

Harri Rannikko

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu rakennukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

16.5.2017

Tekijä Otsikko	Harri Rannikko Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu rakennukseen
Sivumäärä Aika	39 sivua 16.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jarmo Tapio Osastopäällikkö Markku Ollikainen
<p>Insinööriyön aiheena on aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu rakennukseen ja se, mitä vaatimuksia sekä veloitteita suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Tarkoituksena oli kerätä tietoa erinäisistä lähteistä ja selvittää, miten sähkösuunnittelijan tulee varautua aurinkosähköjärjestelmää suunnitellessaan. Työssä käydään läpi aurinkosähköjärjestelmä kokonaisuutta rakennuksessa, järjestelmän tuottoisuutta ja järjestelmää, jossa kaikki tuotettu sähkö menee kiinteistön tai rakennuksen pohjakulutukseen.</p> <p>Aluksi työssä mainitaan syitä, miksi suunnittelun tarve on jatkuvassa kasvussa, jonka jälkeen käsitellään aurinkosähköteoriaa. Tästä työ etenee TATE12 -tehtäväluettelon käyttämiseen suunnitteluprosessissa ja SFS-käsikirja 607:n antamiin ohjeistuksiin aurinkosähköjärjestelmien suunnittelusta. Lopuksi käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän tuottavuutta ja laskentaa, josta edetään insinööriyön lopputuloksiin. Tutkielmassa käytettiin tietoa hankittaessa lähteinä aiheeseen liittyviä standardeja, kirjoja, verkkolähteitä sekä uutisartikkeleita.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin aikaiseksi koottua tarvittavia tietoja ja ohjeistuksia aurinkosähköjärjestelmien suunnittelusta rakennukseen. Opinnäytetyötä voi hyödyntää suunnittelussa sekä suunnitteluohjeistuksen laatimisessa.</p>	
Avainsanat	aurinkosähköjärjestelmä, sähkösuunnittelu, suunnitteluohjeistus

Author(s) Title	Harri Rannikko Designing Photovoltaic Systems for Buildings
Number of Pages Date	39 pages 16 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Jarmo Tapio, Senior Lecturer Markku Ollikainen, Head of Department
<p>The subject of this study is designing a photovoltaic system for buildings and clarifying what is needed or required, in order to desing this kind of a system. The purpose was to gather information from different sources and find out about what electrical engineers need to be aware of in planning photovoltaic systems. This thesis will go through the whole photovoltaic system in a building, take a look at the productivity, and also go through a system where all produced electricity is used for a building's base consumption.</p> <p>First this thesis will handle reasons why planning for photovoltaic systems is increasing and after that briefly explain princibles of photovoltaic systems. From here the thesis progresses to TATE12 as base for designing process and then to the given instructions for designing a photovoltaic system demonstrated in SFS-manual 607. In the final part this thesis will go through the productivity of a photovoltaic system with calculations and proceed to the results of the thesis. This thesis used related standards, books, up-to-date internet sources and news articles, as sources of information.</p> <p>The result of this work is gathered information and instructions for designing photovoltaic systems for buildings. This thesis can be used in planning a photovoltaic system and to make a guide for photovoltaic system planning.</p>	
Keywords	photovoltaic system, electrical wiring design, designing guide

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähköjärjestelmien kysynnän kasvu	2
3	Aurinkopaneelin toiminta	5
4	Aurinkosähköjärjestelmä	8
4.1	Invertteri	10
4.2	Aurinkopaneelit	11
5	TATE12 ja SFS-käsikirja 607	13
5.1	TATE12 eli taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo	14
5.2	SFS-käsikirja 607	17
5.2.1	Suunnitteluohje	17
5.2.2	Standardi SFS 6000-7-712	25
5.2.3	Standardi SFS-EN 62446	26
6	Aurinkosähköjärjestelmän laskentaa	27
7	Rakennuskohteita aurinkosähkölle	35
8	Pohdintaa	36
	Lähteet	38

Lyhenteet

MPPT-säädin	Maximum Power Point Tracking eli maksimitehopisteen seuraaja. Kasvattaa mahdollisimman suuren tuotantopotentiaalin PV -järjestelmälle säätämällä aurinkopaneelien ulostulojännitettä toimimaan maksimitehopisteessä.
PV	Photovoltaic eli valosähköinen.
SFS	Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
SFS-käsikirja 607	Aurinkosähköjärjestelmiä koskeva SESKO ry:n kokoama teos, johon on koottu standardeja ja määräyksiä PV järjestelmien suunnittelusta ja rakennuttamisesta.
TATE12	Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo. TATE12 on tarkoitettu taloteknisten eli LVI-, RAU- ja SÄH -suunnittelutehtävien sisällön ja laajuuden määrittelyyn.
Wp	Aurinkopaneelilla saatu sähköteho huipussaan eli piikkiwatti. Tämä mitataan standardiolosuhteissa, eli säteily määrän ollessa 1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$:n ulkolämpötilassa.

1 Johdanto

Aurinkovoima on päästötöntä energiantuotantoa valjastamalla oman tähtemme säteilyenergiaa, ja juuri päästöttömyytensä vuoksi aurinkovoima on lisääntymässä osana pyrkimystä hidastaa ilmaston lämpenemistä. Pitkään aurinkovoiman rakennuttaminen on ollut kallista, mutta aurinkopaneeleiden ja näiden osien tuotannon kehitys on edistänyt aurinkovoiman rakennuttamista yhä edullisemmaksi. Myös jatkuvasti kiristyvät vaatimukset kasvihuonekaasujen vähentämisessä ovat johtaneet toisenlaisiin energianmuotoihin sijoittamiseen ja vihreän energian tuottamisen tukemiseen valtion toimesta. Tarvittavien komponenttien halvempien hintojen ansiosta useammat yksityiset henkilöt ja suuremmat yritykset ovat kiinnostuneet tästä ekologisemmasta sähköntuotosta, ja siksi suunnittelu- ja konsultointiyritykset pyrkivät pysymään kehityksen ja kysynnän mukana.

Suuresta kysynnästä johtuen aurinkosähköjärjestelmien suunnittelullekin on kasvamassa yhä suurempi tarve ja tässä on myös markkinoille jalansijaa. Valitettavasti aurinkosähköjärjestelmiltä puuttuu vielä yhtenäinen kattava ohjeistus suunnittelulle eikä tilanne ole helppo, sillä nykyään myös vaaditaan kattavia dokumentteja jokaisesta eri taloteknisestä järjestelmästä. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu on pitkälti laitetointajavetoinen eli järjestelmää suunnitellessa on kannattavaa seurata valmistajan ohjeistusta, mutta suunnittelutoimistoilla kannattaa silti olla jonkinlainen sisäinen ohjeistus järjestelmän suunnittelusta.

Insinööriyön tarkoituksena on tutkia aurinkosähköjärjestelmää, ottaa esimerkki nykyisistä laitteista ja vaihtoehtoista, tarkastella nykyisiä vaatimuksia ja standardeja sekä etsiä tietoja, mistä sähkösuunnitteluyritykset hyötyisivät aurinkosähköjärjestelmää suunnitellessa. Tällaisen ohjeistuksen tulisi olla rakenteeltaan jäsennelty, mihin taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo, TATE12, antaa hyvän pohjustuksen, kuinka suunnittelun tulisi edetä. Itse suunnittelun sisältöön SFS-käsikirja 607 aurinkosähköjärjestelmistä sisältää paljon tarvittavia tietoja standardien muodossa. Näitä kahta ohjeistuskirjaa käyttämällä saadaan jo mittavasti tarvittavaa tietoa suunnitteluohjeistuksen rakennetta varten, ja SFS-käsikirja antaa jopa kuvallisia esimerkkejä erinäisistä tilanteista sekä mallipohjia, joita voi hyödyntää sähkösuunnittelussa. Insinööriyö tehdään

tilauksena Hepacon Oy:lle ja tämän työn perusteella tuotetaan myöhemmin suunnitelluuhjeistus tilaajayritykselle käyttäen hyödyksi tähän opinnäytetyöhön kerättyjä tietoja.

Hepacon Oy

Opinnäytetyön tilaajayritys Hepacon Oy on Helsingin Malmilla toimiva talotekniikan konsultointiyritys, joka on kiinnostunut kehittämään palvelujansa jatkuvasti. Yritys palkkaa sekä kokeneita suunnittelijoita että koulusta valmistuvia tuoreita insinöörejä ja diplomi-insinöörejä. Hepacon on yksi Suomen suurimmista alallansa ja yrityksen historia kattaa vuodesta 1978 tähän päivään. Yrityksen perusti alkujaan kuusi ammattitaitoista suunnittelijaa ja yritys on kasvattanut vuosien myötä henkilöstönsä lukumäärän yli kuu-teenkymmeneen. Työntekijöiden kokemuksen ja osaamisen laajuuden avulla yritys palvelee kaikilla talotekniikan osa-alueilla ja avustaa kiinteistöjä koko niiden elinkaarien ajan.

Hepaconilla on useita referenssejä ympäri pääkaupunkiseutua niin teollisuudessa kuin julkisissa rakennuksissa sekä asuintalojen suunnittelussa. Referenssikohteina tunnetuimpia ovat Fazer -konserni, kauppakeskus City-Center (Makkaratalo), Kansallisarkisto, Ateneumin taidemuseo, McDonald's -ravintolaketju sekä useita eri asunto-osakeyhtiöitä. Näille asiakaskunnille on tehty kattavasti eri Hepaconin tarjoamia suunnittelupalveluita ja asiakastyytyväisyyden huomaa siitä, että useat merkittävät asiakkaat, jopa vuodesta 1978 asti, ovat jatkossakin tilanneet Hepaconilta palveluita.

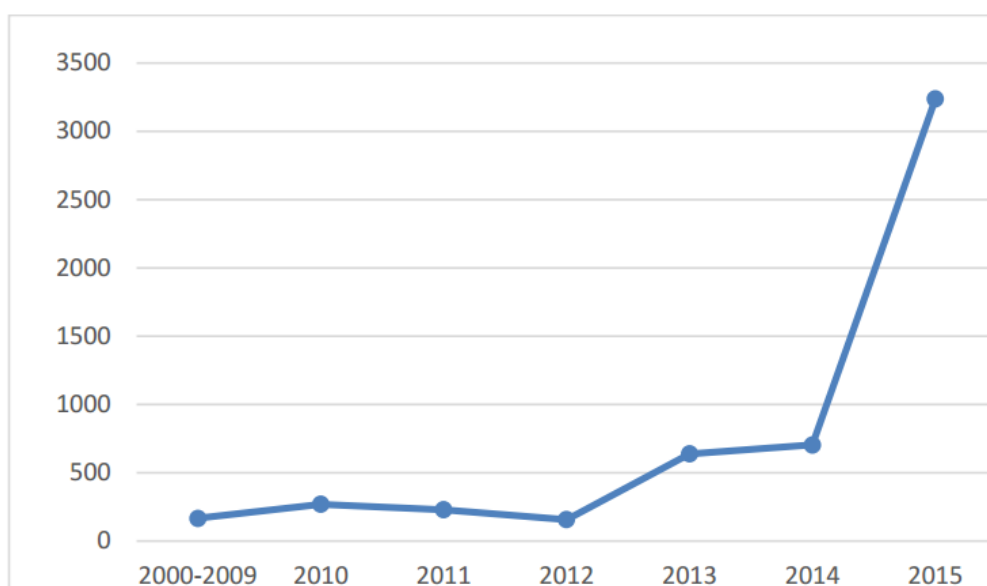
2 Aurinkosähköjärjestelmien kysynnän kasvu

Aurinkosähkön tuottamisessa on useita hyötyjä, minkä takia sitä halutaan yhä enemmän rakentaa. Vuonna 2016 aurinkosähkön rakentaminen arvioitiin kasvavan tuplaksi aikaisempaan vuoteen verrattuna. Syynä tälle ovat aurinkosähkön päästöttömyys ja niin myös säästöt sähkön oston kustannuksissa sekä valtion tuki vihreään energiaan sijoittamiseen. [1.]

Päästöttömyytensä lisäksi aurinkosähköjärjestelmällä tuotettu energia kohottaa myös hankkijan imagoa luonnon ja ilmaston suojelemisen näkökulmasta. Hepacon Oy:n sähköasaston osastopäälliköltä Markku Ollikaiselta saadun tiedon mukaan noin kaksi vuot-

ta sitten tarjouspyynnöissä ei kysytty lainkaan aurinkosähkön rakennuttamisesta tarjouksia, mutta tilanne on muuttunut parissa vuodessa. Nykyään tarjouspyynnöissä noin 5 % vaatii aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu hankkeissa ja 10 % tarjotuissa hankkeissa tulee varautua järjestelmän mahdolliseen rakentamiseen. Tämä toimii merkinä siitä, että kysyntä on nousussa kyseisille järjestelmille. Tähän antaa pohjaa myös kuva 1, joka on Aalto-yliopiston tekemän raportin diagrammi aurinkosähkön kasvusta Suomessa.

Aurinkoenergiatoimiala Suomessa



Isojen aurinkosähköjärjestelmien vuotuiset asennukset Suomessa (N=83, koko yli 15 kWp), yhteisteho (kWp).

Kuva 1. Aalto yliopiston raportin "FinSolar: Aurinko energian markkinat kasvuun Suomessa" diagrammi. [2, s.12.]

Kasvavan kysynnän myötä aurinkosähköstä on tulossa osa monien kiinteistöjen imagoa ja ilmaston muutoksen torjunnan työkalu jonka suunnitteluun monet yritykset haluavat lähteä panostamaan. Tätäkin opinnäytetyötä kirjoittaessa uutisoitiin, että Helsingin Finlandiatalolle ollaan aikeissa rakennuttaa aurinkovoimaa rakennuksen katolle, joka olisi kooltaan 150-170 paneelin luokkaa ja tuottaisi 41 kWp sähköenergiaa, joka vastaisi parhaimmillaan 20-25 % talon kuukausittaisesta kokonaiskulutuksesta. Näinkin vanhan ja museoviraston suojeleman kohteen uudistus tällaisella järjestelmällä on

osoitus, että jos aurinkosähkön rakennuttaminen on mahdollista, niin sitä myös halutaan rakentaa jopa suojeltuihin kohteisiin. [3.]

