomata, että aurinkosähkön hinta megawattituntia (MWh) kohden on laskenut huomattavasti.

FIGURE 9. LEVELISED COST OF ELECTRICITY, BY RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGY, 2009 TO 2017, \$ PER MWh



Kuva 1. Uusiutuvilla energioilla tuotetun sähkön hinta verrattuna tuotettuun MWh. (3.)

Suomessa sähköä tuotettiin sekä tuotiin yhteensä 86,1 TWh vuonna 2019, josta aurinkoenergian osuus oli noin 0,2%. Energiaviraston tilastotietojen vuonna 2019 sähköverkkoon liitettyjen aurinkovoimaloiden sähköntuotantokapasiteetti lisääntyi 77 MW, mikä tarkoittaa 64 prosentin kasvua edellisestä vuodesta. Yhteensä tuotantokapasiteettiä oli vuoden 2019 loppuun mennessä oli noin 198 MW. Lisäksi arvioiden perusteella sähköverkkoon kytkemättömiä järjestelmien sähkökapasiteetti olisi noin 20 MW. Maailmalla

aurinkosähkökapasiteetti kasvoi vuonna 2018 yli 100 000 MW ja nosti kokonaiskapasiteetin yli 500 000 MW:iin. Kuva 2. kuvastaa aurinkoenergian kasvua Suomessa vuosilta 2015–2019. (4; 5; 6.)



Kuva 2. Verkkoon liitettyjen alle 1 MW:n aurinkovoimaloiden tuotantokapasiteetti vuosilta 2015 – 2019. (5.)

Tilastojen perusteella voidaankin sanoa, että aurinkojärjestelmien kysyntä on suuressa kasvussa. Suomessa vuoden 2021 alussa tulleen lakimuutoksen avulla taloyhtiöt voivat hyödyntää omien aurinkopaneeleidensa tuotantoa paremmin. Aiemmin taloyhtiöt pystyivät vähentämään sähkönkulutusta vain siitä mittarista, mihin aurinkojärjestelmä oli kytketty. Esimerkiksi jos aurinkojärjestelmä oli kytketty kiinteistön mittauksen taakse, niin kulutuksesta pystyttiin vähentämään kiinteistön sähkömittarin perässä olevaa kulutusta. Vaikka auringolla tuotettu sähkö kulkisi talon omia sähköverkkoja pitkin, niin aina siirtyessään verkkoyhtiön mittareiden kautta asuntoihin joutui tästä ylityksestä maksamaan sähkönsiirron sekä sähkönveron. Uudistuksen myötä aurinkosähköä pystytään hyödyntämään koko taloyhtiön sähköverkossa aina jakeluverkon rajaan asti. Palvelua kutsutaan hyvityslaskentapalveluksi. (7.)

Lakiuudistuksen avulla siirtoyhtiöt ovatkin alkaneen porrastetusti hyödyntämään lakiuudistusta. Siirtoyhtiöistä ainakin Helen sähköverkko, Caruna, Järvi-Suomen Energia sekä Oulun Energia Siirto ja Jakelu ovat lähteneet käyttämään palvelua. Hyvityslaskentapalvelun odotetaan tuovan lisää kiinnostusta taloyhtiöiden aurinkojärjestelmiä kohtaan taloudellisessa mielessä, koska asukkaat voivat hyötyä suoranaisesti pienemmillä sähkölaskuilla. (7.)

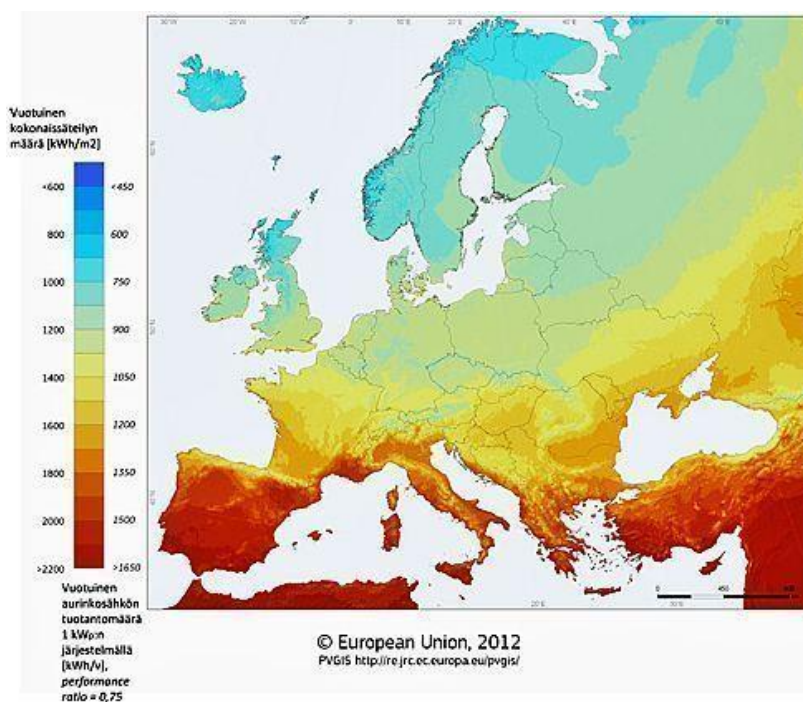
2.1 Aurinko energianlähteenä

Auringon tuottama säteilyenergia syntyy sen ytimessä tapahtuvasta fuusioreaktiosta, jossa kaksi vetyatomia yhdistyy heliumatomiksi. Tästä prosessista vapautuva energian kokonaismäärä on noin $3,8 \times 10^{14}$ TW, josta maapallolle tuleva energian osuus on noin $1,7 \times 10^5$ TW. Verraten koko maapallon päiväkohtaiseen energian kulutukseen tulisi tarvittava energiamäärä täyteen 14,5 sekunnissa. Kuitenkaan suurinta osaa energiasta ei pystytä hyödyntämään ja energiamäärästä suora säteily ilmakehän ulkopuolelle on keskimäärin noin $1\,368 \text{ kW/m}^2$, jota kutsutaan aurinkovakioksi. Maapallon pinnalle tuleva säteily on enimmillään noin 1 kW/m^2 , mikä johtuu siitä, että ilmakehä suodattaa ja heijastaa osan säteilystä pois. Auringonsäteily koostuu kolmesta kategoriasta, jotka ovat suora säteily, hajasäteily ja heijastunut säteily. Suora säteily tarkoittaa auringosta tulevaa suoraa säteilyä maapallon pinnalle. Hajasäteilyssä auringonsäteily jakaantuu useampaan osaan tai vaihtaa suuntaa ilmakehässä olevien ainehiukkasten, kuten epäpuhtauksien tai pilvien vaikutuksesta. Heijastunut säteily tarkoittaa esimerkiksi lumesta ja vedestä tulevaa säteilyä. Suuremmalla kulmalla olevien paneelien tuotanto voi kasvaa jopa hetkellisesti 20 % heijastussäteilyn avulla, mutta vuosituotannosta heijastussäteily on vain muutaman prosentin. (2; 8.)

2.2 Auringon säteily

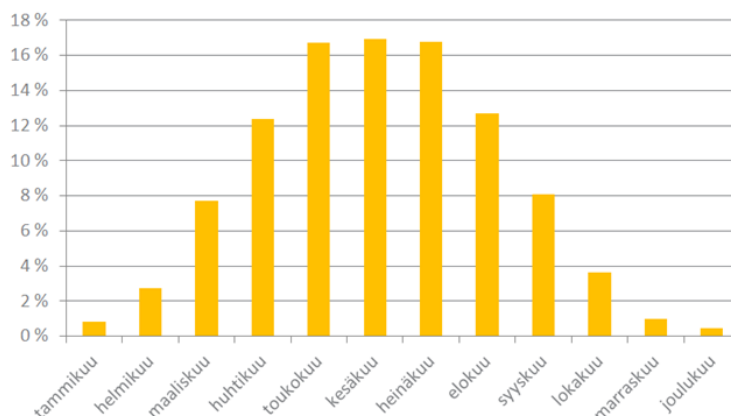
Suomessa suoran säteilyn määrä ei ole kovin suuri, mutta hajasäteily ja heijastussäteily nostavat kokonaissäteilyn määrää merkittävästi. Esimerkiksi Etelä-Suomessa hajasäteilyn määrä on noin puolet vuositason säteilystä. Aurinkopaneeleiden tuotannon kannalta

ei ole merkitystä, onko säteily suoraa vai hajasäteilyä. Suomen olosuhteista tekee paremman myös se, että Suomen kylmempi ilmasto antaa aurinkopaneeleille paremman hyötysuhteen, verraten Etelä-Euroopan maihin, jossa säteilyn osuus on huomattavasti suurempi mutta lämpötila korkeampi. Alla oleva kuvan 3. avulla pystytään tarkastelemaan Euroopan vuotuista kokonaissäteilyn määrää kWh/m². (8; 9.)



Kuva 3. Vuotuinen säteily määrä Euroopassa 2012. (9.)

Suomessa säteily määrään vaikuttaa Suomen maantieteellinen sijainti. Suomi sijaitsee kauempana päiväntasaajasta kuin Etelä-Euroopan maat, joten auringon säteilyn määrä ja säteilyn kulma vaihtelevat vuodenaikojen mukaan hyvin paljon. Suomen suurin osa auringosta saatavasta energiasta keskittyy enemmän kesän ympärillä, kun talvella saatava tuotanto on muutama prosentti vuotuisesta tuotosta. Alla olevasta kuvasta 4. voidaan tarkastella Helsingin alueella saatavaa aurinkoenergian tuotantoa kuukausitasolla. (9.)



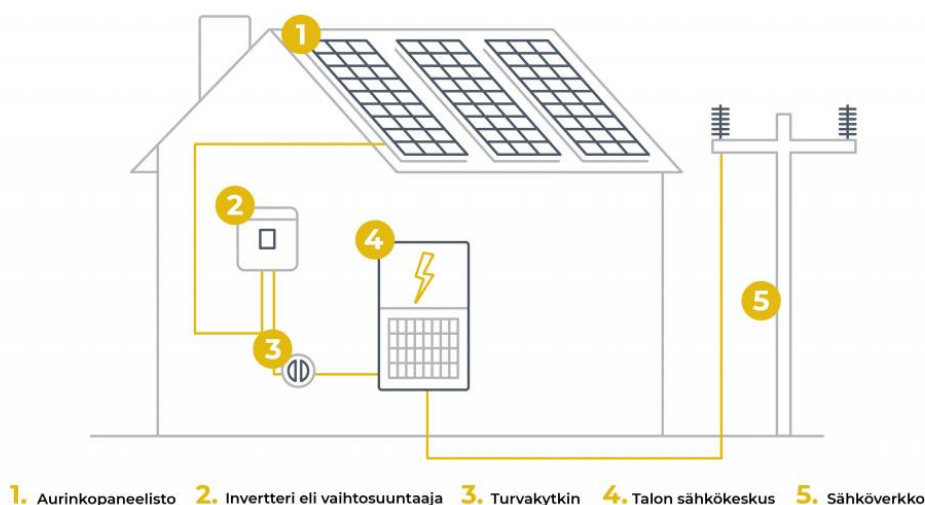
Kuva 4. Aurinkoenergian prosentuaalinen tuotanto eri kuukausilta. (10.)