Lisäksi mikrotuottajien eli piensähkötuottajien määrä on myös nousussa jopa Lapissa asti, vaikka geologinen sijainti ei ole aurinkosähköjärjestelmälle niin suotuista Suomen maalla. [4.]

Aurinkosähköjärjestelmän hyötyjä ja haittoja

Uusiutuvana energianmuotona aurinkosähkö on myös valtion tukemaa energiantuotantoa, joka voi edesauttaa päätöstä hankkia aurinkosähköjärjestelmä. Aalto-yliopiston teettämässä FinSolar -hankkeessa listattiin tuet ja säädökset raportissa, koskien aurinkosähköä: kiinteistöverohelpotus, investointituki, tuotetun sähkön siirto verovapaasti saman tahon hallinnassa olevalle naapurikiinteistölle, alle 100 kVA tai 800000 kWh vuosituotannon vapautus siirtomaksuista ja energiaveroista sekä helpotetut toimenpidelupakäytännöt. Pientalokohteissa esimerkiksi 100 kVA raja ei täyty lähestulkoon ikinä ja jää selkeästi rajan alle, jolloin järjestelmän haltijan ei tarvitse ilmoittautua verovelvolliseksi. Lisäksi 800000 kWh tuotantoraja merkitsisi jopa 900 kWp järjestelmän rakentamista kiinteistöön eikä haltija silti olisi vero- tai huoltovarmuusmaksuvelvollinen omaan käyttöön suunnatun sähkön tuotannosta. [2, s.21.]

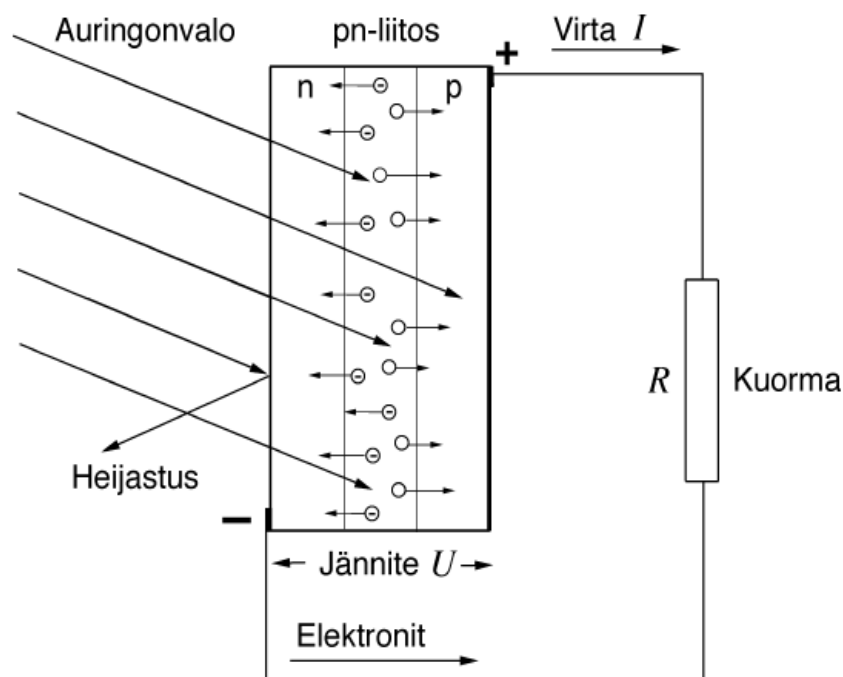
Aurinkosähköjärjestelmän rakentaminen on hyödyllistä kiinteistön arvon nostatuksessa, ja järjestelmä nostaa rakennuksen energialuokitusta parempaan suuntaan. Järjestelmän rakentaminen on päästöttömyytensä takia ekologisesti hyvä teko ja siksi nostaa myös järjestelmän haltijan imagoa ja näkyvyyttä esimerkiksi suurissa vuokra- ja omistusasunto kiinteistöissä.

Haittoina aurinkosähköjärjestelmillä ovat laajat pinta-alan tarpeet, koska paneelit tarvitsevat suuren alueen tuotantoa varten. Tämä tarkoittaisi varsinkin, jos rakennuttaminen tapahtuu kaupungissa, että haettaessa erikseen järjestelmää varten rakentamislupa, voi julkisivulautakunta hylätä pahimmassa tapauksessa lupahakemuksen, jos se vaikuttaisi liian laajasti rakennuksen ulkonäköön. Koska aurinkosähköjärjestelmien kustannukset ovat vielä suuret, voi suurella todennäköisyydellä käydä myös niin, että järjestelmä ei ehdi kattamaan kustannuksiaan ennen järjestelmän huoltokattoa ja paneelien tai invertterin uusimista. Sähkön hinta nykyisellä tasolla ja pitkällä aikavälillä voi

merkitä sitä, että järjestelmän hankinta voi koitua tästä syystä taloudellisesti kalliimmaksi vaihtoehdoksi. Joissain tilanteissa voisi olla mahdollista rakentaa jopa suurempia järjestelmiä rakennuskohteeseen, mutta kulutuksen ja tuotannon piikkien ajoitukset eivät kohtaa. Tämä voisi ratkaisuna johtaa kohti akkujärjestelmän rakentamista, mutta nykyisen akkuteknologian, akkujen hintatasojen ja akkujen huoltokaton eli uusimistarpeen takia ratkaisu voi koitua kalliiksi toteuttaa. Akuston rakentaminen vaatisi myös akuille sijoituspaikan rakennuksessa, joka hyvin useasti tilan puutteen takia asettaa esteen tällaisen vaihtoehdon rakentamiselle. Akustihuoneen rakentamiseen on lisäksi omat erityisvaatimuksensa, ja sopivan huoneen rakentaminen lisäisi aurinkosähköjärjestelmän lopullista hintaa vielä lisää.

3 Aurinkopaneelin toiminta

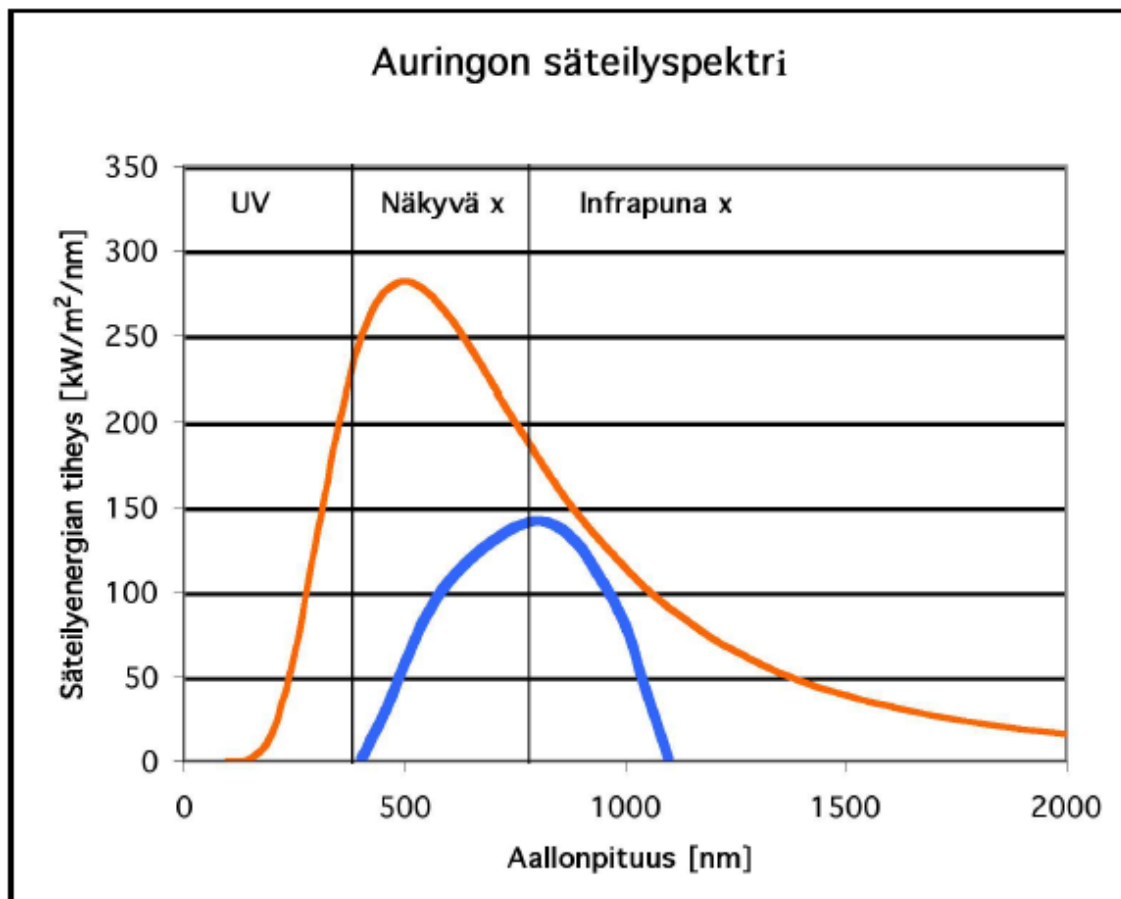
Pinta-ala määrää aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotannon määrää ja aurinkopaneeleita saa erikokoisina riippuen valmistajasta ja tilaajan tarpeesta. Aurinkopaneeli koostuu useasta sarjaan kytketystä aurinkokennosta. Aurinkokenno tuottaa sähkövirran suoraan auringonvalosta toimimalla suurena fotodiodina, kuten kuvasta 2 nähdään. Kennossa yhdistyvät kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Osa fotoneista heijastuu pois paneelista, mutta osalla näistä on tarpeeksi suuri energia, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitosalueelle muodostaen elektroni-aukkopareja. Liitoksen lähellä elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. [5, s.1.]



Kuva 2. Aurinkokennon toimintaperiaate. [5, s.1.]

Sähkökenttä rajapinnassa estää elektroneja kulkemasta muuhun suuntaan ja tästä syystä elektronien on kuljettava aukkojen luokse ulkoisen johtimen kautta puolijohteeseen yhdistyäkseen näiden kanssa. Tähän ulkoiseen piiriin voi kiinnittää kuorman ja jatkuvat syöttö vastakkaismerkkisiä varauksenkuljettajia eri puolilla liitosta toimivat jännitelähteenä tälle. [5, s.1.]

Aurinkokennoissa käytetään yleisimpänä materiaalina piitä (Si), jota käytetään eri muodoissa. Näitä eri aurinkokennojen tyyppejä ovat yksikiteiset, monikiteiset sekä amorfiset piikennot. Yksikiteiset piikennot on sahattu yhtenäisistä piiaihoista tehden niistä kalliita verrattuna monikiteisiin piikennoihin, joissa raaka-aine käytetään tarkemmin hyödyksi. Amorfisesta piistä valmistetut kennot taas eroavat näistä taipuisuudellaan ja hinnaltaan, mutta hyötysuhteen kustannuksella. [5, s.1.] Monikiteisen ja yksikiteisen piikennon erona on kustannushinnan sekä hyödynnettävän pinta-alan lisäksi sähkön tuotto, joka on yksikiteisillä kennoilla parempi kuin monikiteisillä. Tämän voi todeta rakennusmääräyskokoelman D5 taulukosta 10.3. [6, s.68.]



Kuva 3. Auringonsäteilyn spektri merkitty punaisella käyrällä ja piikennon absorptioalue on merkitty sinisellä käyrällä. [5, s.2.]

Auringonsäteilyn spektristä löytyy spektrialue, jonka aurinkopaneelit pystyvät hyödyntämään, kuten kuvassa 3 olevasta käyrästä nähdään sinisenä käyränä. Tämä hyötyalue sijoittuu noin 400-1150 nm rajoihin spektrissä. Kaikki säteily aallonpituudelta >1150 nm lähtien aiheuttaa vain paneelien lämpenemistä. UV-valon alue taas on täysin hyödytön aurinkopaneeleille ja aiheuttaa paneelien kulumista pitkällä aikavälillä. [5, s.2.]

Aurinkokennojen ja -paneelien hyötysuhde lasketaan jakamalla tuotteen ilmoitettu nimellisteho sen pinta-alalla, joka on kerrottuna standardiolosuhteiden säteilymäärään kanssa (1000 W/m^2). [7.] Piikidekennojen teoreettinen hyötysuhde on 31 %, mutta tällä hetkellä parhaimmasta päästä olevat aurinkopaneelien hyötysuhde lähentelee 18 %:a. Mitä tummempi paneeli on, sitä vähemmän se myös heijastaa auringonvaloa. Yhden kennon (noin 90-160 mm x 120-160 mm) antamaksi jännitteeksi saadaan parhaimmil-

laan 0,6 V ja aurinkopaneeliin kennoja kootaan yleensä 36 kpl yhteen paneeliin, jolloin saadaan noin 12V jännite, jolla voidaan esimerkiksi ladata akkuja. [5, s.2-3.]

Yksityiskohtaisempaa tietoa aurinkopaneelin toiminnasta, asennusohjeista, mittauksista ja laskennasta löytyy Sunteknon verkkosivulta ladattavista tiedostoista. [5.]