3 Aurinkosähköjärjestelmät

Kiinteistöihin asennetut aurinkojärjestelmät toimiva yleensä 3-vaiheisella vaihtovirralla. Järjestelmän kuuluvat pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, kiinnitysjärjestelmät ja invertteri. Muita tarvittavia osia ovat mm. DC- ja AC-kaapelit, sekä DC- ja AC-turvakytkin. Tässä luvussa perehdytään aurinkojärjestelmän eri komponentteihin ja niiden huomioitaviin ominaisuuksiin sekä mitoittamiseen.

Kuvassa 5. on hyvin yksinkertaistettu havainnekuva kiinteistöön asennetusta aurinkojärjestelmästä. Ensin aurinkopaneeleilta (1) tuleva tasavirtasähkö menee invertteriin (2), jossa tasasähkö muunnetaan vaihtovirraksi. Invertteriltä vaihtovirta siirtyy turvakytkimeen (3), josta sähkö voidaan tarpeen mukaan katkaista huoltotöiden ajaksi. Invertteriltä turvakytkimen kautta sähkökeskukseen (4), jonka jälkeen aurinkoenergia voidaan hyödyntää talon käyttöön. Jos ylituotantoa syntyy, voidaan sähkö myydä sähköverkkoon (5).

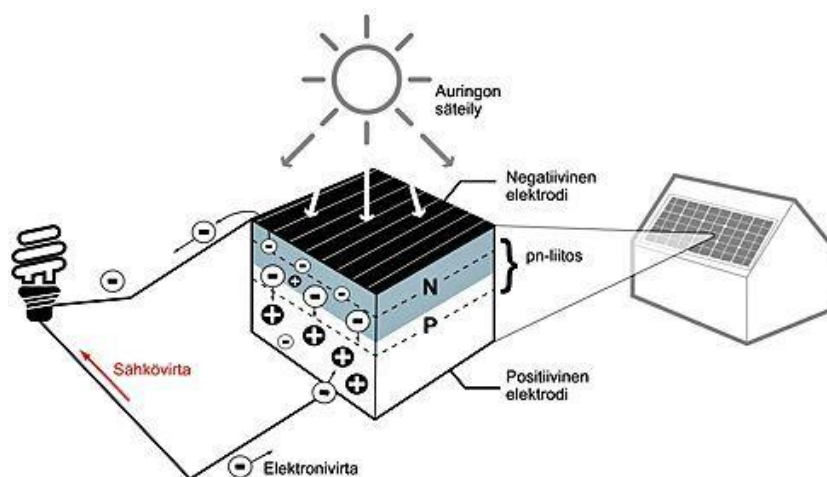
AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ



Kuva 5. Yksinkertainen havainnekuva aurinkojärjestelmän komponenteista. (11.)

3.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelien tehtävänä on muuntaa aurinkosäteilystä tuleva sähköenergia tasavirtaiseksi sähköksi. Toimintaperiaate perustuu valosähköilmiöön, jossa aurinkosäteilyssä koostuvat fotonit osuvat aurinkokennojen puolijohdemateriaalin. Osuessaan aurinkokennoihin fotonit luovuttavat elektroneja, joiden liikkeestä kahden erityyppisen puolijohde materiaalin välillä syntyy negatiivinen ja positiivinen varaus. Käytännössä tämä tarkoittaa, että n-puolen puolijohtimista siirtyy elektroneja p-puolen puolijohteeseen, joka synnyttää n-puolelle positiivisen varauksen ja p-puolelle negatiivisen varauksen. Näiden kahden puolen välille muodostuu sähkökenttä, jossa fotoneilta tulevat elektronit kulkevat p-puolelta n-puolelle, josta voidaan johtaa ulkoisen virtapiirin kautta takaisin p-puolelle. Ulkoisessa virtapiirissä kulkeva sähköenergia muutetaan aurinkojärjestelmän elektronikan avulla hyödynnettäväksi sähköenergiaksi. Kuvassa 6. on havainnollistettu tämä prosessi. (12.)



Kuva 6. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (12.)

Aurinkopaneelien nimellistehon yksikkönä käytetään piikkiwatteja (W_p). Nimellisteho perustuu laboratoriossa tehtyihin mittauksiin, joissa mitataan aurinkopaneelien enimmillään tuottama teho standardiolosuhteissa. Käytetyt arvot standardiolosuhteissa ovat auringon säteilymäärä 1000 W/m^2 ja ympäröivän ilman lämpötila $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Aurinkopaneelit voivat tuottaa yli nimellistehonsa, mikäli säteilyn määrää ylittää 1000 W/m^2 tai ilman lämpötila laskee alle $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Aurinkopaneelien ympäröivän ilman viileneminen nostaa aurinkopaneelien hyötysuhdetta. Toisaalta aurinkopaneelit tuottavat nimellistehoaan vähemmän, mikäli säteilyn määrä on vähäisempi. Säteilymääriin voivat vaikuttaa maantieteellinen sijainti, pilvinen sää, paneelien pinnan puhtaus ja aurinkopaneelien asennus kulma. (12.)

Suurin osa Suomessa käytetyistä aurinkopaneeleista on nimellisteholtaan noin $270\text{--}375 \text{ W}_p$. Tarkastelussa on verrattu Suomessa toimivien sähkötarviketukkujen valikoimia. Aurinkopaneelien keskimääräinen pinta-ala oli noin $1,7 \text{ m}^2$ ja paino noin $18,7 \text{ kg}$. Taulukosta 1. voidaan nähdä, kuinka aurinkopaneelien pinta-ala ja paino näyttivät kasvavan suhteessa aurinkopaneelien nimellistehoon. Mitä suurempi pinta-ala ja paino, sitä suurempi nimellisteho. Kuitenkaan paneelien paino ei kasvanut samassa suhteessa nimellistehon kasvaessa, vaan pysyi pienempänä. Esimerkkivertailussa kuvataan paneelien nimellistehon vaikutusta paneelien kokoon ja painoon. Paneelien pinta-ala vaikuttaa paneelien mitoittamiseen katolla ja paneelin paino vaikuttaa esimerkiksi katon kantavuuslaskentaan. Esimerkissä on käytetty kolmea eri tehoista paneelia, joiden

teholuokka vastasi Suomessa käytettyjä paneelien tehoja. Neljäs paneeli on nimellisteholtaan huomattavasti suurempi, jotta teho muihin arvoihin voidaan havaita selkeämmin. (13, 14.)

Taulukko 1. Vertailussa käytetty JA-SOLARIN 280, 340, 540 paneeleita, sekä 370 LONGI Solar-paneelia. (15; 16; 17; 18.)

Nimellisteho (W_p)	Mitat (mm)	Paino (kg)
280	P:1650 L:991 H:35	18,4
340	P:1689 L:996 H:35	18,7
370	P:1755 L:1038 H:35	19,5
540	P:2276 L:1334 H:35	28,6

Aurinkopaneelit voidaan jakaa kolmeen sukupolveen, josta yleisin aurinkokennojen materiaali on ensimmäiseen sukupolveen kuuluva yksi- tai monikiteinen pii, joiden osuus on noin 90 % kaikista aurinkokennomateriaaleista. Piikennoisten paneelien hyötysuhde on yleensä 15 – 17 %:n luokkaa, mutta parhaimmillaan hyötysuhteeksi on ilmoitettu 21,5 %. (12.)

Toisen sukupolven aurinkopaneelit ovat ohutkalvopaneelit, joiden toiminta perustuu valoherkkiin materiaaleihin, jotka on laitettu hyvin ohuille kerroksille. Pohjamateriaalina voidaan käyttää edullisia materiaaleja kuten ruostumatonta terästä tai lasia. Ohutkalvopaneelit pystyvät hyödyntämään hajasäteilyä paremmin kuin piikennoiset paneelit. Ohutkalvopaneelien hyötysuhde on yleensä 9 – 11 %, mutta parhaimmillaan toimittajat ovat luvanneet 14,4 %. (12.)

Kolmannen sukupolven nanokennoaurinkopaneelien toiminta perustuu eri tekniikkaan kuin edeltäjänsä, jossa elektroneiden liike perustuu kemialliseen reaktioon. Kolmannen sukupolven paneeleita kehitetään vielä ja niiden tekniikat vaihtelevat nanotekniikoista muihin erilaisiin tekniikoihin. Aurinkopaneelien hyötysuhde voidaan laskea seuraavasti: aurinkopaneelin nimellisteho / (aurinkopaneelin pinta-ala x standardiolosuhteiden säteily määrä). Esimerkiksi kun aurinkopaneelin nimellisteho on 340 W_p , paneelin pinta-ala 1,7 m^2 , ja standardiolosuhteiden säteily määrä 1000 W/m^2 , hyötysuhteeksi saadaan laskettua $340 W_p / (1,7 m^2 \times 1000 W/m^2) = 20 \%$. (12.)

3.2 Aurinkopaneelien kiinnitysjärjestelmät

Aurinkojärjestelmälle tarkoitettujen kiinnitysjärjestelmien tehtävänä on taata, että aurinkopaneelit pysyvät katon pinnalla. Kiinnitysjärjestelmät on suunniteltu siten, etteivät ne heikennä katon käyttöikää. Eri kattomateriaaleja varten käytetään erilaisia kiinnikkeitä. Kiinnitysjärjestelmät voivat koostua yhdestä tai useammasta osasta. Harjakatolle käytettävät kiinnitysjärjestelmät voivat koostuvat useasta osasta, kuten kiinnikkeestä ja asennustelineestä. Esimerkiksi Orima Delta on harjakatoille suunniteltu kiinnitysjärjestelmä, josta on saatavilla eri kattomateriaaleihin sopivia kiinnikkeitä. Asennukseen tarvitaan myös Oriman Easy Rail -profiilikisko, johon aurinkopaneelit saadaan kiinnitettyä. Easy Rail -asennuskiskoa pystytään hyödyntämään eri kiinnikkeiden ja telineiden kanssa. Alla oleva taulukko 2. kuvaa eri kiinnitysjärjestelmien ominaisuuksia. (19.)