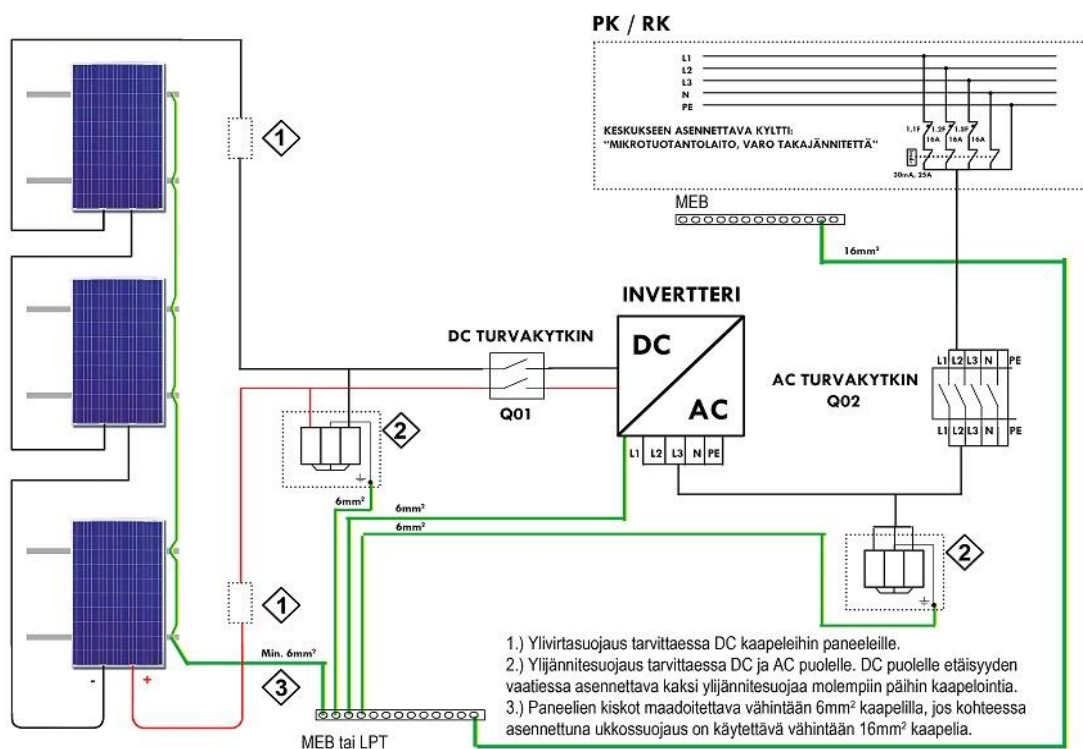
4 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkopaneeleilla saatu sähkö pystytään käyttämään suoraan sellaisenaan vain tassa sähköjärjestelmiin tai akuston lataamiseen. Koska suurin osa kuluttajien laitteista ja laitteistoista toimii 230 V vaihtosähköllä, vaihtosähköksi muuntaminen on tarpeellisin ratkaisu. Kun tuotettu sähkö muunnetaan vaihtosähköksi invertterillä, tulee se myös tahdistaa verkon taajuudelle, jotta sitä pystyy käyttämään sähkölaitteissa rinnan sähköverkon kanssa. Aurinkosähköjärjestelmä tulee myös pystyä erottamaan tavallisesta verkosta turvallisuuden takia ja huoltotoimenpiteitä ajatellen. Lisäksi jos aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä halutaan myydä verkkoon, tulee tätä varten hankkia myös sähkömittari mittaamaan verkkoon syötettyä sähkön määrää. Energiamittari on sähkönjakeluverkon haltijan vastuulla, joten järjestelmän käyttäjän ei tarvitse huolehtia mittarin hankinnasta. [8.]

Aurinkosähköjärjestelmässä on osia seuraavasti: aurinkopaneelit, liitántärsiat, tehomuunnin (invertteri), turvakytkin, kaapelointia, kuorman erottimia sekä suojalaitteita. Järjestelmä alkaa yksittäisestä paneelistä, joka kytketään sarjaan muiden paneelien kanssa luoden paneeliketjun. Kun paneeliketjuja kytketään paneeliketjujen liitántärsiassa, saadaan aikaiseksi osapaneelisto, joita yhdistämällä paneeliston liitántärsiassa saadaan aikaiseksi paneelisto. Paneelisto yhdistetään taas tehomuuntimeen, joka tuottaa paneelistosta saatua sähköä vaihtosähköksi.

Yleisesti laitevalmistajat rakentavat paneeleihinsa myös ohitusdiodin, joka auttaa paneeliketjua pysymään toiminnassa, jos yksi paneeli ketjussa vioittuu. Tämä kannattaa kuitenkin tarkistaa paneelien laitevalmistajalta. Lisäksi jokaista paneeliketjua ja osapaneelistoa varten voidaan myös vaatia ylikuormitussuojia, jotka sijaitsevat paneeliketjun ja osapaneeliston liitántärsioissa erottimien kanssa. Kun aurinkosähköjärjestelmä on kytketty verkkoon, tulee siinä olla myös turvakytkin erottamassa järjestelmää ver-

kosta. Tämän turvakytkimen tulee olla lukittavassa kaapissa, joka sijaitsee paikassa, johon verkkoyhtiön työntekijöillä on vapaa pääsy. Tämä siksi, jos verkossa halutaan päästä tekemään huoltotöitä ja syöttö verkkoon tarvitsee katkaista. [9.] Kuvassa 4 on esitetty malli aurinkosähköjärjestelmäkaaviosta.



Kuva 4. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmäkaaviosta. [9.]

Koska paneelit tuottavat sähköä auringon ollessa taivaalla ja sähkön tuotanto ja kulutus eivät välttämättä osu samaan kohtaan päivästä, niin verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä tuotettu sähkö tulee yleisesti saada varastoitua. Tätä varten tulee suunnitella akusto ja tälle MPPT-säädin (Maximum Power Point Tracking). Säädin valvoo, että akusto latautuu optimoidulla tavalla ja säätää aurinkopaneelit tuottamaan sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella. MPPT-säätimiä pystyy käyttämään myös verkkoon liitetyissä järjestelmissä. Kun akusto on saatu ladattua, voidaan ylimääräinen sähkö myydä verkkoon. [10.]

Mahdollisuus järjestelmän vikaantumiseen kannattaa myös ottaa huomioon, ja siksi mitä suuremmaksi järjestelmä kasvaa, sitä suuremmaksi vikaantumisen mahdollisuus kasvaa. Tästä syystä on järjestelmä suunniteltava niin, että vikaantunut paneeliketju tai

paneelisto saadaan erotettua muusta paneelistosta ongelmitta. Aurinkopaneelien rakenteen huomioiden niissä on yleisesti metalliset kehykset ja rakenteet, ja ne asennetaan yleisesti rakennusten katolle tai isoille tasaisille alueille, eli riski salamaniskulle voi kasvaa. Suora tai epäsuora osuma voi lamauttaa järjestelmän ja aiheuttaa suuriakin materiaalisia kuluja. Salamasuojaus ei ole kuitenkaan vaadittua SFS-käsikirja 607:n mukaan, koska asennettu paneelisto vaikuttaa hyvin vähän suoran salamaniskun todennäköisyyteen. Jos rakennettava järjestelmä ei kuitenkaan muuta rakennuksen fyysisiä tai ulkoisia ominaisuuksia, on suositeltavaa, kartoittaa salamasuojausjärjestelmän tarve IEC 62305-2:n mukaisesti, ja jos havaitaan tarve niin se toteuttaa IEC 62305-3:n vaatimuksien mukaisesti. Lisäksi järjestelmän rakentamisessa kannattaa ottaa huomioon sääolosuhteiden aiheuttamat haasteet, kuten tuulen rasite rakenteisiin, lumiset ja jäiset sääolosuhteet sekä korroosio ja muistuttaa näistä rakennuttajaa. [11.]

4.1 Invertteri

Invertteri eli tehomuunnin muuttaa tasasähköstä verkkojännitettä vastaavaksi siniaaloksi ja syöttää sen talon sähkökeskuksen kautta kulutukseen. Invertteri valitaan vastaamaan aurinkosähköjärjestelmän mitoitetta nimellistehoja, ja jos sähköä haluttaisiin syöttää verkkoon, tulee verkkoyhtiöltä omat vaatimuksensa järjestelmän tuottamalle sähkön laadulle. Riippuen invertterin mallista, valmistajasta ja aurinkopaneelien antamasta jännitteestä hyötysuhde luku vaihtelee yleisesti 90-95 %:n välillä ja parhaimmat invertterin hyötysuhteet ylittävät jopa 95 %. Kun valitaan invertteriä, kannattaa myös huomioida sen asennusympäristö, jotta IP-luokitus vastaa asennusympäristön haasteita. Kuvassa 5 on esimerkki omakotitaloon sopivasta invertterin mallista ja taulukossa 1 saman mallin teknisiä tietoja.



Kuva 5. Invertterilaitemalli, joka sijoitetaan sopivaan paikkaan rakennusta, yleisesti seinälle. Kuvassa Eurosolarin Victor Phoenix, jotka sopivat pienempiä rakennuksia varten. [12.]

Inverttereitä saadaan 1- ja 3-vaiheisina, joista 1-vaiheinen soveltuu pieniin, alle 3 kWp, kohteisiin ja 3-vaiheisia suositellaan, kun mennään yli 3 kWp tuotannossa. [8.] Yksi huomattava ero näiden välillä on, että jos sähköverkossa tapahtuu sähkökatkos, niin 1-vaiheinen invertteri ei pysty syöttämään kuin yhtä vaihetta ja vain sähkölaitteita, jotka ovat tähän kytkettyinä.

Taulukko 1. Eurosolarin Victor Phoenix invertterin teknisten tietojen taulukko. [12.]

VICTRON PHOENIX INVERTTERIT

Malli	800	1200	1600	2000	3000	5000
Tulojännite V	12/24/48	12/24	12/24	12/24	12/24/48	24/48
Jännitealue V	9,5-17V / 19-33V / 38-66V			9,5-17V / 19-33V / 38-66V		
Jatkuva kuormitusteho, W	800	1200	1600	2000	3000	5000
Kuormitusteho s, W	1600	2400	3000	4000	6000	10000
Hyötysuhde, %	91/93/94	92/94	92/94	92/92	93/94/95	94/95
Ulostulojännite, V	230VAC +3%			230VAC +-2%		
Omakulutus, W	14/14/13	8/10	8/10	9/11	15/15/16	25/25
Omakulutus valmiustilassa, W	-	2/3	2/3	3/4	4/5/5	5/6
Mitat s x l x k, mm	72x180x295	375x214x110	375x214x110	520x255x125	362x258x218	444x328x240
Paino, kg	2,7	10	10	12	18	30

4.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleita valmistavia yrityksiä on useita ja näiden valmistamat paneelimallit vaihtelevat kooltaan, tuotannoltaan, hyötysuhteeltaan ja takuuajoiltaan. Perinteisiä paneeleita valmistetaan joko yksikiteisinä tai monikiteisinä, eli niiden kennot ovat eri tavalla valmistettuja piistä, ja lisäksi useat yritykset valmistavat myös amorfisia paneeleita.

Amorfiset paneelit ovat taipuisia paneeleita, jotka saadaan levitettyä halutuille pinnoille kuin maton mikä tekee niistä nopeasti asennettavia sekä muotoutuvia haastavillekin pinnoille. Koska perinteiset paneelit ovat levymäisessä muodossa, tulee paneeleille asentaa telineet, joihin paneelit kiinnitetään halutussa kulmassa. Kuvassa 6 on esimerkki paneelityypeistä.



Kuva 6. Vasemmalla perinteisen mallinen Panasonicin [13.] N245 paneeli yksikiteisillä kennoilla ja oikealla Virtesolarin [14.] Virte -mallinen amorfinen paneeli.

Aurinkopaneelien valmistajat tekevät jokaiselle paneelimalillensa yleisesti myös verkkosivuiltansa ladattavan esitteen, joissa löytyy taulukoituina kaikki tarvittavat tiedot paneelin toiminnasta, kuten taulukossa 2. Näistä saadaan tarvittavat tiedot järjestelmän laskentaa ja mitoitusta varten.

Taulukko 2. Panasonicin HIT N245 paneelista ilmoittamat tekniset tiedot. [21.]

Sähköjärjestelmän tiedot (standardiolosuhteissa)	VBHN245S.J25	VBHN240S.J25
Maksimiteho (Pmax) [W]	245	240
Maks.tehojännite (Vmp) [V]	44,3	43,6
Maks. sähkövirta (Imp) [A]	5,54	5,51
Tyhjäkäyntijännite (Voc) [V]	53,0	52,4
Oikosulkuvirta (Isc) [A]	5,86	5,85
Maks. ylivirta-asteikko [A]	15	
Tehotoleranssi [%]	+10/-0 *	
Järjestelmän maksimijännite [V]	1000	
Aurinkopaneelin tehokkuus [%]	19,4	19,0

Huomautus: Standardoidut testausolosuhteet: Ilmamaassa 1,5; Säteilyvoimakkuus = 1 000 W/m²; kennon lämpötila 25 °C

* Maksimiteho toimitettaessa. Katso takuuehdot takuusiakirjasta.

Lämpötilaominaisuudet

Lämpötila (normaali käyttö) [°C]	44,0	44,0
Pmax-lämpötilakerroin [%/°C]	-0,29	-0,29
Voc-lämpötilakerroin [V/°C]	-0,133	-0,131
Isc-lämpötilakerroin [mA/°C]	1,76	1,76

Normaaleissa käyttöolosuhteissa

Maksimiteho (Pmax) [W]	187,4	183,2
Maks.tehojännite (Vmp) [V]	42,5	41,7
Maks. sähkövirta (Imp) [A]	4,41	4,39
Tyhjäkäyntijännite (Voc) [V]	50,3	49,7
Oikosulkuvirta (Isc) [A]	4,71	4,71

Huomautus: Kennon lämpötila normaalikäytössä: Ilmamaassa 1,5; Säteilyvoimakkuus = 800 W/m²; ilman lämpötila 20 °C; tuulen nopeus 1/m/s

Alhaisella säteilyvoimakkuudella (20 %)

Maksimiteho (Pmax) [W]	47,0	45,9
Maks.tehojännite (Vmp) [V]	43,2	42,2
Maks. sähkövirta (Imp) [A]	1,09	1,09
Tyhjäkäyntijännite (Voc) [V]	49,6	49,0
Oikosulkuvirta (Isc) [A]	1,17	1,17

Huomautus: Alhainen säteilyvoimakkuus: Ilmamaassa 1,5; Säteilyvoimakkuus = 200 W/m²; kennon lämpötila = 25 °C

5 TATE12 ja SFS-käsikirja 607

Aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelussa tarvittavien komponenttien valitseminen on vain osa suunnittelukokonaisuutta. Järjestelmän suunnitteluprosessille ja etenemiselle löytyy jo valmis runko ja ohjeistuksia sisältävä käsikirja sekä standardeja ja ohjeistuksia sisältävä kirja. Jotta suunnittelu etenisi loogisesti ja järjestelmällisesti kannattaa suunnittelutoimiston käyttää hyväksi suunnittelussaan taloteknisen suunnittelun tehtäväluet-

teloja TATE12 ja SFS-käsikirja 607:n antamia ohjeistuksia aurinkosähkön rakentamisesta ja suunnittelusta.