Taulukko 2. Oriman eri kiinnikejärjestelmien ominaisuuksia. (19; 20; 21.)

Tarvikkeet	Mihin	Kattomateriaali	Paneelien kulma	Paneelien asennus
Delta	kaltevat katot Seinä asennus	huopa, tiili, rivi-, suoraprofiili- ja tiilikuvioisillepeltikatoille	katonmukaisesti	pysty tai vaaka
Smart	Tasakatto, maa-kentille, kone-sauma	tasakatto kone-sauma	20-45 (aste)	Vaaka
Alfa	Tasakatto	Huopa	15	Vaaka

Harjakatolle asennettavat aurinkojärjestelmät tehdään lähtökohtaisesti katon mukaisesti. Mikäli katto on hyvin loiva, voidaan aurinkopaneelien kulmaa optimoida telineiden avulla. Harjakattoasennuksia voidaan tehdä lähes kaiken kokosiin kiinteistöihin, joissa harjakattoasennus on mahdollista. Yleisesti aurinkojärjestelmän koot alkavat 3 kWp, joka vastaa noin 8 paneelia. Kuva 7. on esimerkki harjakattoasennuksesta.



Kuva 7. Harjakattoasennus. (22.)

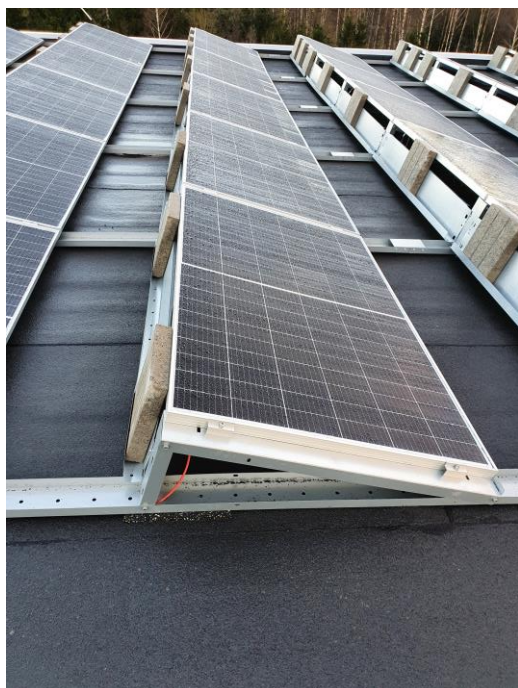
Tasakattoasennuksissa käytetään tasakaton soveltuvia telineitä, joiden kulma voi olla vakio tai säädettävä. Kiinnitys tehdään, joko kelluvana tai kiinteänä asennuksena. Kelluvassa asennuksessa aurinkojärjestelmäkiinnitys perustuu painoihin tai ankkurointiin. Painojen määrä mitoitetaan siten, että aurinkojärjestelmä pysyy paikallaan Suomen olosuhteissa. Ankkuroinnissa järjestelmä kiinnitetään kattorakenteisiin kiinni. Kiinteässä asennuksessa järjestelmä kiinnitetään kattoon erilaisilla ratkaisulla. Suunnittelussa tulee huomioida, että sadevesillä on esteetön kulku. (23.)

Orima Smart -asennuskolmiota voidaan hyödyntää tasakatto-, saumakatto-, maa- ja seinäasennuksiin. Smart-asennuskolmiota pystytään säätämään 20 – 45 asteeseen. Asennuskolmion mitat ovat pituus 1063 mm, korkeus 20 asteessa 400 mm ja 45 asteessa 800 mm. Asennuskolmion yhteydessä voidaan käyttää Easy Rail -profiilikiskoja. Yhden profiilikiskolinjan enimmäispituus on 15 m, mikä johtuu lämpölaajenemisesta. Kuvassa 8. havainnekuva Orima Smart -asennuskolmiosta. (20.)



Kuva 8. Havainnekuva Orima Smart -asennuskolmiosta. (20.)

Orima Alfa on tasakatoille tarkoitettu asennusteline, jossa yhden telineen pituus on 1 600 mm ja kahden telineen yhdistelmäpituus 3 200 mm. Telineisiin sijoitetun aurinkopaneelin kulma on 15 astetta. Mitoituksessa on otettava huomioon aurinkopaneelin leveys + 20 mm. Asennustelineisiin saa tuulensuojalevyn tai kaarellisen tuulensuojalevyn, mihin voidaan asentaa tarvittavat painot, mikäli aurinkojärjestelmä asennetaan kelluvana ratkaisuna. Asennus tapahtuu limittäin, ja yhteen kourulliseen tuulensuojalevyyn pystytään lisäämään maksimissaan 50 kg edestä painoja. Painolaattoja on saatavalla 10 kg painoina. Vaihtoehtoisesti voidaan asentaa asennustelineiden sisälle 5 kg painoja 4 kpl. Alla olevassa kuvassa on esimerkki asennuksesta, joka on toteutettu kelluvana asennuksena. (21.)



Kuva 9. Esimerkkiasennus tasakattoasennuksesta Orima Alfalla -telineillä.

Kun telineitä käytetään painoilla, on huomioitava rajoittavat tekijät. Huomioitavia seikkoja ovat mm. rakennuksen korkeus ja sijainti. Nämä voivat vaikuttaa tuulikuormiin, jolloin järjestelmä pitää tarpeen mukaan ankkuroida. Katon kaltevuus vaikuttaa myös kiinnitykseen. Katon reunuksien ollessa matalat saa katon kaltevuus olla enimmillään 3 astetta, jonka jälkeen järjestelmä on ankkuroitava. Tämä säännös johtuu siitä, että lämpölaajenuksesta voi syntyä, niin sanottua hidasta ryömimisliikettä, joka on arvioitava tapauskohtaisesti. Ryömimisliikkeellä tarkoitetaan hyvin hidasta järjestelmän ryömimistä lappeen kaadon suuntaan lämpölaajenemisen syklisen kuormituksen vuoksi. Ankkuroinnilla tarkoitetaan järjestelmän kiinnitystä katonrakenteisiin kiinni, joko vaijeriankkuroinnilla tai UP-kiinnikkeillä.

Orima Solar UP -kiinnike on tarkoitettu huopakatoille. Kiinnitysjärjestelmää voidaan hyödyntää monien Oriman kiinnitysjärjestelmien kanssa. Kiinnityksessä ei tarvita painoja, eikä tarvitse tehdä reikiä katolle. Kiinnitysjärjestelmän toiminta perustuu kiinnityslevyyn, joka voidaan asentaa bitumikerrosten väliin ennen pintahuovan asennusta. Mikäli katto on tehty ennen aurinkojärjestelmää, asennus pystytään tekemään erillisellä huovalla, joka asennetaan asennuslevyn päälle. Mikäli katon kaltevuus ylittää yli 10 astetta on

suotavaa kiinnittää asennuslevy ruuveilla puurakenteisiin. Solar UP kannaketta voidaan käyttää Smart, Alfa ja Easy Rail kiskojen kanssa. Kiinnityslevyn koko on 400 x 400 mm ja levyn päälle laitettava huopa on kooltaan 700 x 700 mm. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää bitumikermiä, jos valmiita paloja ei käytetä. Alla oleva kuva on esimerkki UP-kiinnityksestä tasakattoasennuksessa. (25.)



Kuva 10. Tasakattoasennus Solar UP -kiinnikkeellä. (24.)

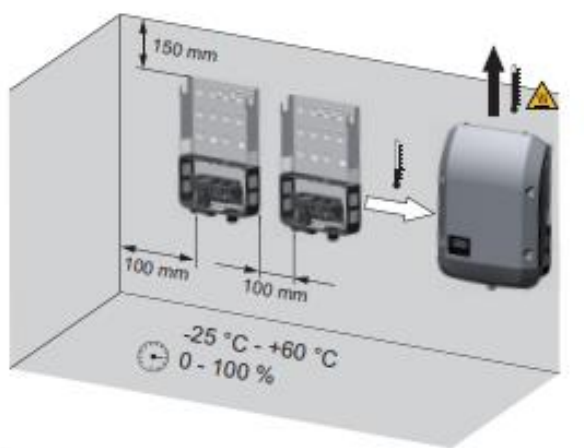
3.3 Invertteri

Invertterin käyttötarkoitus on muuntaa aurinkopaneeleiden tuottava tasasähkö verkkovirtaan sopivaksi vaihtosähköksi. Suurin osa inverttereistä on 3-vaiheisia, mutta pienempiä alle 3,6 kW:n löytyy myös 1-vaiheisina. Tämä johtuu verkkoyhtiöiden vaatimuksesta, missä vaiheiden välinen kuorma ei saa ylittää yli 16 A. Invertterin tehona tämä tarkoittaa maksimissaan 3,6 kW. (23.)

Kun invertterin sijoittamista ryhdytään suunnittelemaan, on huomioitava valmistajan antamat vaatimukset. Lähtökohtaisesti suurin osa inverttereistä on luokiteltu IP65-suojaluokkaan, joten ne voidaan asentaa myös rakennuksen ulkopuolelle. Ulkoseinään sijoittaessa invertterin sijoitusta kannattaa miettiä, ettei suora auringonpaiste pääse paistamaan siihen. Suositeltavaa olisi siis asentaa invertteri rakennuksen pohjoispuolelle tai

varjoiseen kohtaan. Suosituksen tarkoituksena on suojella invertteriä ylikuumentumisen vaaralta. (26.)

Valmistajilla on erilaisia ohjeistuksia inverttereihin liittyen ja nämä on tärkeä tarkistaa ennen asennusta. Esimerkiksi tarkasteltaessa Fronius symo 10 – 20 kW ohjeistusta, on syytä huomioida seuraavia valmistajan antamia ohjeita liittyen invertterin sijoittamiseen: Invertteri on asennettava tukevalle ja palamattomalle alustalle ja ympäristön lämpötilan on pysyttävä -25 – 60 asteessa. Mikäli invertteri asennetaan suljettuun tilaan, on huomioitava, että ylikuumentumisen estämiseksi tilassa olisi koneellinen ilmanvaihto. Invertteri ottaa jäähdytysilmaa kyljestä ja poistaa sen invertterin yläreunasta, jossa lämpötila voi nousta 70 asteeseen. Tämän vuoksi onkin tärkeää pitää kuvan 11. mukaisista turvaväleistä huolta. Asennuspaikkaan ei saa kohdistaa syövyttävien höyryjen, suolojen, happojen tai ammoniakkin aiheuttamia rasitteita. Tämän takia on tärkeää huomioida, kun invertteriä asennetaan esimerkiksi navetan ulkoseinään. Invertteri pitäisi asentaa vähintään kahden metrin päähän rakennuksen aukoista ja tuuletusaukoista. (26.)