5.1 TATE12 eli taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo

TATE12 on tarkoitettu taloteknisten, eli LVI-, RAU- ja SÄH suunnittelutehtävien sisällön ja laajuuden määrittelyä. Tehtäväluettelossa käydään suunnittelun eri vaiheet, missä järjestyksessä niissä edetään, ja se on tehty suunnittelijoita varten auttamaan suunnittelukokonaisuuden hallitsemista. Lisäksi TATE12 toimii myös osana laadun varmistusta. Tästä syystä tehtäväluettelo sopii mainiosti jakamaan suunnittelu-urakkaa sopiviksi osiksi ja on kannattava ottaa osaksi suunnitteluprosessia. Luettelo sopii niin uudis- kuin saneeraushankkeisiin ja eri järjestelmien suunnitteluun kaikkien hankinta- ja palkkiomuotojen kanssa. Kun luodaan suunnittelusopimusta, tehtäväluettelo voidaan liittää osaksi tätä sopimusta. Hankekohtaisesti määritellään, mitä tehtäviä halutaan suoritettavan, ja tehtäväluettelo on luokiteltu hankinnan kannalta sopiviin kokonaisuuksiin. Tehtävät voivat ajallisesti olla myös päällekkäin ja ajoittua hankkeessa eri vaiheisiin.

Tehtäväluettelo on jaettu hankkeen eri tehtäväkokonaisuuksiin, joita ovat: tarveselvitys, hankesuunnittelu, suunnittelun valmistelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, rakennuslupatehtävät, toteutussuunnittelu, rakentamisen valmistelu, rakentaminen ja käyttöönotto. Kukin näistä on edettävä porras, ja kun nämä on kaikki käyty läpi, tulee viimeisenä takuu-aika, jossa seurataan rakennuksen toimivuutta, tehdään takuuajan säädöt, suoritetaan kaikki tarvittavat tarkastukset ja korjataan ilmenneitä ongelmia tai puutteita rakennuksessa. TATE12 -tehtäväluettelossa nämä portaavat on tässä samaisessa järjestyksessä merkitty kirjaimin A - K. [15, s.1-2.]

Konsultointiyritys tekee ensin tarveselvityksen, jossa tarkastellaan mahdollisuuksia aurinkosähköjärjestelmän rakentamiselle, kun tilaaja kysyy järjestelmän mahdollisuutta. Käytännössä tämä tarkoittaa alustavaa suunnittelua tuotetun sähkön käyttötarkoitukselle, rakennuskohteen sijainnin kartoittamista ja saneerauskohteessa muutostarpeiden tarkastelua. Koska järjestelmän odotetaan olevan toiminnassa yleisesti 20-30 vuotta, tulee siis tässä vaiheessa huomioida mahdolliset ympäristön muutokset, kuten kasvavien puiden tai naapuritontille mahdollisesti rakennettavien rakennusten synnyttämät varjoalueet. Ekologisuutensa ansiosta aurinkosähköjärjestelmällä on positiivinen vaiku-

tus rakennuksen energialuokituksessa, jossa vaatimukset ovat kiristymässä jatkuvalla tahdilla. E-luokka kuvaa rakennuksen energiatehokkuutta, ja mitä lähempänä luku on luokkaa A, sen parempi. E-luku tulee ilmoittaa myynti- ja vuokrausilmoituksessa, ja luku ilmaisee rakennuksen laskennallisen ostoenergian kulutuksen lämmitettävää neliometriä kohden vuodessa. Aurinkosähkön tuottaminen vähentää ostettavan sähköenergian määrää ja täten parantaa energialuokitusta. Tarveselvitys johtaa lopuksi hankepäätökseen. [15, s.3.]

Tarveselvityksen jälkeen edetään suunnittelun seuraavaan vaiheeseen eli hankesuunnitteluun. Konsultointiyritys kerää tarvittavat tiedot toimivuutta, laajuutta, laatua, kustannuksia, ajoitusta ja ylläpitoa varten ja asettaa näille tavoitteet. Tässä vaiheessa tehdään karkeat tilavaraukset ja laskelmat, joissa tutkitaan tarkemmin saatuja hyötyjä järjestelmän rakennuttamisesta sekä kustannuksista ja rajoittavista tekijöistä. Hankesuunnittelussa konsultointiyritys siis tekee alustavan suunnitelman hankkeen etenemiselle sekä tavoitteista, joihin pyritään suunnittelussa. Hankesuunnittelu hyväksytetään tilaajalla, joka tekee tämän perusteella investointipäätöksen. [15, s.4-5.]

Suunnittelun valmistelut aloitetaan tämän jälkeen ja konsultointiyritys tekee alustavat suunnitelmat käytettävistä ohjelmistoista, suunnittelutöihin alkavista työntekijöistä sekä työnjaosta. Tässä vaiheessa käydään läpi projektin tavoitteet neuvotteluissa ja tehdään sopimukset suunnittelusta tilaajan kanssa. Tämä johtaa suunnittelupäätökseen eli suunnittelun aloittamiseen. [15, s.6-9.]

Suunnittelun aloitus merkitsee suuren suunnitteluprosessin aloittamista, joka käynnistyy ehdotussuunnittelusta. Tässä työvaiheessa käydään lävitse tarvittavan sähkön tuoton määrä rakennuskohteelle eli pohjakuorman mitoitus, joka määrittelee aurinkopaneelien määrän ja täten myös tarvittavan pinta-alan määrän. Järjestelmä tarvitsee suuren pinta-alan saadakseen mahdollisimman paljon auringonvaloa energiantuotantoa varten, ja tässä vaiheessa tehdään tarkemmat tilanvaraukset järjestelmälle sekä tehdä tarkemmat investointi- ja elinkaarilaskelmat koko järjestelmälle. Järjestelmän rakentamista varten kannattaa tehdä useampi suunnitelma, joilla tavoitteet voidaan toteuttaa, ja näistä vaihtoehtoista valitaan parhain ratkaisu, eli valitaan ehdotussuunnitelma jatkosuunnitelmia varten. [15, s.10-13.]

Ehdotussuunnittelusta valittu suunnitelma siirtyy eteenpäin yleissuunnittelua varten, jossa siitä tehdään toteutuskelpoinen yleissuunnitelma. Tässä suunnitteluvaiheessa tyypitetään paneelit, invertterit ja tarvikkeet, joilla järjestelmä tullaan rakentamaan. Lisäksi tehdään tarvittavat järjestelmä- ja maadoituskaaviot sekä suunnitelmat sähköpis-teistä. Yleissuunnitelma on kumminkin vielä muokattavissa oleva versio lopullisesta järjestelmästä, ja suunnitelma voi muuttua vielä osittain tästä, mutta pääosin se on viimeistelyä ja johdotusta lukuunottamatta valmis. Tätä suunnittelua varten SFS-käsikirja 607 antaa hyvät ohjeistukset suunnitteluohjeessaan, josta saa apua suunnitte-luprosessiin. Tämän vaiheen suunnittelu päättyy hyväksytyyn yleissuunnitelmaan ja pääpiirustuksiin. [15, s.14-17.]

Yleissuunnitelmien hyväksynnän jälkeen seuraava vaihe on rakennuslupatehtävien teko, jossa selvitetään tarvittavat lupamenettelyt, varmistetaan suunnittelijoiden kelpoi-suus sekä suunnitelmien hyväksyttävyyt. Näin voidaan laatia lupahakemukset tarvitta-vine asiakirjoineen. Kaksi tärkeintä lupaa ovat lupa verkkoon syöttämisestä sekä toi-menpidelupahakemus. Jos halutaan syöttää sähköä sähköverkon suuntaan, tulee lu-paa verkkoon syöttämisestä hakea ja tätä voi tiedustella eri sähköverkkoyhtiöiltä, joilla löytyy tarvittava lomake tietojen täyttämistä varten. Toinen merkittävä hakemus, toi-menpidelupahakemus, on tehtävä ennen rakentamisen aloittamista, koska kunnan ra-kennusvalvontavirasto antaa luvan rakentamisen aloittamiselle. Kun lupahakemukset on täytetty, saadaan rakennuslupa järjestelmän rakentamista varten. [15, s.18.]

Suunnittelu etenee tästä seuraavaan vaiheeseen, joka on toteutussuunnittelu, jossa yleissuunnitelma kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi suunnitelmiksi ja käytettävät tuotteet määritellään loppuun asti. Tämä tarkoittaa, että suunnittelussa vii-meistellään tasopiirustukset johdotuksineen, järjestelmäkaaviot ja työselitys. Tässä tehtävälue-telon vaiheessa muokataan suunnitelmia niin, että verkkoyhtiön sekä laite-valmistajien vaatimukset järjestelmälle täyttyvät. Lopuksi nämä toteutussuunnitelmat hyväksytään seuraavaa suunnitteluvaihetta varten. [15, s.19-25.]

Rakentamisen valmistelu alkaa toteutussuunnitelmien hyväksynnän jälkeen, jossa ra-kentaminen organisoidaan ja rakennustehtävät kilpailutetaan. Kilpailutuksessa pääs-tään käymään sopimusneuvotteluja ja tehdään urakka- ja hankintasopimukset. Tämä on viimeinen vaihe ennen varsinaista rakentamista ja johtaa rakentamispäätökseen, jolloin rakentaminen viimein alkaa. Rakentamisen aikana varmistetaan, että toteutus

vastaa sopimusta ja suunnitelmia sekä täyttää lopputulokseltaan tarvittavat käyttö ja ylläpitovalmiudet. Kun rakentaminen saadaan päätökseen, järjestelmä tarkistetaan ja siitä tehdään vastaanottopäätös. [15, s.25.]

Vastaanottopäätöksen jälkeen tapahtuu järjestelmän käyttöönotto, jossa varmistetaan koko järjestelmän toiminta ja annetaan tilaajalle järjestelmän käyttöä varten opastus. Samalla laaditaan testauspöytäkirja ja tehdään käyttöönottotarkastus. Nyt järjestelmä on otettu käyttöön ja viimeiseksi vaiheeksi tehtäväluettelo varten jää takuu-aika, jolloin seurataan järjestelmän toimintaa ja tarpeen tullen tehdään tarvittavat muutokset, säädöt ja korjaukset sekä korjataan ilmenneitä puutteita järjestelmässä. [15, s.26-31.]

5.2 SFS-käsikirja 607

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelusta ja asentamisesta löytyy SESKO ry:n valmistama SFS-käsikirja 607, jossa tarkoituksena on ollut kerätä aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun, asentamiseen ja käyttövalvontaan liittyviä keskeisiä standardisointijärjestöjen laatimia julkaisuja yhteen painokseen. Käsikirjassa on vaatimuksia sekä ohjeistuksia aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja asentamiseen sekä standardeja, jotka antavat kirjalle laajan sisällön. Käsikirja sisältää suunnitteluohjeistuksen, SFS 6000-7-712 Valosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät, SFS-EN 62446 Sähköverkkoon kytketyt PV-järjestelmät, SFS-EN 61724 Valosähköisen järjestelmän suorituskyvyn valvonta sekä SFS-EN 50438 Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille. [11, s.3.] Standardit SFS-EN 61724 ja SFS-EN 50438 sisältävät tietoja ja vaatimuksia, jotka ovat hyödyllisiä enemmänkin tehomuuntajan suunnittelussa ja ohjelmoinnissa, joten tämä työ ei käsittele kyseisiä standardeja pitemmälle.

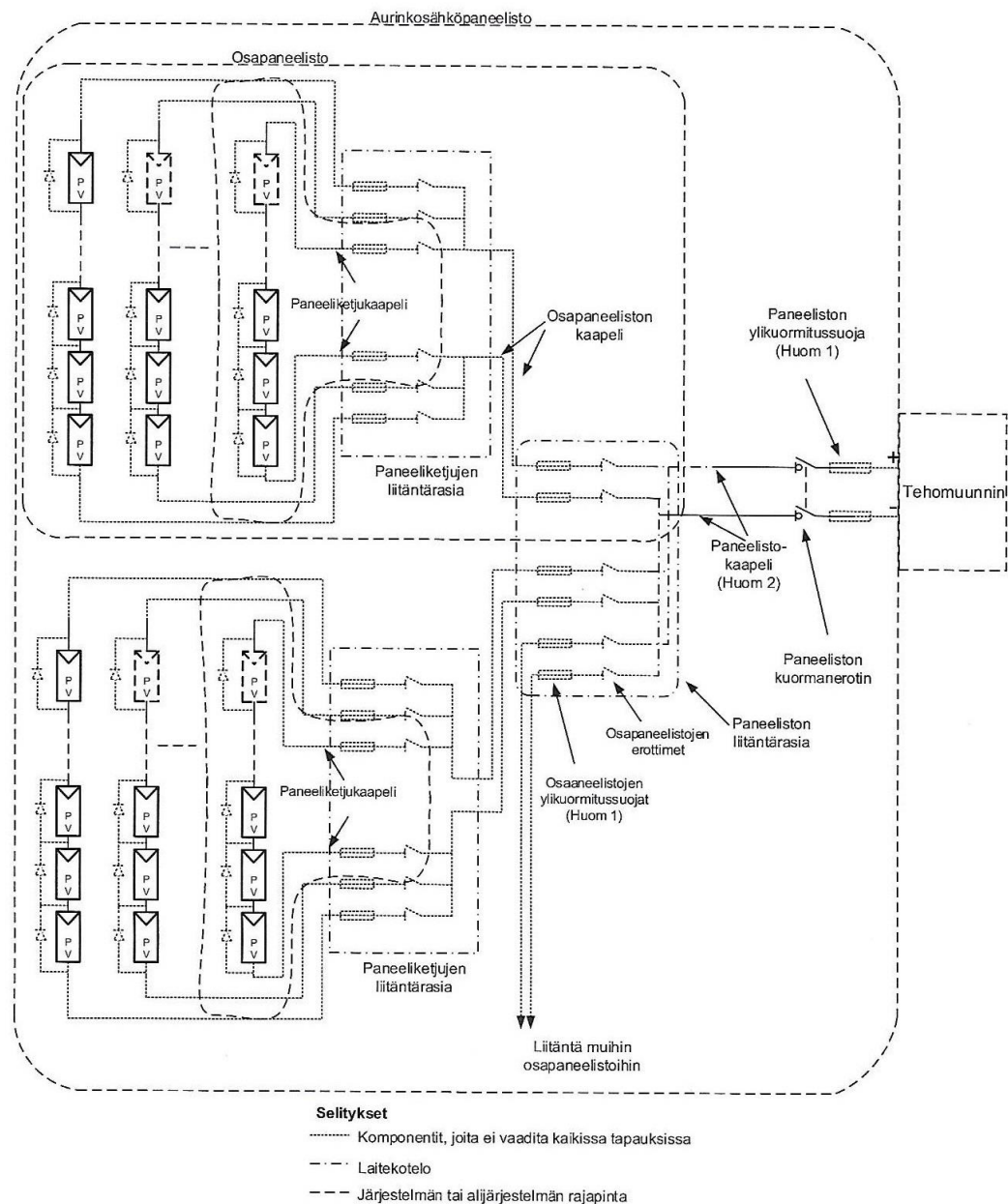
5.2.1 Suunnitteluohje

Suunnitteluohje käy alkuun läpi soveltamisalan, käytettävät termit sekä lyhenteet, joista se etenee yleisiin tietoihin, kuten järjestelmän kokoonpanosta, arkkitehtuurista, piirustuksista ja suorituskyvystä. Tästä kirja etenee suunnittelussa huomioitaviin järjestelmään vaikuttavista mekaanisista rasitteista sekä järjestelmän turvallisuusvaatimuksiin ylivirtasuojauksista. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen sekä laitevaatimukset tule-