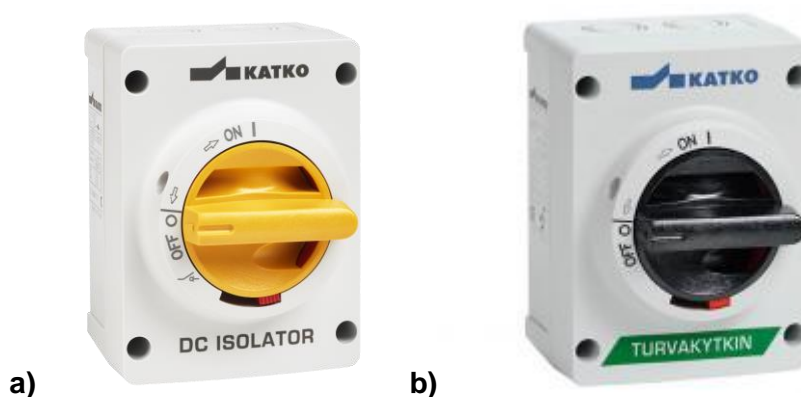
Kuva 11. Invertterin turvavälien huomioiminen (26.)

Invertteriin tulevan AC-kaapelin minimi poikkipinta-ala on 2,5 mm² ja suurin sallittu 16 mm². Asennuksessa voidaan käyttää, joko alumiini- tai kuparikaapeleita. DC-kaapeleiden poikkipinta-ala saa olla 2,5–6 mm². Yksittäiseen DC-kytkinliittimeen kohdistuva ampeerimäärä saa olla enimmillään 33 A. (26.)

Vikavirtasuojaukseen voidaan käyttää invertterin yhteydessä, mutta henkilösuojaukseen tarkoitettu 30 mA:n suoja voi häiritä järjestelmän toimivuutta. Invertterin toimivuuden kannalta olisikin parempi käyttää palosuojaukseen tasoa, joka on 300 mA:n. Froniuksen Symon ohjeistuksessa suositellaan käyttämään taajuusmuuntajille sopivia vikavirtasuojakytkimiä. (23; 26.)

3.4 Erotuskytkimet

Sähköverkkoon kytketyssä aurinkojärjestelmässä sähköä kulkee invertterin AC- ja DC-puolilla. Jotta invertteri saadaan sähköttömäksi, on invertterin AC- ja DC-puolille asennettava omat erotuskytkimet. Näin saadaan taattua turvallinen työskentely esimerkiksi invertterin huoltotöiden aikana. Kuvassa 12. on aurinkojärjestelmän turvakytkimistä. DC-kytkimen tunnistaa keltaisesta kahvasta.



Kuva 12. a) Tasasähköturvakytkeä (27.), b) vaihtovirtaturvakytkeä (28.)

Aurinkopaneeliston asennuspiirustuksissa olevien merkintöjen pitää vastata erotuslaitteiden merkintöjä, joko samoilla tunnuksilla tai numeroilla. Aurinkopaneeleiden DC-puolen turvakytkeä merkintä on tehtävä siten, että se helposti tunnistettavissa ja havaittavassa kohtaa turvakytkeiden lähellä. (29.)

3.5 Kaapelit ja suojaus

Aurinkojärjestelmissä käytetään tasavirta- ja vaihtovirtakaapeleita. Kaapeleiden ominaisuudet eroavat toisistaan huomattavasti, minkä vuoksi niiden laskentatavat eroavat toisistaan. Luvuissa 3.6.1 ja 3.6.2 perehdytään tasa- ja vaihtovirtakaapeleiden mitoittamiseen ja mitoituksessa huomioitaviin asioihin.

3.5.1 Tasavirtakaapelit

Aurinkopaneeleiden ja invertterin välille tehtävässä kaapeloinnissa käytetään tasavirralla sopivia kaapeleita. Yleisesti käytössä on niin sanottuja Solar-kaapeleita, jotka ovat UV-kestoisia ja kaksoiseristettyjä kuparikaapeleita. (30.)

Kaapeleiden ja muiden paneeleiden virtapiiriin kuuluvien komponenttien mitoitusviiran mitoittamiseen käytetään joko invertterin valmistajan ilmoittamaa suurinta virtaa ($I_{DCU-MAX}$) tai ($1,25 \times I_{SC-MOD}$). Valinta tehdään aina suuremman arvon mukaisesti. Mitoitusjännitteen mitoittamiseen käytetään invertterin valmistajan ilmoittamaa suurinta jännitettä ($U_{DCU-max}$), joka tyypillisesti max 1000 V. Toinen vaihtoehto on laskea paneeliston suurin jännite ilman invertteriä. Valinta tehdään näiden kahden välillä aina suuremman arvon mukaisesti. (31.)

Kaapeleiden merkinnässä pitää huomioida muun muassa seuraavia asioita. Aurinkopaneeleiden kaapeleiden on oltava selkeästi merkittyjä, että ne kuuluvat aurinkojärjestelmään. Mikäli kaapelireitti mutkittelee, tulee merkinnät tehdä 5 metrin välein tai kaapelin kulkiessa suoraan, on ne merkittävä 10 metrin välein suojaputkeen tai kaapelikanavaan asennettuihin tasavirtakaapeleihin tehtävä 5 metrin välein merkinnät suojarakenteen ulkopuolelle. Merkinnät on tehtävä värillisillä lapuilla, joista pystyy tulkitsemaan, että ne kuuluvat aurinkojärjestelmään. (32.)

3.5.2 Syöttökaapelin ja suojauksen mitoittaminen

Invertterin ja sähkökeskuksen välisenä syöttökaapelina käytetään yleensä MMJ- tai häiriösuojujakaapeleita, kuten MCMK. Kaapelia mitoittaessa tulee ensisijaisesti huomioida kaapelin poikkipinta-alaan vaikuttava kuormitusvirta ja sen aiheuttama lämpeneminen. Syöttökaapelin kuormittavuuteen vaikuttavat myös asennustapa, kaapelin pituus, ympäristön lämpötila, muiden virtapiirien läheisyys, sekä kaapelin materiaali. Käytettävän kaapelin maksimipituus voidaan määrittää, mikäli tiedetään invertteriä edeltävän verkon oikosulkuvirta tai impedanssi on tunnettu. (33, s. 49.)

Asennustavat on luokiteltu A-, C-, D- ja E-luokkiin. A tarkoittaa uppoasennusta, C pinta-asennusta, D maa-asennusta ja E on vapaasti ilmassa. Esimerkiksi E-luokka tarkoittaa asennusta kaapelihyllylle, jossa kaapeli pystyy vapaasti jäähtymään joka suuntaan ympärillään. Käytännössä suurin osa asennuksista tehdään A-referenssin mukaan johtuen seinien läpivienneistä. Taulukon 3. arvot on tarkoitettu PVC-eristetyille 3-vaihepiirille referenssiasennustavalla A2, SFS 6000:n mukaisesti. Vaikka asennustapa 2A on tiukin esimerkkiasennustapa, tulisi lisäksi huomioida mahdolliset erityisolosuhteet kuten lämpötila (ilma ja maa), muiden kaapeleiden vaikutus ja läpivientien vaikutus asennukseen. (33, s. 50.)

Taulukko 3. Yksinkertaistettu taulukko referenssiasennustavalla A2. (34.)

	Kaapelin poikkipinta-ala mm²	kaapelin kuormitettavuus (A)
Kupari	1,5	13
	2,5	17,5
	6	29
	10	39
	16	52
	25	68
Alumiini	2,5	13,5
	6	23
	10	31
	16	41
	25	53

Invertterin syöttökaapelin suojauksessa voidaan käyttää esimerkiksi johdonsuojakatkaisijoita, gG-sulakkeita tai kahvasulakkeita. Suojauksessa on huomioitava, että suunniteltu kuormituksen virta I_B avulla valitaan suojalaitteen nimellisvirta I_N , joka suojaa kaapelia

ylikuormittumiselta. Kaapelin asennuksessa syntyy kuormitukseen vaikuttavia seikkoja, joiden vuoksi kaapelin sallittu todellinen virta I_Z on oltava suurempi kuin ylikuormasuojauksessa käytetyn laitteen nimellisvirta eli $I_B \leq I_N \leq I_Z$. Jotta ylivirtasuojauksen mitoittaminen pysyisi mahdollisimman selkeänä, lasketaan tiedot pelkästään johdonsuojakatkaisijoilla. B-, C- ja D-tyyppisten johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Tällöin suojaus voidaan mitoittaa kaapelin kuormituksen perusteella. Eli johdonsuojakatkaisija $I_Z = I_N$. Mikäli käytetään gG-sulakkeita, on huomioitava, että sulakkeen ylempi sulamisvirta, jossa sulake toimii varmasti tunnistissa, on yli 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirran, täten gG-sulake $I_Z \neq I_N$. (35, s. 137.)

Esimerkilaskennassa lasketaan invertterin virta käyttämällä $\cos\varphi = 1$, koska invertterin merkkiin ja malliin ei oteta kantaa. Täten laskelmia voidaan käyttää eri invertterimallien välillä. Kolmivaiheisen virran laskemiseen käytetään invertterin maksimitehoa, josta määritetään kaapelissa kulkeva jatkuva virta. Virta kerrotaan kertoimella 1,1, joka tulee SFS 6000-7-712:2017 standardin mukaisesti kohdasta 712.433.104 Aurinkosähköpaneeliston vaihtosähkösyöttökaapelin suojaus. Tällöin tuloksia voidaan käyttää yleisesti vaihtosähkösyöttökaapelin suojauksen mitoittamiseen. Laskentaa on yksinkertaistettu niin, että tässä opinnäytetyössä ei oteta asennustapoihin kantaa ja niiden mahdollisiin korjauskertoihin.

Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään invertterin teho, jonka jälkeen lasketaan I_B kaavalla 1, jotta invertterin maksimitehon virta saadaan laskettua.

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \quad (1)$$

Kolmivaiheisen järjestelmän pääjännite: $U = 400 \text{ V}$, invertterin teho: $P = (W)$, $\cos\varphi = 1$. Koska invertterin merkkiin ja malliin ei oteta kantaa, kerrotaan tulos 1,1-kertoimella.

Vaiheessa kaksi valitaan suojalaitteen nimellisvirta I_N , jonka perusteella valitaan C-tyypin johdonsuoja. Valinta tehdään I_B virran perusteella, johon kerroin on otettu huomioon. Vaiheessa kolme on käytetty D1-taulukkoa 41.4. Taulukosta on katsottu valittujen C-tyypin

johdonsuojien pienin oikosulkuvirta. Vaiheessa neljä valitaan kaapelin poikkipinta-ala. Vaiheessa viisi tarkastellaan D1-2017 taulukkoa 41.6 kaapeleiden impedanssiarvoja, jotka on ilmoitettu arvolla ohmia per kilometri. (35, s. 93.)