vat tämän jälkeen, ja tästä ohje etenee järjestelmän hyväksyntään, käyttöön ja kunnossapitoon, merkintöihin ja dokumentaatioon. Lopuksi ohje sisältää opastavia liitteitä, joissa on esimerkkejä järjestelmästä. [11, s.7-9]

Aurinkosähkössä on monia lisävaarantekijöitä, jotka tulee ottaa suunnittelussa huomioon, koska järjestelmä kykenee tuottamaan ja kestävänsä luomiansa valokaaria sähkövirtojen arvoilla, jotka eivät ole suurempia kuin normaalit toimintavirrat järjestelmässä. Inverttereille on siksi vaatimuksena täyttää standardien IEC 62109-1 ja IEC 62019-2 vaatimukset ja asennusvaatimusten olevan myös riippuvaisia standardin SFS 6000 (IEC 60364) vaatimuksista. [11, s.10.]

Kokoonpanosta ja arkkitehtuurista painotetaan seuraamaan laitevalmistajan ohjeita sekä huomioimaan, ettei aurinkopaneeliston johtimien käyttö suojamaadoitukseen ole sallittua. Lisäksi toiminnallisen maadoituksen tekeminen paneeliston yhdellä johtimella on mahdollista vain, jos pienjänniteverkossa on toteutettu vähintään yksinkertainen erotus maadoituksessa tehomuuntimen sisällä tai ulkoisesti erotusmuuntajalla. Järjestelmästä löytyy myös esimerkkipiirustuksia, kuten kuvassa 7, joissa käy ilmi järjestelmän mahdollisista kokoonpanoista ja kytkennöistä. [11, s 19-24]



Huom. 1: Jos vaaditaan ylivirtasuojalaitteet, katso vaatimukset kohdasta 6.3.

Huom. 2: Joissakin järjestelmissä ei välttämättä ole käytetty paneeliston kaapelia ja kaikki paneeliketjut tai osapaneelistot voivat olla päätetty kytkentärasiaan, joka on tehomuuntimen läheisyydessä.

Kuva 7. Aurinkosähköpaneeliston kaavio, jossa paneelisto on jaettu kahteen osapaneelistöön. [11, s.22.]

SFS-käsikirja 607:stä löytyy myös lyhyesti vaatimuksia tehomuuntimelle, rinnan- ja sarjakytkennälle, akkujen käytölle ja paneeliston vikatilanteille. Painopiste vikatilanteille on maadoituksissa sekä ylivirtasuojauksissa ja niiden huomioimisessa suunnittelussa.

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämpötilan vaikutukset järjestelmään, varjostukset, paneelien vanheneminen, asento sekä likaantuminen, jotka kaikki vaikuttavat järjestelmän tuottavuuteen. Jännitteen alenema tulee myös ottaa huomioon kaapeleissa, sillä täydessä kuormitustilanteessa suositellaan kauimmaisen paneelin ja sovelluspiirin välille eroa maksimissaan 3 % paneeliston jännitteestä. Paneelien puhdistukseen antavat valmistajat yleisesti puhdistusohjeet. Mekaanisen kuormituksen huomioiminen on tärkeässä osassa suunnittelua, koska aurinkopaneelit ovat yleisesti suoraan sään armoilla. Siksi lämpölaajeneminen, tuulen ja lumen tai jään luoma mekaaninen rasitus sekä komponenttien ja liitosrakenteiden korroosiolta suojautuminen tulee ottaa huomioon. [11, s.24-27]

Kun paneelisto ylittää yli 1000 VDC tulee pääsy paneelistoon, kaapelointiin ja suojaukseen rajata ammattihenkilöille. Rakennuksiin asennettaessa aurinkosähköjärjestelmä ei saa ylittää 1000 VDC:tä. Lisäksi suojaus sähköiskuilta tulee tehdä standardin SFS 6000-4-41:n vaatimuksien mukaisesti. SFS 607 -käsikirja sisältää vaatimukset ylivirtasuojauksille paneeliketjuissa, jos ne ylittävät standardin IEC 61730-2 mukaan mitoitettua aurinkosähköpaneelin suurimman ylivirtasuojauksen. Ylivirtasuojauksen tarvitsee myös tietyissä tapauksissa osapaneelistoissa, ja koko paneelistossa ja suunnitteluohjeessa ilmoitetaan näille mitoitusvirrat. Ylivirtasuojaukselle on myös annettu vaatimus lokalisoinnista eli sijainnista järjestelmässä. Ylivirtasuojaus on rakennettava paneeliketjuissa ja osapaneelistoissa liitännänsä liittyvään kaapeliin ja tehomuunttimeen liittyvään paneeliston kaapeliin. Ylivirtasuojauksen lisäksi laitteistossa on huomioitava toiminnallinen maadoitus ja sen poiskytkentälaitte. Poiskytkentälaitteelle on SFS-käsikirja 607:ssä taulukoitu mitoitusvirrat riippuen paneeliston kWp -tehosta. [11, s.28-31.]

SFS 607:stä löytyy vaatimuksia eri jänniteluokkien aurinkosähköpaneelistoille maadoitusvikojen havaitsemisesta, toimenpide- ja hälytysvaatimuksista sekä mittausvaatimukset ja vikavirranhavaitsemislaitteen vaatimukset. Paneeliston eristysvastusarvojen poikkeamien havainnoinnista on kerätty myös vaatimukset, joissa kerrotaan, että jos erottamaton tehomuunnin on kytketty maadoitettuun lähtöpiiriin, niin paneeliston maadoitusvika voi aiheuttaa välittömän vaarallisen virran kulun, kun tehomuunnin kytkeytyy virtapiiriin. Tämä tarkoittaa, että jos pienjänniteverkon nollajohdin on maadoitettu, niin erottamatonta invertteriä ei saa kytkeä pienjänniteverkkoon. Täten on toteutettava keino, jolla paneeliston eristysvastus maadoitusta vasten voidaan mitata ennen käytön alkamista ja vähintään kerran vuorokaudessa ja tämä voidaan tehdä esimerkiksi teho-

muuntimessa. SFS 607:ssä annetaan tälle pienimmät kynnysarvot taulukoituina. Tämän lisäksi on vaatimuksia vikavirran valvontajärjestelmälle ja maadoitusvikojen hälytyksille ja vaatimuksena on, että hälytysjärjestelmä asennetaan aina ja sen aktivoituesa se pysyy toiminnassa kunnes vika korjataan tai järjestelmä sammutetaan. Hälytyksen tulee olla sellainen, että järjestelmän käyttäjä tai omistaja tulee tietoiseksi viasta, esimerkiksi tekstiviestillä. Välittömistä toimenpiteistä on myös järjestelmän omistajalle annettava toimintaohjeet. IEC 62109-2 vaatii, että invertteri pystyy ilmoittamaan viasta paikallisesti ja myös lähettämään vikailmoituksen eteenpäin. [11, s.32-34.]

Järjestelmän suojauksesta ylijännitettä sekä salaman iskua vastaan SFS 607:stä löytyy tietona, että paneeliston rakentaminen vaikuttaa hyvin vähän salaman iskun todennäköisyyteen. Tosin on suositeltavaa kartoittaa tarve standardin IEC 62305-2 mukaisesti ja, jos havaitaan tarve salamansuojajärjestelmälle, tulisi järjestelmä asentaa IEC 62305-3:n mukaisesti. Tästä suunnitteluohjeessa edetään sähkölaitteiden valinta ja asennusohjeisiin. Tehomuunnin on yleisesti vaatimukset saneleva komponentti ja muiden oleellisten laitteiden tulee täyttää laitevaatimukset. Tehomuunnin valitaan IEC 62109-1:n mukaisesti. [11, s.34-35.]

Suunnitteluohjeessa mainitaan, kuinka aurinkosähköpaneelistossa lasketaan suurin saatava jännitteen korjauskerroin ympäristön lämpötilan mukaan. Paneelistossa syntyvä jännite vaihtelee ympäristön lämpötilasta riippuen, ja siksi alimman odotetun käyttölämpötilan mukaan tehdään jännitteen arvon korjaus, joka lasketaan paneelien valmistajan ohjeiden mukaisesti. Jos valmistajalta ei ole ohjeita tämän tekemiseen, tulee paneelistosta saatavan jännitteen arvo kertoa korjauskertoimella, joka vaihtelee ympäristön lämpötilasta riippuen arvojen 1,02 ja 1,25 välillä. [11, s.35-36.]

Piikiteeseen perustuvien paneelien tulee olla IEC 61215 -standardin mukaisia, ja ohutkalvotekniikkaan perustuvien paneelien tulee täyttää IEC 61646:n vaatimukset. Ohitusdiodit ovat pakollisia, kun tasajännite on suurempi kuin 50 V. Nämä ovat yleisesti integroituina aurinkopaneelisiin valmistajien toimesta, mutta paneelien valmistajien ohjeita tulee seurata ja noudattaa, jotta saadaan varmistettua ohitusdiodien tarve. Laiteluokkien vaatimuksena aurinkosähköpaneelien tulee täyttää IEC 61730-1:n ja IEC 61730-2:n vaatimukset ja luokitukset. Standardissa IEC 61730-1 löytyy vaatimukset sähköiskulta suojaamiseen järjestelmän jänniteluokan mukaan. Aurinkosähköjärjestelmässä kaikki kytkentärasiat tulee olla vähintään IP54 -luokkaa sekä kestävä UV-säteilyä. Kytkentä-

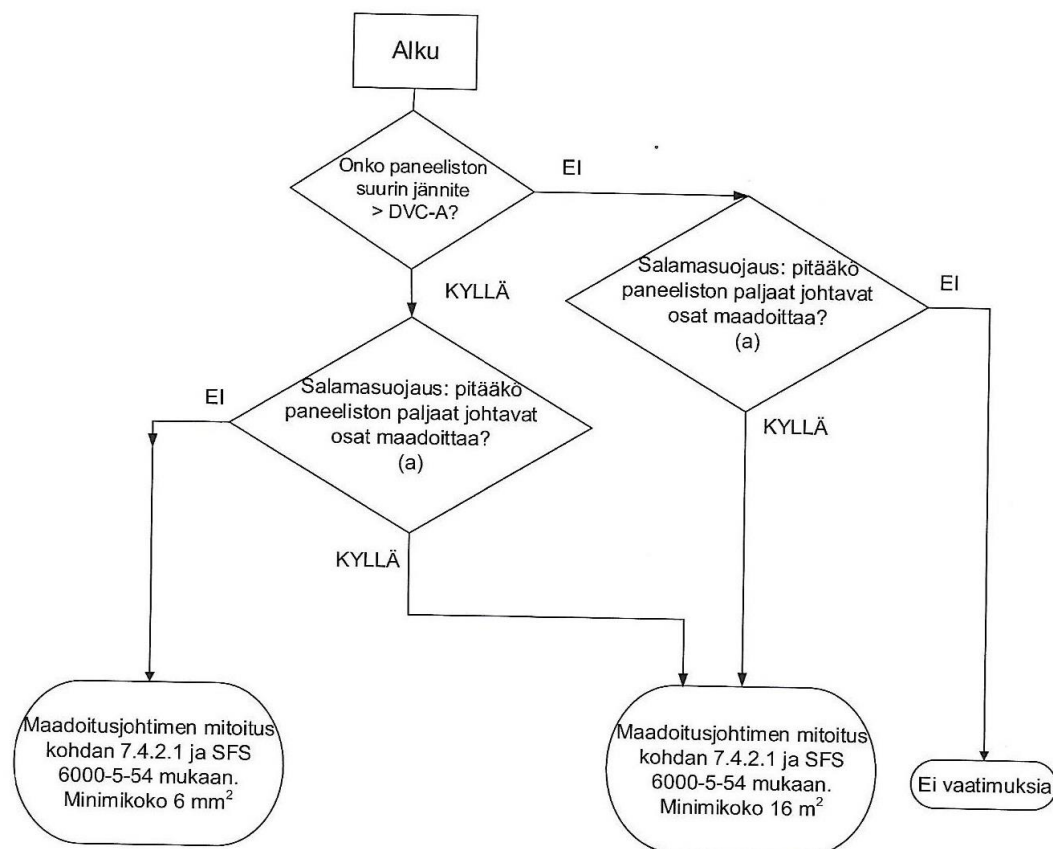
rasiat, jotka sisältävät ylivirtasuojalaitteita ja tasasähkökytkinlaitteita, tulee sijoittaa esteettömään paikkaan mahdollisia huoltotoimenpiteitä varten, ilman tarvetta purkaa rakenteita tai laitekaappeja vastaavia rakennelmia. Ylivirtasuojauksissa käytettävien katkaisijoiden tulee olla sertifioituja standardin IEC 60898-2 tai IEC 60947-2 mukaisesti eivätkä ne saa olla napaisuudeltansa herkkiä. Niiden on myös oltava mitoitettuja katkaisemaan täysikuorma ja prospektiiviset ylivirrat, jotka ovat peräisin joko kytketyistä teholähteistä, akuista, generaattoreista ja sähköverkosta, jos ne on kytketty järjestelmään. Kuormanerotimien tulee olla sertifioitu standardien IEC 60947-1 ja IEC 60947-3 mukaisesti sekä laitteen rakenteen on mahdollistettava käsikäyttöinen riippumaton ohjaus. Järjestelmän kaapeleissa on otettava huomioon ylikuormitussuojan mitoitus, pienin mitoitusvirta, jännitteen alenema ja prospektiiviset vikavirrat. Näiden perusteella valitaan kuinka paksu kaapeli tarvitaan. Paneeliston pienin soveltuvan kaapeli koko perustuu kuormitettavuuteen. Sen tulee perustua SFS 607 -käsikirjan taulukon 6 mukaisiin arvoihin ja standardisarjassa IEC 60287 esitettyyn kaapeleiden kuormitettavuuteen. Kaapelin sijainnin ja asennustavan vaikutukset tulee huomioida SFS 6000 -standardin kuormitettavuuden korjauskertoimella. On myös kannattavaa ottaa huomioon, että paneelit tuottavat ensimmäisten viikkoina tai kuukausien aikana suuremman virran kuin mitoitettu arvo on ja siksi tähän tulee varautua ylivirtamitoituksissa. [11, s.36-39.]

Aurinkosähköjärjestelmässä käytettävien kaapelien tulee soveltua tasasähkösovelluksiin, oltava mitoitusjännitteeltään sama tai suurempi kuin määritetty paneeliston suurin jännite sekä oltava käyttölämpötilaltaan sopivia aurinkosähköasennuksiin. Paneelien kaapelien eristyksille on annettu enemmän vaatimuksia, jos ne ovat kosketuksissa paneeliin tai paneelin lähelle, joita ovat vedenkesto, UV-suojaus, ympäristön suolapitoisuus ja sen kestävyys sekä palonkesto standardin IEC 60332-1-2 mukaisesti. Aurinkosähköjärjestelmien kaapeleille on tekeillä IEC-standardi, jota ennen kannattaa käyttää valmistajien suosittelemia tai kansainvälisiä vaatimuksia täyttäviä kaapeleita. [11, s.39-40.]

Erotusvaatimuksina aurinkosähköpaneelisto ja tehomuunnin on pystyttävä erottamaan toisistaan kunnossapitoa ja tarkastusta varten. Pienemmät tehomuuntimet vaihdetaan yleensä kokonaan ja suuremmissa tehomuuntimissa vaihdetaan sisäisiä komponentteja. Tehomuuntimet, jotka korjataan vaihtamalla sisäisiä komponentteja, tulee kuormanerotimien sijaita siten, että kunnossapito voidaan tehdä ilman sähköiskun vaaraa.

Kuormanerotin voi sijaita esimerkiksi tehomuuntimen laitekotelossa. Ylikuormitussuojien ja kuorman katkaisu- ja erotuskeinojen tulisi sijaita kaapelien päatekohdassa, mahdollisimman etäällä paneeleista. [11, s.43-44.]

Aurinkosähköjärjestelmässä on paneeliston paljaiden johtavien osien maadoittaminen ja potentiaalintasaus tehtävä kuvan 8 mukaisesti. Maadoittaminen on tehtävä myös osana mahdollista salamansuojajärjestelmää ja potentiaalintasaus tehtävä potentiaalierojen välttämiseksi asennuksen sijainneissa. Paneelistossa on myös tehtävä yhden virran siirtotienä käytetyn navan toiminnallinen maadoitus. Paneelistossa käytettävien paljaiden metallikehysten maadoittaminen on tehtävä käyttäen 6 mm² kuparikaapelia tai vastaavaa. Jos aurinkosähköjärjestelmälle tehdään erillinen maadoituselektrodi, on se kytkettävä sähköasennuksen päämaadoitusliittimeen pääpotentiaalintasausjohtimilla. Aurinkosähköjärjestelmään on rakennettava toiminnallinen maadoituskisko, joka liitetään päämaadoituskiskoon. [11, s.45-48.]



^a Kysymyksiin vastaamiseen ks. standardien IEC 62305-2 ja IEC 62305-3 suositukset tai käytä paikallista tietoa kuten salamointipäivien lukumäärä vuodessa. Aurinkosähköpaneeliston salamasuojauksen suunnittelussa tulisi huomioida paneeliston sijainti suhteessa muihin rakennuksiin ja rakenteisiin.

Huom. Lisätietoja maadoituksen toteuttamiseen ks. IEC 62305-3.

Kuva 8. Kaavio, jonka perusteella tehdään päätös toiminnallisen maadoituksen rakentamiseen. [11, s.46.]

Paneelitojen kaapelointi tulee tehdä huolellisesti vaurioiden ehkäisemiseksi, minimoimien johtimien välisten vikojen ja maadoitusvikojen esiintyminen. Vikojen ja valokaarien esiintymisriskin pienentämiseksi tulee kaikkien kaapelien liitännät tarkastaa kireyden ja napaisuuden osalta. Salamasta indusoituvien ylijännitteiden pienentämiseksi tulisi kaapelit asentaa muodostaen mahdollisimman pienet pinta-alat johtosilmukoissa, esimerkiksi rinnakkain. Jos johdot tuodaan liitántärasialle ilman suoja putkea, tulee silloin käyttää vedonpoistoa estämään kaapelin irtoaminen liitántärasiaasta. Paneelitoon tai rakennukseen asennetuissa kaapeleissa tulee olla pysyvä ja häviämätön tunnistusmerkintä, ja kaapelit tulee olla merkitty selkeästi aurinkosähköjärjestelmään kuuluviksi. Jos selkeä merkintä puuttuu, kaapelit tulee varustaa viiden metrin välein selkeästi erottuvilla värillisillä lapuilla, joissa lukee "SOLAR DC". Putkessa tai kaapelikanavassa kulkevat

johtomerkinnot tulee merkitä viiden metrin välein suojarakenteen ulkopintaan. [11, s.48-50.]

Kaikki sähkölaitteet on merkittävä noudattaen IEC-standardeja tai paikallisten määräyksien ja standardien vaatimuksia. Merkinnot tulisi olla paikallisella kielellä tai käyttäen soveltuvia varoitus- ja turvallisuusmerkkejä. Merkinnot tulee olla IEC:n vaatimusten mukaisia, häviämättömiä, luettavissa vähintään 0,8 m:n etäisyydeltä, oltava laitteen koko käyttöiän kestäviä ja selkeästi ymmärrettäviä. Paneeliston ja paneeliketjujen liitäntäkoteloon sekä kytkimiin on kiinnitettävä varoitusmerkki, jossa lukee "SOLAR DC" varoittamaan sähköiskun vaarasta päiväsaikaan. SFS 607 -käsikirjasta löytyy opastavana liitteenä liite A koskien esimerkkejä merkinnöistä. [11, s.50-51.]

Hyväksyntä aurinkosähköjärjestelmälle tulee tehdä hyväksyntätodistuksella noudattaen standardin IEC 62446 vaatimuksia, ja samaa standardia voi käyttää käyttö- ja kunnossapito toimenpiteissä. Samasta standardista löytyy myös dokumentaatiolle vaatimukset ja ohjeistukset. [11, s.50.]

SFS 607 -käsikirjan suunnitteluohjeessa löytyy opastavia liitteitä esimerkkeineen merkintöjen teosta, toiminnallisen maadoituksen teosta, estodiodeista, valokaarien havaitsemisesta ja laitteiston pysäytyksestä, DVC -luokkien raja-arvoista, aurinkosähkölaitteistoon liittyvistä tuotestandardeista sekä kansainvälisestä sertifiointijärjestelmästä. [11, s.52-63.]

5.2.2 Standardi SFS 6000-7-712

SFS 6000-7-712 Valosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät -standardi käsittelee sisällysluettelonsa mukaan termistöä, eri suojausmenetelmiä sekä tietoja laitteistojen valitsemiseen ja asennukseen. [16, s.1.] On otettava myös huomioon, että tämä standardi tulee uusiutumaan vuoden 2017 syksyn aikana eikä välttämättä osittain pidä paikkansa syksyn jälkeen. [17.]

Standardi on vain muutaman sivun mittainen, ja se sisältää lyhyesti vaatimuksia syötön automaattiselle poiskytkennälle, vahvistetulle ja kaksoiseristykselle, pienoisjännite SELV- ja PELV-järjestelmille, tasasähköosan ylikuormitussuojaukselle, oikosulkusuojauselle ja sähkömagneettisten häiriöiden suojautumiseksi. Vaatimuksena on, että pa-

neelien on oltava sopivia laitestandardien, esimerkiksi kideaurinkokennoja koskevan EN 61215 -standardin mukaisia. Jos paneeliketjun jännite ylittää 120 V, suositellaan käytettäväksi paneeleita, jotka ovat luokan 2 rakennetta. Paneeliston liitännäkoteloiden ja jakokeskuksen on oltava SFS-EN 60439-1:n tai SFS-EN 61439-1:n mukaisia. Sähkölaitteiden tulee olla sopivia tasajännitteelle ja tasavirralla tasasähköosassa. Paneeleita voidaan liittää sarjaan valmistajan määrittämän suurimpaan sallittuun käyttöjännitteeseen tai tehomuuntimen käyttöjännitteeseen asti riippuen siitä kumpi on alempi. Paneelit tulee asentaa valmistajan ohjeiden mukaisesti, että niissä tapahtuu tasaista lämmön haihtumista. Lisäksi paneelit on valittava ja asennettava niin, että niiden huoltaminen ja turvallinen kunnossapito voidaan tehdä tarvittaessa. [16. s.7]

Paneeliketjukaapelit, paneelistokaapelit ja tasajännitekaapelit tulee valita sekä asentaa minimoiden maasulkujen ja oikosulkujen vaikutukset sekä johtojärjestelmä tulee myös rakentaa käyttäen säätä kestäviä tarvikkeita. Tehomuuntajan huollon takia on oltava erotuslaitteet, jolla tehomuuntajan saa erotettua tasasähköosasta ja vaihtosähköosasta. Standardi käy myös lyhyesti vaatimukset erotuslaitteille ja maadoitukselle sekä varoituskilville. [16, s.7-8.]

5.2.3 Standardi SFS-EN 62446

Standardi SFS-EN 62446 käsittelee sähköverkkoon kytkettyjä valosähköisiä järjestelmiä ja sen minimivaatimukset järjestelmän dokumentaatiolle, käyttöönototesteille ja tarkastuksille. [18, s.6-7.]

Termistön selostuksen jälkeen standardi jakaantuu kahteen isoon kappaleeseen: järjestelmän dokumentointivaatimuksiin ja tarkastusvaatimuksiin. Dokumentaatiovaatimuksissa käydään läpi, mitä pitää kirjata järjestelmän perustietojen osalta, mitä tietoja suunnittelijan pitää ilmoittaa ja mitkä tiedot asentajan tulee ilmoittaa. Standardissa mainitaan tämän jälkeen läpi kaikkien suunnittelupiirustusten sisältövaatimukset ja tietovaatimukset ja tämän jälkeen datalehtien, mekaanisen suunnittelun, käyttö- ja kunnossapitotiedot. [18, s.7-10.]

Standardin tarkastuksia käsittelevä luku mainitsee alkuun, että sähköverkkoon kytkettyjen valosähköisten järjestelmien tulee tehdä tarkastuksensa noudattaen SFS 6000-6 -standardia. Kyseinen standardi sisältää vaatimukset kaikille tarkastuksille, mut-

ta itse SFS-EN 62446 sisältää erityisvaatimukset sähköverkkoon kytkettyjen valosähköisten tehonsyöttöjärjestelmien säännöllisin väliajoin tehtävistä kunnossapitotarkastuksista. Kappale sisältää aistinvaraisen tarkasteluun sisältyvät asiat, jotka viittaavat pitkälti SFS 6000-7-712 -standardiin ja samoin myös suojauksessa ylijännitteeltä ja sähköiskulta kohdassa. Standardissa mainitaan, että kaikki testaukset tehdään SFS 6000-6 -mukaisesti. Nämä tehtävät testit ovat suojamaadoitusjohtimien ja tai potentiaalitasausjohtimien jatkuvuuden testaus, napaisuuden testaus, paneeliketjun avoimenpiirin jännite- ja virtatesti, toiminnallinen testi ja tasasähköpiirien eristysresistanssien tarkastus. Standardi käy tämän jälkeen lävitse, kuinka jokainen testeistä tulee tehdä tuossa järjestyksessä. Kun tarkastukset on saatu päätökseen, luodaan tarkastusraportti, jossa on kirjattuna kaikki tarvittavat tiedot järjestelmästä, luettelo aistinvaraisesti tarkastetuista ja testatuista virtapiireistä, tarkastuspöytäkirja, testitulosten pöytäkirja, seuraava tarkastuksen ajankohta sekä tarkastuksen suorittaneiden henkilöiden allekirjoitukset. [18, s.10-17.]

Standardin loppupuolella on opastavia liitteitä, joista löytyy PV-järjestelmän tarkastussertifikaatti, PV-järjestelmän aistinvaraisen tarkastuksen raportti, valosähköisen paneeliston testiraportti sekä opastava ohje valosähköisen paneeliston tarkastamiseen lämpökameralla. [18, s.18-23.]