Taulukko 4. Syöttökaapelin ja suojauksen laskeminen vaiheet 1 – 4.

Vaihe	Tarvittavat tiedot				
1	Invertterin Teho (kW)	6	10	15	20
	IB (A)	8,66	14,43	21,65	28,87
	Kerroin 1,1	9,53	15,88	23,82	31,75
2	Valitun suojan nimellisvirta (A)	10	16	25	32
3	I_k	100	160	250	320
4	Kaapelin poikkipinta-ala mm ²	1,5	2,5	6	10
5	Z (Ω/km)	14,62	8,77	3,66	2,25
	Z Ω/m	0,01462	0,00877	0,00366	0,002246

Vaiheessa kuusi käytetään D1 taulukon 41.7 arvoja, jotta invertteriä ennen olevan verkon impedanssia Z_V voidaan kuvata. Vaiheessa seitsemän lasketaan pienin oikosulkuvirta kaapelille I_k , jotta suojaus toimisi vaaditussa ajassa. Laskennassa käytetään kaavaa 2. (35, s. 97)

$$I_K = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z_V} \quad (2)$$

I_k on impedanssia vastaava virta

U on 400 V

c on 0,95

Z_V on impedanssi ennen suojalaitetta

Vaiheessa kahdeksan valitaan kaapelin poikkipinta-ala ja kaapelin suojalaite. Seuraavaksi lasketaan kaapelin maksimipituus verraten pienimpään sallittuun oikosulkuvirtaan. Laskenta tehdään kaavalla 3. ja tulokset on ilmoitettu metreinä.

$$l = \frac{c \times U}{\frac{\sqrt{3} \times I_k}{2 \times z}} - Z_V \quad (3)$$

l = johdonpituus (km)

c = kerroin 0,95

U = pääjännite (V)

I_k = oikosulkuvirta, jossa vaaditussa ajassa tapahtuu automaattinen poiskytkentä.

Z_V = impedanssi ennen suojalaitetta

z = suojaavan kaapelin impedanssi (Ω/km)

Taulukossa 5. kuvataan ennen suojalaitetta olevan eri impedanssien vaikutus kaapeli pituuksiin (m) ja impedanssia vastaava laskennallinen oikosulkuvirta. Kun tarkastellaan taulukon 5 arvoja, huomataan että impedanssi ennen suojalaitetta Z_V vaikuttaa huomattavasti kaapeleiden enimmäispituuteen, jotta päästään vaadittuihin automaattisen poiskytkennän vaatimuksiin joko 0,4s tai 5s toiminta-ajassa. Huomioitavaa on, että laskentaesimerkin taulukot 4 ja 5 ovat karkeita esimerkkejä kaapelin laskennasta, jossa ei ole otettu huomioon ilman tai maan lämpötilaa, läpivientejä tai muita korjauskertomia.

Taulukko 5. Suurimmat johtopituudet käytettäessä automaattista poiskytkentää vikasuojaukseen, C-tyypin johdonsuojakatkaisijoilla.

Vaihe										
6	Z_V		0,01	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3
7	Impedanssia vastaava virta		21939,3	2193,9	731,3	438,8	219,4	146,3	109,7	73,1
8	Kaapeli	Sulake (A)								
	1,5 mm ²	C10	74,7	71,6	64,8	57,9	40,8	23,7	6,6	-27,6
	2,5 mm ²	C16	77,6	72,5	61,1	49,7	21,2	-7,34	-35,9	-92,9
	6 mm ²	C25	118,5	106,2	78,9	51,6	-16,7	-85,0	-153,3	-289,9
	10 mm ²	C32	150,4	130,4	85,8	41,3	-70,0	-181,3	-292,6	-515,2

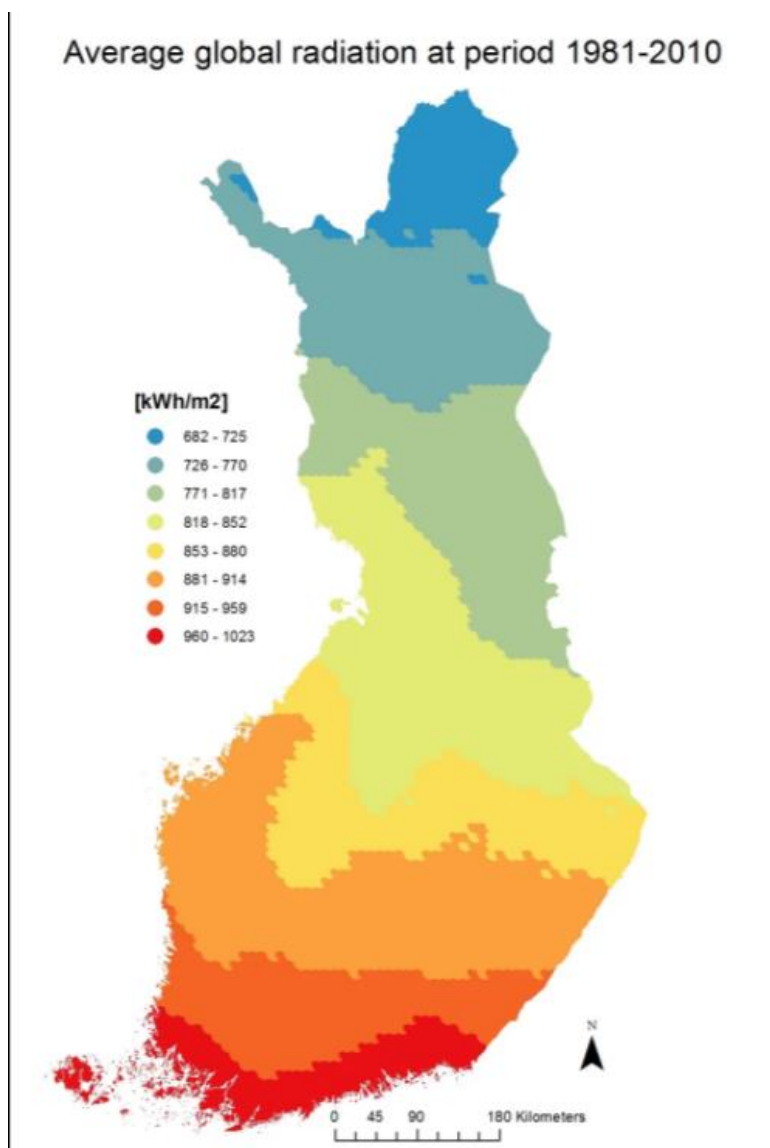
4 Suunnittelussa huomioitavia asioita

Aurinkojärjestelmiä rakennetaan uusiin sekä vanhoihin rakennuksiin. Rakennettava kohde voi olla kesämökeistä suureen teollisuushallin, joten suunniteltavien rakennusten

koot vaihtelevat huomattavasti. Tämä luo erilaisia haasteita suunnittelulle, sillä jokainen kohde pitää huomioida tapauskohtaisesti. Esimerkiksi kattomateriaalit, katon kaltevuus ja katon kunto voivat merkittävästi vaikuttaa suunnitteluun. Aurinkopaneeleiden heijastusten vaikutusta voidaan joutua arvioimaan erikoistilanteissa sekä vesistöjen äärellä ja tuulisilla alueilla on huomioitava suurempi tuulikuorma, mikä vaikuttaa kannakkeiden valintaan. myös Aurinkojärjestelmän kokoluokka vaikuttaa suunnitteluun. Esimerkiksi yli 35 A aurinkojärjestelmille on erilaiset ohjeistukset pelastus- ja huoltohenkilöitä ajatellen kuin pienemmille aurinkojärjestelmille.

4.1 Aurinkojärjestelmän mitoittaminen

Aurinkovoimalan tuotantoon vaikuttavat monet seikat, joita ovat esimerkiksi: ilman suunta, maantieteellinen sijainti, asennustapa, asennuskulma, sekä varjostavat tekijät kuten puut ja ympärillä olevat rakennukset, mikäli niiden tuomat varjostukset vaikuttavat paneelikenttään. Vuosituotantoa kuvataan kWh/kWp-luvulla, joka on keskiarvallisesti Etelä-Suomessa 980 kWh/kWp, Keski-Suomessa 890 kWh/kWp ja Pohjois-Suomessa 790 kWh/kWp. Esimerkiksi 5 kWp:n järjestelmä tuottaisi: $5 \text{ kWp} \times 850 \text{ kWh/kWh} = 4250 \text{ kWh/a}$. Alla olevan Ilmatieteen laitoksen havainnekuvan avulla, voidaan verrata Suomen vuotuisen säteilyn määrää vuosilta 1981 – 2010. Säteilyarvojen lisäksi on huomioitava, että säteilykulma ei ole aina optimaalinen aurinkopaneeleihin nähden. Lisäksi järjestelmässä olevien komponenttien hyötysuhde ei ole 100-prosenttinen ja pieniä häviöitä syntyy esimerkiksi kaapeleissa. (8.)



Kuva 13. Suomen keskimääräinen aurinkosäteilyarvo vuosilta 1981 – 2010. (36.)

Aurinkojärjestelmän koon mitoittamisessa olisi hyvä huomioida, että suurin osa järjestelmän tuottamasta sähköstä jäisi kiinteistön käyttöön ja pienempi osa menisi sähköverkkoon myytäväksi. Tämä johtuu siitä, että omaan käyttöön menneestä sähköstä välttyy vero-, siirto- ja sähköenergiamaksuilta. Aurinkosähkön myynnistä saadaan yleensä markkinahintaan perustuva spot-hinta. On kuitenkin hyvä huomioida, että tähän hintaan ei kuulu sähkönsiirrosta aiheutuvat kustannukset, kuten verot ja sähkönsiirtomaksut. Alla oleva kuva 14. esittää aurinkovoimalan tuotosta saatavia hyötyjä omaan käyttöön ja myynnistä sähköverkkoon. (37.)



Kuva 14. Aurinkopaneelien tuotannosta hyötyvä määrä (37.)

4.2 Kattopinta-alan hyödyntäminen

Uudiskohteissa aurinkopaneelien sijoituskuva voidaan tehdä vesikattokuvan perusteella, kun katon kaltevuus, ilmansuunta ja kattomateriaali on selvillä. Vesikattokuvan avulla pystytään huomioimaan tarvittavat huoltovälit katolla oleviin kaivoihin ja muihin huoltoa tarvitseviin laitteisiin. Samalla pystytään yleensä tarkastamaan katon kaltevuus. Mikäli suunnittelua halutaan tarkentaa ja hyödyntää koko katon potentiaali, tulisi suunnittelussa olla ilmanvaihto- ja viemärisuunnitelmat vesikaton osalta, sekä rakennuksen leikkauskuva. Ilmanvaihto- ja viemärisuunnitelmien avulla pystytään tarkasti määrittämään tuuletusputkien ja muiden laitteiden korkeus, joiden avulla pystytään jättämään tarvittavat etäisyydet varjostuksien välttämiseksi. Leikkauskuvien avulla pystytään määrittämään rakennuksen korkeus, katon kaltevuus ja vesikatolla olevan reunuksen korkeus, joka voi vaikuttaa varjostukseen ja painolaskentaan.

Vanhojen rakennusten katon pinta-ala voidaan määrittä mittamalla joko mitalla, dronen avulla tai ilmakuvien avulla. Samalla pitää myös huomioida varjostavien tekijöiden vaikutus paneelikenttiin. Vanhoissa rakennuksissa tulee myös huomioida katon kunto. Mikäli katon kunto on huono, tulee arvioida, onko järkevää investoida aurinkojärjestelmään ennen kattoremonttia.

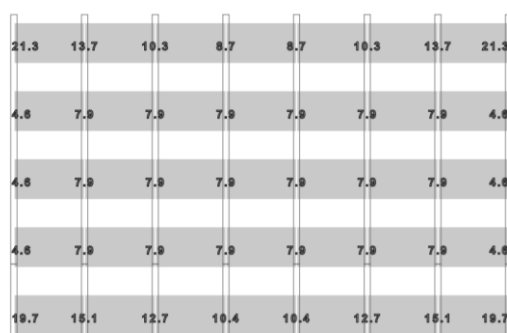
4.3 Painolaskenta

Painolaskenta on tärkeä osa suunniteltaessa tasakattoasennuksia, joissa käytetään kylluvaa kiinnitysjärjestelmää. Keskimääräinen järjestelmän paino neliometriä kohden on noin 25 kiloa. Mitä suurempiin ja yhtenäisempiin kenttiin aurinkopaneelit saadaan asennettua, sitä vähemmän painoja tarvitaan neliometriä kohden. Kuitenkin painolaskelmiin vaikuttavat myös ulkoiset tekijät. Painolaskentaa varten tulee selvittää seuraavat asiat: maastoluokka, rakennuksen korkeus, katon kaltevuus sekä katon reunuksen korkeus. Näiden tietojen avulla pystytään laskemaan painokuorma. Rakennuksen ja reunuksen korkeus, maastoluokka ja paneelien sijoitus vaikuttavat aurinkojärjestelmään kohdistuvaan tuulikuormaan. Maastoluokat on määritetty 0 – 4 välille. Alla olevassa taulukossa 6. on kuvattu maastoluokkien alueita. (38.)

Taulukko 6. Maastoluokkien selitteet. (39.)

0	Avomeri
1	Laaja avoin maa-alue tai järvenselkä
2	Yksittäisiä puita, Pensaita, rakennuksia, matalaa kasvillisuutta, kuten maatalousmaa
3	Esikaupungit-, kylät-, teollisuus-, metsäalueet. Säännöllisiä tuuliesteitä.
4	Kaupunkien keskusta-alueet, joissa rakennusten keskimääräinen korkeus ylittää 15 m.

Mikäli katon kaltevuus ylittää yli 3 astetta voi aurinkojärjestelmässä tapahtua hyvin hidasta ryömimistä katon kaadon suuntaisesti. Tämän vuoksi on tapauskohtaisesti arvioitava kiinteän kiinnityksen tarpeellisuus, jotta turvalliseen ratkaisuun päästään. Kuva 15. on esimerkki paneelikenttään sijoitettavien painojen määrästä.



Kuva 15. Kelluvan asennuksena tehdyn aurinkojärjestelmän painojakauma.

4.4 Sähkötekniset vaatimukset

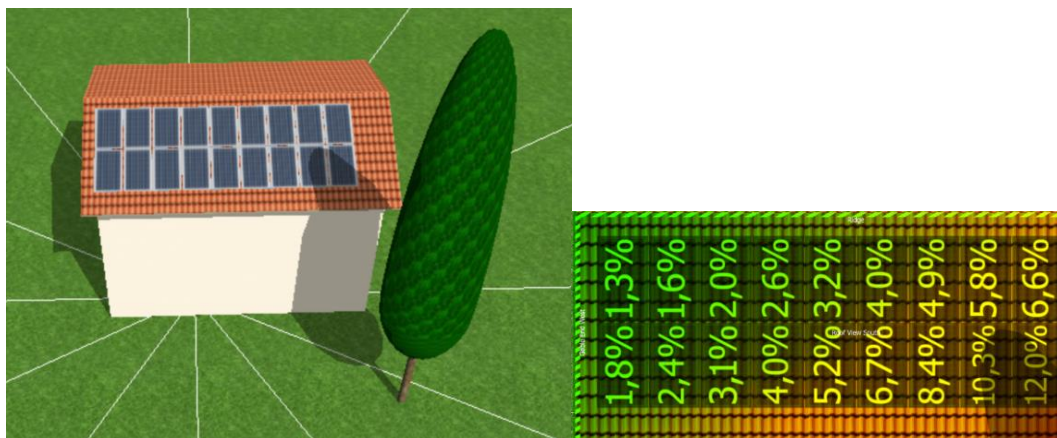
Uudiskohteissa on hyvä tarkastaa sähkösuunnittelijan antamat vaatimukset ja sähkötekniset rajoitteet järjestelmän toteutukselle. Mikäli erillisiä vaatimuksia ei ole, voidaan sähkökuvien avulla selvittää tarvittavat asiat. Nousujohtokaavion ja sähkökeskusten pääkaavioiden avulla saadaan selvitettyä aurinkojärjestelmän maksimikoko ja järjestelmälle sopiva sähkökeskus. Pistesijoitus- ja johdotuskuvan avulla voidaan selvittää sähkökeskuksen sijainti ja läpivientien määrä, sekä laskea kaapeleiden mitat ja syöttökaapelin poikkipinta-ala. Katon koon ollessa suuri, voidaan sähkökuvien avulla sijoittaa aurinkopaneelit mahdollisuuksien mukaan siihen osaan kattoa, joka on lähimpänä sähkökeskusta, jotta turhilta kaapelivedoilta vältyttäisiin.

Vanhoissa rakennuksissa on hyvä aloittaa tarkastelu kiinteistön sähköjärjestelmien tuomista rajoitteista. Nousujohtokaaviosta pystytään tarkastelemaan sähkökeskusten sijainnit ja keskusten syöttökaapeli koot. Keskusten pääkaavioista pystytään tarkastelemaan syöttökaapelin koko ja vapaana olevien sulakelähtöjen määrä sekä sulakekoot. Mikäli mahdollista, on suotavaa tarkastaa edellä mainitut tiedot paikan päällä, koska sähkökuvia ei ole välttämättä päivitetty vapaiden sulakkeiden osalta. Aurinkojärjestelmä pyritään kytkemään aina lähimpään kiinteistön sähkökeskukseen, mikäli mahdollista, jotta ylimääräisiltä kaapelivedoilta, jännitehäviöiltä sekä kustannuksilta vältyttäisiin. Sähkökeskuksen valinnassa kannattaa kuitenkin huomioida, miten kaapelireitti saadaan tehtyä sähkökeskuksen ja aurinkopaneeleiden välille. Useasti helpoiten toteutettava reitti on kuljettaa kaapelit ulkoseinää pitkin katolle. Tässä tapauksessa tulee huomioida, että henkilönostimelle on tilaa ulkoseinän vieressä.

4.5 Varjostusten huomioiminen

Suunnittelussa on huomioitava aina aurinkopaneeleihin kohdistuvat varjostukset. Rakennuksen katolla tai sen ympäristössä on yleensä aina varjostusta aiheuttava tekijä tai tekijöitä. Omakotitalojen lähistöltä löytyy useasti puustoa, joka vaikuttaa suunnitteluun. Puuston vaikutus tulee arvioida tapauskohtaisesti. Esimerkiksi suuret kuuset voivat vai-

kuttaa tuotantoon suuresti, kun taas harvojen mäntyjen vaikutus tuotantoon voi olla vähäinen. Alla olevan kuvan 16. tarkoituksena on havainnoida varjostuksen vaikutusta paneelien vuosituotantoon.



Kuva 16. Varjostuksen havainnollistaminen PV*SOL -ohjelmalla.

Havainnekuvasta 16. voidaan nähdä kuinka puu aiheuttaa varjostusta yli 10 prosenttia lähimpiin paneeleihin vuosituotantoa verraten. Kuvasta voidaan myös todeta, että varjostus vaikuttaa noin puoleen kaikista paneeleista 5 prosentin verran. Varjojen vaikutusta on hyvä arvioida tapauskohtaisesti ja tehdä tarvittavia toimenpiteitä, mikäli varjojen vaikutus on suuri tietyssä osassa paneelikenttää.

4.6 Yli 35 A aurinkojärjestelmät

Helen Oy ja Helsingin pelastuslaitos ovat luoneet yhdessä turvallisuusohjeistuksen, jonka tarkoituksena on antaa tukea ja suosituksia aurinkovoimaloiden suunnitteluun, asennukseen, ylläpitoon ja pelastustoimintaan. Ohjeistus on lähtökohtaisesti tarkoitettu yli 35 A (24,2 kW) voimalaitoksille, mutta ohjeistusta voidaan myös hyödyntää pienemmissä aurinkojärjestelmissä. Tässä luvussa perehdytään kyseiseen ohjeistukseen ja sen antamiin suosituksiin suunnittelussa.

Tuuli- ja lumikuormien lisäksi aurinkojärjestelmä tuo lisää painoa katolle, mikä pitää huomioida suunnitteluvaiheessa. Kelluvalla asennuksella tehty aurinkojärjestelmän tuoma

lisäpaino katolle on keskimäärin 25 kg/m². Kun aurinkojärjestelmästä on saatu tehtyä sijoitussuunnitelma ja painojakaumalaskelma, pystyy rakennussuunnittelija useimmiten laskemaan kattorakenteiden kestävyys ja antamaan kirjallisen selvityksen tästä. (38.)

Aurinkojärjestelmä pyritään aina kytkemään lähimpään kiinteistön sähkökeskukseen, mikä mahdollistaa järjestelmän kytkemisen sen tuoman tehon puitteissa. Järjestelmä pyritään kytkemään mahdollisimman yksinkertaisesti ja mielellään yhteen 3-vaihelähtöön, mikäli mahdollista. Kytkentämerkinnät on tehtävä huolella ja erityistä huomiota on kiinnitettävä, jos aurinkovoimala kytketään useampaan lähtöön. (38.)