6 Aurinkosähköjärjestelmän laskentaa

Suurimmat syyt, miksi aurinkosähköjärjestelmää halutaan rakentaa, ovat ympäristöystävällisyys sekä saatu säästö sähkön ostossa. Ennen kuin lähdetään rakentamaan järjestelmää, tulee olla myös käsitys, minkälaisista kuluista ja tuloista on kyse, jotta voidaan laskea takaisinmaksuaika. Suurin kustannus aurinkosähköjärjestelmässä on invertterissä eikä niinkään paneelien määrässä. Tämä on näin, koska järjestelmän energiantuotto riippuu paneelien määrästä. Materiaaliset kulut ovat yksi osa kokonaisuutta, mutta sitten tulevat kuvaan myös rakennuskohteen sijainti maapallolla ja näin myös vuodenajat sekä aurinkoisien vuosien määrä, jotka muuttavat tuottoisuutta ja täten takaisinmaksuaikaa hyvin vaihtelevasti. Myös paneelien huolto tuottaa kuluja tilaajalle, sillä paneeleja tulee tarpeellisin aikaväleihin pestä ja puhdistaa lehdistä tai lumesta. Aurinkosähköjärjestelmää suunnitellessa tulee ottaa huomioon myös järjestelmän huollettavuus.

Aurinkosähköjärjestelmästä saadaan parhain hyöty, kun paneeleilla tuotettu sähkö suunnataan suoraan haluttuun käyttökohteeseen ja täten säästetään sähkön ostamisen kustannuksissa. Ostosähkön hintaan kuuluu sähköpörssistä ostetun hinnan lisäksi siirtomaksut ja sähkövero, jotka kaikki yhdistettynä antavat ostosähkön kokonaishinnaksi tällä hetkellä on noin 12 senttiä/kWh. Aurinkopaneelijärjestelmällä on myös mahdollista myydä tuotettua sähköä sähköverkkoon, mutta saatu taloudellinen hyöty on vähäinen. Tämä johtuu siitä, että sähköyhtiöt ostavat pientuottajilta, esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmän omaavilta, tuotettua sähköä samaan hintaan kuin millä sähköyhtiöt ostavat sähköpörssistä eli noin 3 senttiä/kWh. [19.] Taulukossa 3 on laskettuna saman omakotitalon takaisinmaksuajat kahdesta eri käyttöasteesta riippuen. Taulukossa nähdään, että 50 %:n käyttöasteella järjestelmän takaisinmaksuaika on useamman vuoden enemmän kuin 80 %:n käyttöasteella

Taulukko 3. Motivan verkkosivuilla on laskettu taulukko oman käyttöasteen vaikutuksesta takaisinmaksuaikaan. [20.]

	Sähkölämmitteinen omakotitalo (alhaisempi omakäyttöaste)	Sähkölämmitteinen omakotitalo (korkeampi omakäyttöaste)
Vuotuinen sähkönkulutus [kWh]	17 000	17 000
Sähkön hinta (energia + siirto + verot) [c/kWh]*	13	13
Sähkön myyjän ylijäämä sähköenergiasta maksama hinta [c/kWh]**	3,5	3,5
Järjestelmän mitoitusteho [W]***	2 000	2 000
Aurinkosähkön vuotuinen tuotanto [kWh]	1 890	1 890
Aurinkosähkön tuotanto omaan käyttöön [% tuotannosta]	50 %	80 %
Vuotuinen sähkölasku ilman aurinkosähköä [€]	2 210	2 210
Vuotuinen säästö aurinkosähköjärjestelmän ansiosta [€]****	156	210
Järjestelmän investointikustannus, asennettuna [€]	5 000	5 000
Koroton takaisinmaksuaika [v]	32	24

* Sähkön hintana on käytetty keskimääräistä toimitusvelvollisuushintaa esimerkin mukaiselle pientalolle vuoden 2014 alussa

** Ylijäämä sähkö hinta kuvastaa arvioitua keskimääräistä Nord Pool -pörssisähköhintaa vuonna 2014. Hinnoittelu riippuu sähkön myyjästä.

*** Mitoitus karkeasti keskimääräisen kulutuksen mukaan.

**** Sisältää kustannukset, jotka on säästetty välttämällä sähkön ostoa verkosta, sekä verkkoon syötöstä saatavat tulot.

Ennen päätöstä järjestelmän rakennuttamisesta haluaa tilaaja saada käsityksen laskennallisesta puolesta ja sähköntuotosta. Useilla verkkoyhtiöillä ja paneelien valmistajilla löytyy jonkinlainen aurinkolaskuri omilla verkkosivuillaan, jota käyttämällä saa pikaisesti laskettua mahdollisen tuotannon määrän, mutta laskelman voi tehdä myös itse. Tällä tapaa saadaan parempi käsitys, mitä vaikuttavia tekijöitä järjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon laskemiseen on hyödyllistä käyttää ympäristö ministeriön D5 -rakennusmääräyskokoelmaa. Tästä kokoelmasta löytyy yhtälöitä ja taulukoita aurinkosähköjärjestelmän tuottavuuden laskentaa varten, joka noudattaa standardin SFS-EN 15316-4-6 menettelytapaa. [6, s.66.]

$$W_{pv} = \frac{G_{aur} \cdot P_{maks} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (1)$$

W_{pv} on aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia vuodessa, kWh/a.

G_{aur} on kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana, kWh/m².

P_{maks} on aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2$, referenssilämpötilassa 25 °C), kW.

$F_{käyttö}$ on käyttötilanteen toimivuuskerroin.

I_{ref} on referenssisäteilytilanne, 1 kW/m². [6, s.66.]

Yhtälöllä 1 lasketaan aurinkopaneelin tuottamaa sähköenergiaa, minkä se pystyy tuottamaan vuoden aikana. $F_{käyttö}$ huomioi aurinkokennojen ympäristön tekijöitä, kuten sähköenergian muutoksen tasavirrasta vaihtovirtaan, kennojen toimintalämpötilan sekä asennusympäristön vaikutuksen, mutta se ei huomioi varjostuksia kennoille. Tämä varjostus kerroin $F_{käyttö}$ saadaan laskemalla varjostuksen suhteellinen määrä koko kennoston pinta-alasta. Tämä kaava on $(1 - A_{varjostus} / A_{kenno})$. $A_{varjostus}$ on ympäristön varjon pinta-ala aurinkokennoille ja A_{kenno} aurinkokennon pinta-ala ilman kehystä.

$$G_{aur} = G_{aur,hor} \cdot F_{asento} \quad (2)$$

G_{aur} on kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana, kWh/m².

$G_{aur,hor}$ on vaakatasolle osuvan auringon säteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa, D3 rakennusmääräyskokoelman liite 2 [20], kWh/m².

F_{asento} on aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin, (kaava 4).

Yhtälöllä 2 saadaan laskettua paneeliin kohdistuva auringon säteilyenergia vuodessa. [6, s.66.] Suurin aurinkosähkökennojen tuottama sähköteho P_{maks} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa, jonka menetelmä kuvataan SFS-EN 61829 standardissa. Standardiolosuhteilla tarkoitetaan paneelin tuottoa 25 °C ulkolämpötilassa, silloin kun auringon säteily määrä on 1000W/m². Jos P_{maks} tulosta ei ole ilmoitettu paneelin valmistajan toimesta, niin se on laskettavissa yhtälöllä 3.

$$P_{maks} = K_{maks} \cdot A_{kenno} \quad (3)$$

K_{maks} on huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä, (Taulukko 4), kW/m².

A_{kenno} on aurinkosähkökennon pinta-ala (ilman kehystä), m². [6, s.67.]

Tämän jälkeen lasketaan aurinkosähköpaneelien ilmansuuntaa sekä kallistuskulmaa varten korjauskerroin, F_{asento} , käyttämällä hyödyksi kaavaa 4.

$$F_{asento} = F_1 \cdot F_2 \quad (4)$$

F_{asento} = aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin

F_1 = ilmansuunnan mukainen kerroin.

F_2 = kallistuksen mukainen kerroin. [6, s.67.]

Tarvittavat arvot F_1 ja F_2 valitaan taulukoista 4 ja 5 riippuen paneelin suuntauksesta ja asennuskulmasta.

Taulukko 4. Ilmansuunnan mukainen kerroin F_1 [6, s.67.]

Suuntaus	F_1
	-
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 5. Kallistuksen mukainen kerroin F_2 [6, s.67.]

Kallistuskulma	F_2
	-
< 30°	1
30° – 70°	1,2
> 70°	1

Jäljellä olevat puuttuvat arvot K_{maks} ja $F_{käyttö}$ saadaan valitsemalla alla olevista taulukoista 6 ja 7.

Taulukko 6. Huipputehokerroin K_{maks} . Tämä arvo riippuu aurinkosähkökennon tyypistä, jonka valmistaja on ilmoittanut. [6, s.68.]

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin, K_{maks} kW/m ²
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12 - 0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10 - 0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04 - 0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe ₂ kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

Taulukko 7. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}$. [6, s.68.]

Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin, $F_{käyttö}$
	-
Tuulettamaton moduuli	0,70
Hieman tuuletettu moduuli	0,75
Voimakkaasti tuulettuva tai koneellisesti tuuletettu moduuli	0,80

Näillä D5 Rakennusmääräyskokoelmasta löytyvillä kaavoilla ja taulukoilla saadaan laskettua vuotuinen sähköntuotanto (W_{pv}) tietyn kokoiselle aurinkosähköjärjestelmälle. Kun W_{pv} tiedetään, voidaan laskea arvio tuotetun sähkön hinnasta koko vuodelle, jonka avulla saadaan laskettua arvio takaisinmaksuajasta koko järjestelmälle.

Esimerkkilaskenta

Tätä esimerkkilaskentaa varten oletetaan suunniteltavaksi rakennuskohteeksi omakotitalo Jyväskylän suunnalta, jolla on pohjakulutuksena 2 kWh keskiarvona koko vuodelle. Oletetaan, että talo sijaitsee metsän lähellä ja rakennuksen ylle saattaa kohdistua varjostumaa puista. Lisäksi oletetaan, että talon asennuskulma ei ole aivan optimaallinen paneelien suuntauskulmaa ajatellen. Valitaan aurinkopaneeli, joka on tuotannoltaan tehokas, pieni kokoinen ja täten suunnittelua varten sopiva vaihtoehto mukailemaan omakotitalon pientä kattoalaa. Valitaan paneeliksi Panasonic HIT N245 aurinkopaneeli, joka on suosittu aurinkopaneelimalli juurikin tuottavuutensa ansiosta. [21.] Laskenta tapahtuu käyttämällä D5 rakennusmääräyskokoelman ilmoitettuja kaavoja ja taulukoita.

$$W_{pv} = (G_{aur} \times P_{maks} \times F_{käyttö}) / I_{ref}$$

$$G_{aur} = G_{aur,hor} \times F_{asento}$$

D3 Rakennusmääräyskokoelman liitteessä 2 [22, s.29-32.] Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen. Näille jokaiselle on mitattu kunkin vyöhykkeen tietyille kaupungille ulkoilman keskilämpötila, auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle sekä pystypinnoille kaikille ilmansuunnille kuukausittain ja vuoden kokonaissäteilyenergia, sekä muunnoskerroin F_{suunta} tarkempaa paneelien suuntauslaskentaa varten. Tätä laskentaa varten valitaan esimerkkinä $G_{aur,hor}$ arvoksi säävyöhyke 3 Jyväskylä, jonka koko vuoden säteilyenergiaksi vaakatasolle on annettu arvo 890 kWh/m². [22, s.31.]

F_{asento} määritetään laskentaa varten käyttämällä F_1 -kertoimena aurinkopaneelien suuntausta itä-länsi, 0,8, sekä F_2 -kertoimeksi annetaan 30° - 70° asennuskulman arvon 1,2.

$$F_{asento} = F_1 \times F_2 = 0,96$$

Tällä tuloksella saadaan $G_{aur} = 890 \text{ kWh/m}^2 \times 0,96 = 854,4 \text{ kWh/m}^2$.

Seuraavaksi tarvittava arvo, P_{maks} , on paneelin oma piikkiteho, jonka paneelin valmistaja on mahdollisesti ilmoittanut, tai tämän puuttuessa tarvitsee vain perehtyä, minkälaisesta paneelista on kyse ja sen perusteella valita taulukosta 4 huipputehokerroin K_{maks} ja kertoa tämän kanssa paneelin pinta-ala. Tässä laskennassa valmistaja oli ilmoittanut standardiolosuhteissa paneelin tuottamaksi maksimitehoksi $P_{\text{maks}} = 245 \text{ W}$.

Seuraavaksi tarvittava $F_{\text{käyttö}}$ lasketaan arvioimalla koko vuoden keskiarvo varjostukselle, joka kohdistuu aurinkopaneelille. Tämän arvioiminen voi olla vaikeata riippuen rakennuskohteeseen osuvista ympäristön luomista varjoista ja parhain tulos saataisiin kun paneeleille ei kohdistu lainkaan varjoja. Arvioidaan tätä laskentaa varten, että rakennuskohteen viereinen metsä luo jonkin verran varjostumaa ja koko vuodelle varjostumaa olisi 15 %. Paneelin pinta-ala, $A_{\text{kenno}} = 1,26 \text{ m}^2$.

$$F_{\text{käyttö}} = (1 - A_{\text{varjostus}} / A_{\text{kenno}}) = (1 - (0,15 \times 1,26 \text{ m}^2) / 1,26 \text{ m}^2)$$

$$F_{\text{käyttö}} = 1 - 0,15 = 0,85$$

Viimeinen tarvittava arvo, I_{ref} , on standardiolosuhteissa annettu säteilyn voimakkuus kirkkaana päivänä, joka on 1 kW/m^2 . Tällä saadaan nyt laskettua yhden paneelin tuotto yhdelle vuodelle.

$$W_{\text{pv}} = (G_{\text{aur}} \times P_{\text{maks}} \times F_{\text{käyttö}}) / I_{\text{ref}}$$

$$W_{\text{pv}} = (854,4 \text{ kWh/m}^2 \times 0,245 \text{ kW} \times 0,85) / 1 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{\text{pv}} = 177,9288 \text{ kWh/a}$$

Riippuen paneeliston koosta voidaan P_{maks} arvoa muokata suuremmaksi paneelien määrän mukaan ja saada koko järjestelmän tuotto arvioitua koko vuodelle. Koska yhden paneelin tuotto on 245 W ja pohjakulutuksen määrä arviolta 2 kW saadaan jakolaskulla arvioitua tarpeeksi 8 paneelin luokkaa. Tässä pitää ottaa vielä huomioon varjostuma, joka tässä tapauksessa oli 15 % paneelien pinta-alasta sekä invertterin hyötysuhde ja mitoittaa järjestelmä tämän mukaan. Sopivaksi invertteriksi voidaan valita esimerkiksi Victor Phoenix 2000 -malli, jonka hyötysuhde on 92 %. Lopullinen tarvittavien paneelien määrä nousee siis 10 paneeliin. Näin saadaan karkea arvio vuotuiselle

sähkötuotolle, joka on $W_{pv} = 1779,288$ kWh/a, ja riippuen sähkön hinnan kurssista myös arvio säästöille ja takaisinmaksuajoille, kun tiedetään järjestelmän lopullinen hinta.