Aurinkopaneelien sijoituksessa tulee huomioida turvallinen työskentely, niin huoltotöiden kuin asennuksen aikana. Alla on lueteltu ohjeita, kuinka aurinkopaneelit tulisi asentaa turvallisesti:

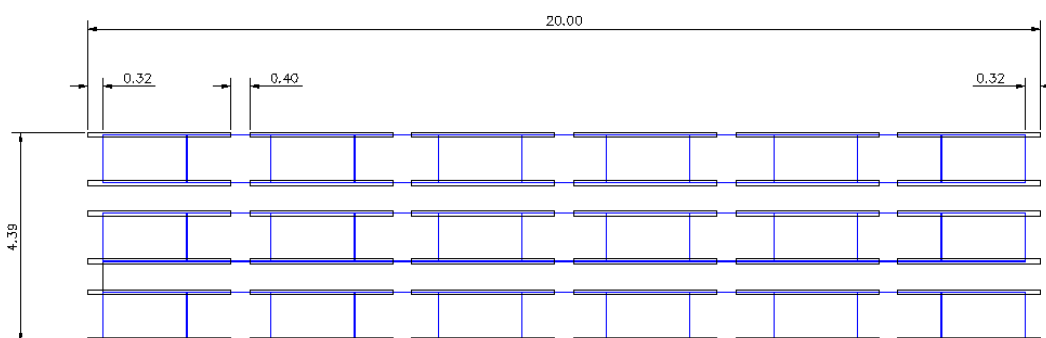
- Aurinkopaneelientä. Paneelientien maksimikoko on 20,0 m x 20,0 m, jonka jälkeen on jätettävä vähintään 1,6 metrin huoltokäytävä.
- Putoamisturva. Katon reunoille jätettävä 2 m tilaa, jonka tarkoituksena on pienentää putoamisriskiä.
- Savunpoistoluukut. Jätettävä vähintään metrin turvaväli tai luukun halkaisijan verran turvaväliä. Savunpoistoluukuille on huomioitava esteetön pääsy huoltokäytävän avulla.
- Kattokaivot. Päälle ei tule asentaa aurinkopaneeleita, ja kaivojen huoltoa varten on jätettävä huoltokäytävä.
- Palomuurit. Aurinkopaneelien ja palomuurin väliin jätettävä turvaväliä vähintään 2 m. (38.)

4.7 PVC-kattojen suunnittelu

PVC-kate on PVC-muovista valmistettu kattomateriaali, jota käytetään yleensä hallien kattomateriaalina. PVC-katteen etuna on muun muassa sen nopea asennus ja se muotoutuu hyvin kaiken muotoisten kattojen asennukseen. Talvella katteen etuna on se, että lumi ja jää eivät takerru materiaaliin kiinni. Paloturvallisuuden kannalta PVC-kattojen rakentaminen on turvallisempaa, kuin perinteisten bitumikattojen, koska PVC-asennukset

tehdään kuumailmahitsauksella ja valmiin katon palokuorma on huomattavasti pienempi kuin perinteisten bitumikattojen. (40.)

Aurinkopaneeleiden asennuksen kannalta PVC-katto vaatii hieman lisätyötä. Esimerkiksi Teollisuuskatto Oy:llä on AlkorSolar-kiinnitysprofiili, jonka avulla saadaan tukeva kiinnitys aurinkopaneeleille. Kiinnitysprofiilin toimintaperiaatteena on, että alumiinikisko asennetaan PVC-muovista tehtyyn taskuun, minkä jälkeen muovitasku hitsataan katon pintaan kiinni. Suunnittelun näkökulmasta pitää huomioida, että kiskot eivät ole pelikentän pituisia vaan kiinnitysprofiilit pitää rakentaa osista. Profiilikiskojen väliin on hyvä jättää jonkin verran tilaa, jotta sadevedet eivät kerääny katolle. Haaste suunnitteluun syntyy siitä, että pitää varmistaa, etteivät aurinkotelineiden kannakkeiden kiinnityskohtat osuvat profiilikiskolle eikä niiden väliin. (41.) Kuva 17. on suunniteltu AutoCad-ohjelmistolla, jossa esimerkkimitoitus on tehty kuvitteellisilla profiilikiskon pituuksilla. Paneelikentän pituus noin 20 m ja yhden profiilikiskon pituus 3 m. Suunnittelussa profiilikiskojen välille on jätetty noin 0,4 m väli, jotta materiaalikustannuksia saataisiin pienennettyä.



Kuva 17. Esimerkki PVC-katon profiilikiskojen mitoittamisesta.

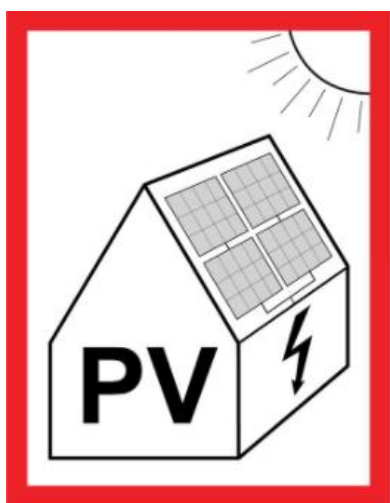
PVC-kattojen suunnittelussa on tärkeää huomioida sadevesien esteetön valuma sekä asennustelineiden osuminen kattoon tehtyjen profiilikiskojen päälle. Kuvan 17. mitoitukseseen vaikuttavia seikkoja ovat mm. paneeleiden- ja asennustelineiden mitat.

5 Turvallisuus

Sähköverkkoon liitetyissä aurinkovoimaloissa on ajateltava turvallisuutta myös jakeluverkon kannalta. Mikäli järjestelmä on kytketty sähköverkkoon, tällöin inverterin on täytettävä EN-standardin vaatimukset. Esimerkiksi invertterissä on oltava automatiikkaa, joka estää sähköverkon vikatilanteissa invertteriä syöttämästä aurinkopaneeleilta tulevaa sähköä sähköverkon suuntaan. Yleensä verkkoyhtiöllä on oltava pääsy aurinkojärjestelmän erotuskohtaan, kuten pää- tai turvakytkimelle. Aurinkojärjestelmää varten on haettava lupa paikalliselta verkkoyhtiöltä. Jos rakennettavan aurinkojärjestelmän koko ylittää 6,9 kVA, on luvan saaminen hyvä varmistaa jo suunnitteluvaiheessa, koska verkkoa voidaan joutua vahvistamaan. Oman verkkoyhtiön sivuilta on hyvä varmistaa, minkä kokoisissa järjestelmissä on suotavaa kysyä lupa jo suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi Elenian ohjeistuksessa lukee 6,9 kVA ja Carunan ohjeistuksessa 10 kW. (42; 43; 44.)

RT-kortiston 103076ohjeistuksessa aurinkopaneeleiden sijoitukseen on ohjeistettu, että harjaan, kulkusiltaa ja laiteiden väliin jätettäisiin noin metrin huolto- sekä kulkutila. Räystääseen jätettävä tarpeeksi tilaa esimerkiksi lumitöitä ajatellen noin 1,5 m. (45.)

Aurinkojärjestelmäkohteissa on huomioitava pelastus- ja huoltohenkilöstön turvallinen työskentely. Jotta työskentely olisi turvallista, kohteeseen on asennettava merkki, joka kertoo kiinteistössä sijaitsevasta aurinkojärjestelmästä. Kuvan 18. tarkoituksena on havainnollistaa kyseistä merkkiä.



Kuva 18. Merkki, joka ilmoittaa rakennuksessa olevasta aurinkojärjestelmästä. (42.)

Yllä esitetty merkki, kuva 18, on asennettava sähkökeskukseen, josta aurinkojärjestelmää syötetään sekä sähköasennuksen liittymiskohtaan ja energian mittauskohtaan.

5.1 Paloturvallisuus

Aurinkojärjestelmässä käytettyjen komponenttien materiaalivalinnat eivät saa lisätä tulipalon syttymisherkkyttä tai palokuorman määrää rakennuksessa. Lisäksi on huolehdittava, ettei aurinkojärjestelmä kasvata palon leviämisen riskiä katteessa tai sen alustassa. Mikäli katolta löytyy palomureja tai palo-osastoja, on ne jätettävä ennalleen. Mikäli palomuurien ylityksiä tehdään, on ylitykset tehtävä palosuojatulla kotelolla.

Tarkemmat ohjeistukset kaapeleiden paloturvallisuuteen liittyen löytyvät SFS 6000-25:2017 standardista. Rakennukseen kiinteästi asennettavien johtimien ja kaapeleiden pitää täyttää EU:n rakennustuoteasennukset. Kaapeleiden läpivientien tiivistäminen on tehtävä rakennuksen osissa siten, että palotekninen luokitus pysyisi samana kuin ilman läpivientä.

5.2 Sähköturvallisuus

Aurinkojärjestelmä on sähköä tuottava voimalaitos, jonka toteutuksessa on noudatettava voimassa olevia sähköasennusstandardeja. Asennus-, korjaus- ja muut työt tulee hoitaa riittävän pätevyyden omaava sähköurakointiliike. Työt tulee tehdä SFS 6002-standardin mukaisesti. Asennukseen liittyvät standardit löytyvät SFS 6000 osan 7-712 erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset kohdasta. Lisäksi aurinkojärjestelmän vaatimukset löytyvät standardin osasta 5-55 kohdasta 551, nimellä ”Pienjännitteiset generaattorilaitteistot”. Käyttöönottotarkastukseen liittyvät standardit löytyvät SFS-EN 62446-1 nimellä ”Aurinkosähköjärjestelmät”.

Aurinkojärjestelmiä varten on luotu myös eri toimijoiden puolesta ohjeistuksia, joihin on kerätty kaikki keskeisimmät standardointijärjestöjen laatimat ohjeistukset. SESKO ry:n

toimesta on laadittu SFS 607-käsikirja, joka käsittelee aurinkojärjestelmän suunnitteluun, asentamiseen, tarkastamiseen sekä käyttövalvontaan liittyviä ohjeistuksia. Sähkötietoyrityksen toimesta on julkaistu ST-käsikirja-40 Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä aurinkosähköjärjestelmän komponenttien toimintaan ja suunnitteluun. Samalla haluttiin havainnoida, miten järjestelmä toimii kokonaisvaltaisesti. Lisäksi työssä käsiteltiin eri komponenttien ominaisuuksia ja miten ne vaikuttavat suunnitteluun. Tuloksista kävi ilmi, että paneeleiden nimellistehon kasvaessa myös paneeleiden pinta-ala ja paino kasvoivat. Kuitenkin tuloksista kävi ilmi, että aurinkopaneeleiden paino kasvoi yllättävän vähän verrattuna nimellistehoon. Työssä käsiteltiin myös syöttökaapelin mitoituksen perusteet ja laskettiin pienempien oikosulkuvirtojen perusteella kaapeleiden maksimipituuksia, joita voidaan hyödyntää, mikäli verkon impedanssiarvot vastaavat taulukoiden arvoja.