7 Rakennuskohteita aurinkosähkölle

Aurinkosähköjärjestelmän voi asentaa melkein mihin tahansa rakennuskohteeseen, niin uudisrakennukseen kuin saneerattavaan rakennuskohteeseen. Kun aluksi tehdään tarveselvitys, saadaan kartoitettua rakennuskohde ja sen tuomat haasteet järjestelmälle. Tässä vaiheessa voidaan ympäristön luoman suuren varjostuksen tai paneelien asennustilan puutteen takia todeta, onko järjestelmän rakentamisesta tarpeeksi suurta hyötyä ja kustantaisiko järjestelmä täten itseään takaisin järkevässä ajassa. Jos tarvittavat tilat löytyvät järjestelmän asentamiselle ja auringonpaiste on taattu, voidaan järjestelmä toteuttaa.

Parhaimpia rakennuskohteita ovat auringon liikumissuunnan mukaisesti etelän ja lounaan suuntaan avoimet sijainnit, joissa riittää tarpeeksi pinta-alaa paneelien asennuksille rakennuksen tarpeisiin. Rakennuskohteen kulutuksen piikki olisi hyvä ajoittua keskipäivän tienoille, jolloin aurinko on korkeimmillaan ja samoin sähköntuotto. Tällaisia hyviä esimerkkejä olisivat esimerkiksi isot hallirakennukset, joiden sisällä tarvitaan päivällä valaistusta ja jäähdytystä, ja laakean kattonsa ansiosta paneelien asentaminen kävisi helposti. Toinen esimerkki on kauppakeskukset, koska asiakkaita on yleisesti liikkeellä juuri päivällä, kun kaupat ovat auki ja aurinko lämmittää rakennuksen sisälämpötilaa ja nostaa kylmälaitteiden jäähdytykseen vaadittavaa tehoa.

Pienet asuntokohteet, kuten omakotitalot, voivat rajoittaa aurinkosähköjärjestelmänsä saatua sähkötehoa kattonsa suuntauksella, mutta ratkaisu olisi silti ekologisesti käytännöllinen. Parempiin tuloksiin päästään esimerkiksi isompien kiinteistöjen, kuten kerrostalojen, katoilla. Kun rakennuksen pohjakulutuksen saa selvitettyä laskennassa, voidaan arvioida paneelien määrä tämän tarpeen täyttämiseen ja samalla myös invertteri. Näin tuotettu sähkö saadaan aina kulutettua täysin rakennuksen tarpeita ajatellen ja ostosähkön määrä vähenee. Tällainen järjestelmä voi koostaan riippuen teoreettisesti maksaa itsensä takaisin parin vuosikymmenen sisällä.

Yleensä asuntokohteissa on kulutuksen piikki ajallisesti eri kohdassa, kuin tuotannon piikki, koska ihmiset ovat poissa kotoaan, esimerkiksi töissä. Tämä voi mahdollisesti rajoittaa tuotantopiikin tarvetta, jos sähköä ei saada kulumaan, mutta tähän löytyisi ratkaisuna akuston rakentaminen. Akkuteknologian ollessa vielä epäkäytännöllistä näissä tilanteissa kustannuksensa takia, ei tällaista järjestelmää kannata rakentaa. Asiaa on kuitenkin ajateltu ja yhdeksi edulliseksi ratkaisuksi tulisi esimerkiksi sähköautojen kuluneiden akkujen käyttö varastointia varten. Sähköautojen akut vaihdetaan autoista, kun niiden varaustaso laskee 20 % niiden alkuperäisestä tasosta. Lisäksi sähköautojen kasvava lukumäärä voisi mahdollisesti jatkossa taata akkujen edullisemmän saannin. [23.]

8 Pohdintaa

Aloitin työskentelyni sähkösuunnittelussa Hepacon Oy:llä syksyllä 2016, jolloin minulla puuttui opinnoistani vain insinööriyö. Kysyin opinnäytetyön aiheita ja minulle annettiin vaihtoehtoja, joista yksi käsitteli aurinkosähköjärjestelmää. Olin aikaisemmin ollut kiinnostunut ainakin tuulivoimasta ja sen tuotannosta, mutta aurinkopaneelijärjestelmät olivat myös käyneet mielessäni, joten päätin valita tämän aiheen. En ollut aikaisemmin opiskellut aiheesta paljoa, joten ajattelin tämän olevan hyvä hetki uuden oppimiselle.

Alkuun keräsin ajatuskartalle entuudestaan tuttuja tietoja sekä ideoita opinnäytetyön etenemiselle, josta lähdin rajaamaan käsiteltävää aluetta tiettyyn suuntaan. Sain lisää tietoa ja vinkkejä työtovereiltani opinnäytetyöni sisällöksi ja tutkin näitä rajaten aiheita osastopäällikköni kanssa tarkempiin rajoihin. Katsoin myös muiden ihmisten opinnäytetöitä, mutta päätin lopuksi lähteä etenemään aiheessa saamieni tietojen perusteella suuntaan, josta olisi eniten hyötyä yritykselleni, jossa olen töissä. Halusin edetä työssä järjestelmällisesti ensin käyden läpi yksittäisen paneelin toimintaa ja edetä tästä kuvaamaan kokonaista järjestelmää, jonka jälkeen suunnitteluvaiheiden portaistukseen sekä suunnittelulle tarpeellisten tietojen keräämiseen. Sain myös yrityksen energiasuunnittelijalta vinkin laskentapuolen läpikäymiseen ja tein esimerkkilaskelman tämän perusteella, johon tyypitin omakotitaloa varten sopivan paneelin ja invertterin. Laskennan tuloksena saatiin järjestelmälle arvioitua vuotuinen tuotto, jota voidaan käyttää laskettaessa järjestelmän takaisinmaksuaikaa, kun tiedetään sähkön hinta ja järjestelmän lopullinen hinta.

Työskentelyni ohella sain käsiini aurinkosähköjärjestelmiä koskevan SFS-käsikirja 607:n. Kirjassa löytyy ohjeita aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua varten sekä standardeja koskien dokumentaatiota, mittauksia ja datansiirtoa, teknisiä vaatimuksia järjestelmälle sekä muuta tärkeää tietoa aurinkosähköjärjestelmän yleissuunnittelua varten. Käsikirja osoittautuu hyväksi työkaluksi suunnittelijoille, mutta suunnitteluprosessi tarvitsi vielä mielestäni jonkinlaisen portaistetun järjestyksen, missä tämä tulisi eteneämään. Päädyin tutkimaan TATE12 tehtävluetteloa ja totesin tämän olevan hyödyllinen kyseiseen tehtävään. Osastopäällikköni kanssa kävimme läpi, mitä missäkin suunnitteluvaiheessa tehdään ja kuinka suunnittelu etenisi näissä portaissa.

Tukeakseni opinnäytetyötäni selasin uutisartikkeleita, jotka koskivat käsiteltävää aihepiiriä ja sain myös hyviä ideoita näiden perusteella. Käytin myös internetlähteinä erinäisiä verkkosivustoja, jotka koskivat aihealuetta.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia aurinkosähköjärjestelmää kokonaisuutena, etsiä tietoa sen toiminnasta sekä etsiä tällaisen järjestelmän suunnittelua varten avustavia tietoja ja tietolähteitä. Tuloksena tässä työssä päädyttiin siihen, että järjestelmää suunniteltaessa kannattaa konsultointiyrityksen jakaa suunnittelutehtävät TATE12 tehtävluettelon mukaiseen järjestykseen, käyttää SFS käsikirja 607:n tietoja suunnittelun tukena ja tehdä alustavat sekä tarkemmat laskennat käyttäen rakennusmääräyskokoelman osia D5 ja D3. Suunnitteluprosessissa tulisi suunnittelijan alkuun arvioida paneelien tarve, tehdä karkeat tilavaraukset ja kartoittaa vaihtoehtoja järjestelmän toteutukseen. Tästä edettäisiin alustavan järjestelmäkaavion, maadoituskaavion ja pistekuvien suunnitteluun. Ajallaan, kun tietoja saadaan lisää, suunnitelmien puuttuvia tietoja täydennettäisiin ja lopuksi toteutukseen meneviin suunnitelmiin tehdään viimeiset muutokset, laitteiden tyyppitykset sekä tasokuvien johdotukset. Tasokuvien, työselityksen, maadoituskaavion ja järjestelmäkaavioiden lisäksi tehdään muutokset myös muihin suunnitelmiin, joihin järjestelmä vaikuttaa, kuten keskuskaaviot.

Uskon saavuttaneeni työn tavoitteet ja tiedän nyt, mistä voin jatkossa saada tarvittavia tietoja järjestelmän suunnittelua varten. Opin tämän insinööriyden avulla aurinkosähköjärjestelmästä paljon ja jatkossa pyrin edistämään suunnittelua Hepacon Oy:llä tuottamalla yritykselle suunnitteluohjeistuksen tämän työn pohjalta.

Lähteet

- 1 Aurinkoenergian tilastot. 2017. Verkkodokumentti. Aalto-yliopisto.
<<http://www.finsolar.net/aurinkoenergia/aurinkoenergian-tilastot/>> Luettu 9.5.2017
- 2 Finsolar: Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. 2016. Verkkodokumentti. Aalto-yliopisto, Kauppakorkeakoulu, Johtamisen laitos.
<<https://aaltdoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20264/isbn9789526067674.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Luettu 16.3.2017
- 3 Finlandia-talo siirtyy aurinkosähköön ensimmäisten kongressitalojen joukossa Euroopassa. 2016. Verkkodokumentti. KL-Kustannus Oy.
<<http://kuntatekniikka.fi/2016/10/18/finlandia-talo-siirtyy-aurinkosahkoon-ensimmaisten-kongressitalojen-joukossa-euroopassa/>> Luettu 1.11.2016
- 4 Laita taloosi aurinkopaneeli ja ala myydä sähköä. 2016. Verkkodokumentti. Yle.
<<http://yle.fi/uutiset/3-9462022>> Luettu 15.3.2017
- 5 Suntekno Oy:n verkkosivut. 2017. Verkkodokumentti. Suntekno Oy.
<<http://suntekno.bonsait.fi/fi/page/36>> Luettu 20.3.2017
- 6 D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto.
- 7 Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho> Luettu 6.5.2017
- 8 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma> Luettu 19.3.2017
- 9 Avitor Sähkö Oy:n verkkosivut. 2017. Verkkodokumentti. Avitor Sähkö Oy.
<<http://www.avitor.fi/aurinkosahko.html>> Luettu 19.3.2017
- 10 Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma> Luettu 19.3.2017
- 11 Aurinkosähköjärjestelmät, 2015. SFS-käsikirja 607. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

- 12 Eurosolar Oy:n verkkosivut. 2017. Verkkodokumentti. Eurosolar Oy. <<http://www.eurosolar.fi/muuttajat/>> Luettu 7.5.2017
- 13 Panasonic HIT aurinkopaneeli. 2017. Verkkodokumentti. Panasonic Electric Works Europe AG. <<http://www.panasonic.com/global/corporate/technology-design/technology/hit.html>> Luettu 7.5.2017
- 14 Virte Solar Oy:n verkkosivut. 2017. Verkkodokumentti. Virte Solar Oy. <<http://www.virtesolar.fi/>> Luettu 7.5.2017
- 15 Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE12. 2013. Rakennustieto Oy.
- 16 SFS 6000-7-712. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-712: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Valosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät. 2012. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 17 Sähköasennusstandardi SFS 6000 yleisellä lausunnolla. 2017. Verkkodokumentti. Sesko ry. <http://www.sesko.fi/viestit_ja_vinkit/sahkoasennusstandardi_sfs_6000_yleisella_lausunnolla.1367.news?605_o=5> Luettu 1.5.2017
- 18 SFS-EN 62446. Sähköverkkoon kytketyt valosähköiset järjestelmät. Minimivaatimukset järjestelmän dokumentaatiolle, käyttöönototesteille ja tarkastuksille. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 19 Aurinko paistaa kukkaroon – yksityinenkin voi myydä aurinkopaneelinsa tuottamaa sähköä. 2017. Verkkodokumentti. Yle. <<http://yle.fi/uutiset/3-9466662>> Luettu 20.2.2017
- 20 Sähköverkkoon kytketty omakotitalo – vaihtosähkö. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/jarjestelman_kannattavuus/sahkoverkkoon_kytetty_omakotitalo_vaihtosahko> Luettu 19.3.2017
- 21 Panasonic HIT N245 aurinkosähköpaneeli. Verkkodokumentti. Panasonic Electric Works Europe AG.<<https://eu-solar.panasonic.net/en/solar-panel-vbhn240sj25-vbhn245sj25.htm>> Luettu 27.3.2017
- 22 D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto.
- 23 Käytetyille sähköautojen akuille löytyi uutta käyttöä – varastoivat kotien aurinkosähköä. 2017. Verkkodokumentti. Yle. <<http://yle.fi/uutiset/3-9586097>> Luettu 3.5.2017