Aurinkojärjestelmän suunnittelusta käytiin perusteet aurinkojärjestelmän mitoittamiseen, suunnitteluun ja tarvittavien lähtötietojen keräämiseen. Suunnitteluosiossa kävi ilmi, että rakennuksen korkeus, maatieteellinen sijaintia ja katon kulma vaikuttavat suunnitteluun merkittävästi. Turvallisuusasioissa käytiin lävitse yleisimmät aurinkojärjestelmän vaatimukset sekä tarvittavat merkinnät. Samalla kerrottiin, mistä tarvittavia lisätietoja on saatavilla, mikäli suunnittelua halutaan parantaa.

Tämän opinnäytetyön avulla saatiin kerättyä laaja materiaali aurinkojärjestelmän toiminnasta aina suunnitteluun asti, jonka avulla eri yritykseen kuuluvat henkilöt voivat syventää tietämystään aurinkojärjestelmien toiminnasta. Työtä voisi jatkaa perehtymällä vielä syvemmin aurinkojärjestelmän turvallisuuteen ja järjestelmän mitoittamiseen.

Lähteet

- 1 Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>>. Luettu 12.4.2021.
- 2 Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Verkkoaineisto. LUT University. <https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>. Luettu 2.12.2020.
- 3 Aurinkoenergia oli maailman vuoden 2017 energiainvestointien vahva veturi. Verkkoaineisto. Kestävä Energiatalous / Kustannus Oy Lampila. <<https://www.energiatalous.fi/?p=2003>>. Luettu. 2.12.2020.
- 4 Uusiutuvilla polttoaineilla tuotettiin 2019 ensimmäistä kertaa enemmän kaukolämpöä kuin fossiilisilla polttoaineilla. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/salatuo/2019/salatuo_2019_2020-11-03_tie_001_fi.html>. Luettu 5.12.2020.
- 5 Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti jatkoi kasvuaan vuonna 2019 - vuosikasvua 64 prosenttia. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-jatkoi-kasvuaan-vuonna-2019-vuosikasvua-64-prosenttia>>. Luettu 16.1.2021.
- 6 Strong global solar market outlook. Verkkoaineisto. SolarPower Europe. <https://www.solarpowereurope.org/strong-global-solar-market-outlook/?fbclid=IwAR3LGa7VUJfczJDuzJxeG9igrSQBhqc4-ue4LLhBpS9gxU_wDfc-hMCCw3Q>. Luettu 4.3.2021.
- 7 Aurinkoenergiayhteisöt tulossa taloyhtiöihin – oletko mukana. Verkkoaineisto. Kestävä Energiatalous / Kustannus Oy Lampila. <<https://www.energiatalous.fi/?p=2562>>. Luettu 16.12.2020.
- 8 Tahkokorpi, Markku; Erat, Bruno; Hänninen, Pekka; Nyman, Christer; Rasinkoski, Asko & Wiljander, Mats. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus.
- 9 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa>. Luettu 2.4.2021.
- 10 Auringosta energiaa kesällä ja talvella. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2014/auringosta-energiaa-kesalla-ja-talvella>>. Luettu 2.4.2021.

- 11 Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkosahko-kokoonpano/>>. Luettu 2.4.2021.
- 12 Aurinkosähköteknologiat. Verkkoaineisto. Motiva Oy <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahko-teknologiat>. Luettu 2.2.2021.
- 13 Aurinkopaneelit. Verkkoaineisto. Onninen Oy. <<https://www.onninen.fi/sahko/aurinkopaneelit/c/708>>. Luettu 2.3.2021.
- 14 Aurinko- ja tuulienergia. Verkkoaineisto. SLO Oy. <<https://verkko-kauppa.slo.fi/fi/tuoteluettelo/sahkonjakelu-ja-televerkot/aurinko-ja-tuulienergia/gef-aurinkopaneelit?p=1>>. Luettu 2.3.2021.
- 15 JASOLAR. Verkkoaineisto. Onninen Oy. <<https://www.onninen.fi/jasolar-pv-paneeli-jasolar-poly-280w/p/CIJ722>>. Luettu 2.3.2021.
- 16 JASOLAR. Verkkoaineisto. Onninen Oy <<https://www.onninen.fi/jasolar-pv-paneeli-jasolar-mono-340w/p/CIJ724>>. Luettu 2.3.2021.
- 17 LONGI LR4-60HIH-370M - 370Wp (BFR). Verkkoaineisto. BayWa r.e. <<https://solar-distribution.baywa-re.de/en/solar-modules/longi-lr4-60hih-370m-370wp-bfr.html?searchparam=>>>. Luettu 2.3.2021.
- 18 MBB Half-cell Modul. Verkkoaineisto. JA SOLAR Technology Co. <<https://www.jasolar.com.cn/html/en/2020/21.html>>. Luettu 2.3.2021.
- 19 Harjakatoille Delta. Verkkoaineisto. Orima-Tuotteet Oy. <<https://orima.fi/orima-solar/harjakatoille-delta/>>. Luettu 2.12.2020.
- 20 Asennuskolmio Smart. Verkkoaineisto. Orima-Tuotteet Oy. <<https://orima.fi/orima-solar/asennuskolmio-smart/>>. Luettu 2.12.2020.
- 21 Tasakatoille Alfa. Verkkoaineisto. Orima-Tuotteet Oy. <<https://orima.fi/orima-solar/tasakatoille-alfa/>>. Luettu 2.12.2020.
- 22 Kuva harjakattoasennuksesta. Yrityksen sisäistä materiaalia. Luettu 23.2.2021.
- 23 Aurinkosähkö osana energiamurrosta PV-voimalan suunnittelijan opas suunnittelu – toteutus – ylläpito. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://www.jamk.fi/globalassets/tapahtumakalenteri--events/teknologian-tapahtumat/aurinkosahkojarjestelmat-5.10.2017/aurinkosahko-osana-energiaturrosta-pv-voimalan-suunnittelijan-opas-ii.pdf>>. Luettu 2.3.2021.

- 24 Kuva asennuksesta Up-kiinnikkeellä. Yrityksen sisäinen materiaali. Luettu 25.2.2021.
- 25 UP – Universal platform. Verkkoaineisto. Orima-Tuotteet Oy. <<https://orima.fi/orima-solar/aurinkopaneelikiinnikkeen-kiinnityslevy-huopakattolle/>>. Luettu 2.12.2020.
- 26 Fronius Symo 10 - 20 kW Fronius Eco. Verkkoaineisto. Fronius. <<https://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/Installation%20Instructions/42%2C0426%2C0175%2CFI.pdf>>. Luettu 2.4.2021.
- 27 Turvakytkin väännin Turvakytkimet - PVM 216, DC, 1200V/16A, 2nap – Katko. Verkkoaineisto. Sähkö-Huhta Oy. <https://verkko-kauppa.huhta.fi/3600355?gclid=EAlaIQobChMI-tODjmvDS7wIVjZCyCh0YjgSmEAQYASABEgKXWfD_BwE>. Luettu 6.3.2021.
- 28 KATKO TURVAKYTKIN KUM 325U. Verkkoaineisto. M&M Visions Oy. <https://www.talotarvike.com/katko-turvakytkin-kum-325u-p25049?gclid=EAlaI-QobChMI0OiQ5PDS7wIVRemyCh2a3AJnEAQYAYABEgLn1vD_BwE>. Luettu 6.3.2021.
- 29 SFS 607-10.5. Aurinkosähköjärjestelmät. 2019. Erotuslaitteiden merkinnät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 30 Aurinkosähköjärjestelmien paloriskit ja sammutusturvallisuus. Verkkoaineisto. Soleras. <https://www.motiva.fi/files/17365/Aurinkosahkojarjestelmien_paloris- kit_ja_sammutusturvallisuus.pdf>. Luettu 15.2.2021.
- 31 SFS 607-5.1.5.2. Aurinkosähköjärjestelmät. 2019. Paneeliketjun jännite- ja mitoitusvirta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 SFS 607-7.3.6. Aurinkosähköjärjestelmät. 2019. Kaapeleiden tunnistaminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 33 Tiainen, E. 2010. Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. Espoo: Sähköinfo Oy
- 34 SFS 6000- 5-52:2017. Esimerkki luvun 523 taulukoiden yksinkertaistamisesta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 35 Tiainen Esa, D-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköinfo Oy.

- 36 Suomen sää valoisa puoli: aurinkopaneeli tuottaa parhaiten kylmässä. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos, Yle. <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/09/suomen-saan-valoisa-puoli-aurinkopaneeli-tuottaa-parhaiten-kylmassa>>. Luettu 3.3.2021.
- 37 Ylijäämäsähkön myynti. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaama-sahkon_myynti>. Luettu 20.3.2021.
- 38 Aurinkovoimaloiden turvallisuusohjeistus. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/yritykset/20210113_aurinkovoimaloiden-turvallisuusohje2.pdf>. Luettu 15.3.2021.
- 39 Rakenteiden varmuus ja kuormitus. Verkkoaineisto. Jaakko Huuhtanen. Rakennusneuvos, ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040102.pdf>>. Luettu 12.3.2021
- 40 Paloturvallisuus. Verkkoaineisto. Suomen Teollisuuskatot Oy. <<https://www.teollisuuskatot.fi/pvc-katot/paloturvallisuus/>>. Luettu 2.2.2021.
- 41 ALKORSOLAR-PROFIILI. Verkkoaineisto. Suomen Teollisuuskatot Oy. <<https://www.teollisuuskatot.fi/pvc-katot/alkorsolar-profiili/>>. Luettu 2.2.2021
- 42 Aurinkojärjestelmät. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). <<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>>. Luettu 3.2.2021.
- 43 Aurinkosähkö ja sähkön pientuotanto. Verkkoaineisto. Elenia. <<https://www.elenia.fi/palvelut/kotiin-ja-mokille/aurinkosahkon-ja-pientuotannon-liittaminen>>. Luettu 4.2.2021.
- 44 Omavarainen sähkön pientuotanto. Verkkoaineisto. Caruna. <<https://www.caruna.fi/urakoitsijoille/ohjeet/sahkontuotanto>>. Luettu 4.2.2021.
- 45 RT 103076. Verkkoon kytketyt aurinkojärjestelmät. 2019. Rakennustieto Oy.