

Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2023

Kristian Aarola

# Keskikokoisen aurinkovoimalan hankinta



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2023 | 55 sivua

Kristian Aarola

## Keskikokoisen aurinkovoimalan hankinta

Ilmastonmuutoksen sekä vallitsevan epävakaa energiamarkkinatilanteen vuoksi yritykset joutuvat pohtimaan omia energialähteitään. Aurinkoenergia on monille yrityksille varteenotettava vaihtoehto uusiutuvaksi energianlähteeksi yrityksen koosta riippumatta. Yritysten on kuitenkin haastavaa arvioida aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta ilman oikeanlaista tietopohjaa.

Toimeksiantona oli selvittää, mitä kaikkea kapasiteetiltaan satojen kilowattien suuruisen sähköverkkoon kytketyn aurinkovoimalan hankearviossa tulee huomioida. Opinnäytetyön tavoitteena on helpottaa hankearvion tekemistä, kun tarvittava tieto löytyy yhdestä dokumentista. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi sähkö- ja automaatioalalla toimiva Power Instruments Oy.

Työn lopputuloksena testattiin dokumentin sisällön paikkansapitävyyttä onnistuneesti tekemällä selvitystyön pohjalta hankearvio 3D-simuloinnin avulla.

Opinnäytetyö koostuu teoria- sekä hankearvio-osasta. Työhön vaadittu aineisto kerättiin aurinkoenergia-alan kirjallisuudesta, tutkimuksista, raporteista sekä internet-sivuilta. Hankearvion toteutusta varten olosuhteet käytiin tarkistamassa paikan päällä. Hankearviossa simuloitiin aurinkosähköjärjestelmä 3D-mallinnuksen avulla. Simuloinnin avulla aurinkosähköjärjestelmän taloudelliset tunnusluvut selvitettiin ja niiden avulla järjestelmän kannattavuutta arvioitiin.

Asiasanat:

aurinkoenergia, aurinkovoimala, aurinkosähkö, hankesuunnittelu, hankearvio

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and Environmental Engineering

2023 | 55 pages

Kristian Aarola

## The acquisition of a medium-sized solar power plant

Climate change and the ongoing unstable energy market situation force companies to consider their energy sources. Solar energy is a renewable energy option to consider for companies regardless of the size of the company. It can be challenging for companies to consider the profitability of solar energy system without having proper knowledge on the topic.

The commission of the thesis was to map required information for making a project assessment of on-grid solar power system that has a capacity of several hundred kilowatts. The goal of the project was to make the project assessment more efficient when the required information can be found in one document. The commissioner of this thesis was Power Instruments Oy, a company operating in the electricity and automation sector.

As a result of the work, the content of the document was successfully tested by carrying out a project assessment based on the study using 3D simulation.

The thesis consists of both theory and project assessment sections. The required information was gathered from literature, research, reports and websites from the field of solar energy. The conditions for the possible solar power system placement of the project assessment were inspected on-site. The project assessment was made by simulating a 3D-model of the solar power system. Financial keyfigures were obtained from the simulation and used in the analysis of the profitability of the PV-system.

Keywords:

solar energy, PV system, solar power, project planning, project assessment

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>8</b>
1.1 Tutkimuksen vaiheet ja menetelmät	8
1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja Power Instruments Oy	9
<b>2 Aurinkosähköjärjestelmä</b>	<b>10</b>
2.1 Aurinko energianlähteenä	10
2.2 Aurinkoenergia Suomessa	11
2.3 Aurinkosähköjärjestelmän rakenne	12
2.4 Aurinkokennon toimintaperiaate	13
2.5 Aurinkopaneelin rakenne ja toiminta	15
2.6 Yleisimmät aurinkopaneelityypit	17
2.7 Aurinkopaneelien suuntaus	18
2.8 Varjostusten huomiointi	20
2.9 Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus	22
2.10 Aurinkosähköjärjestelmän asennus	24
2.10.1 Kattoasennukset	25
2.10.2 Maa-asennukset	28
2.11 Aurinkosähköjärjestelmän huolto ja ylläpito	28
<b>3 Viranomaisvaatimukset ja taloudellinen näkökulma</b>	<b>32</b>
3.1 Lupavaatimukset	32
3.1.1 Keskikokoiset aurinkovoimalat ja kotitalouskäyttö	32
3.1.2 Teollisen kokoluokan aurinkovoimalat	33
3.1.3 Lupahakemusten käsittelyajat sekä yhteenveto	34
3.2 Turvallisuusvaatimukset	35
3.3 Business Finland Oy:n myöntämä energiatuki	36
3.4 Energiantuotannon verotus	37
3.5 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden arviointi	38
<b>4 Aurinkosähköjärjestelmän hankearvio teollisuuskiinteistöön</b>	<b>40</b>

4.1 Simuloinnin lähtökohdat	40
4.2 Aurinkosähköjärjestelmän simulointi	42
4.3 Järjestelmän tuotanto	43
4.4 Järjestelmän kannattavuus	45
4.5 Simulointi vaihtoehtoisilla sähkön hinnoilla	46
4.6 Järjestelmää varten tarvittavat luvat	47
4.7 Parannusehdotuksia aurinkovoimalan kannattavuuteen	48
<b>5 Yhteenveto</b>	<b>50</b>
<b>Lähteet</b>	<b>51</b>

## Kuvat

Kuva 1: Keskimääräinen vuosittainen säteily määrä Suomessa (Ilmatieteen laitos & Yle 2015).	12
Kuva 2: On-grid järjestelmän yksinkertaistettu rakenne. (Lehto ym. 2017, 44)	13
Kuva 3: Aurinkokennon rakenne (Mertens 2014, 70)	15
Kuva 4: Tyypillinen aurinkopaneelin rakenne (Aurinkomaailma n.d.).	16
Kuva 5: Aurinkopaneelien suuntauksen sekä kallistuksen vaikutus niihin saapuvaan säteily määrään. Taulukko pätee Helsingin alueella. (Perälä 2016, 27.)	19
Kuva 6: Havainnollistava kuva itsetuotetun sähkön omakäytöstä sekä myynnistä. (Motiva 2022c.)	23
Kuva 7: Eri kokoisten aurinkosähköjärjestelmien hinta asennettua kWp kohti (SYKE 2020).	24
Kuva 8: Aurinkopaneelin oikeaoppinen kiinnitystapa telineeseen (Finnwind Oy 2013).	25
Kuva 9: Erityyppisiä kelluvia asennusratkaisuja. (Finnwind Oy 2013)	26

Kuva 10: Bitumikatolle tehty kelluva painoperustainen aurinkopaneelien asennus FS-M -asennusjärjestelmällä (Finnwind Oy 2023).	27
Kuva 11: Simuloinnissa käytetyn string-invertteri -järjestelmän yksinkertaistettu rakenne (Čorba ym. 2012, 162)	40
Kuva 12: Ilmakuva teollisuuskiinteistöihin mallinnetusta aurinkopaneelijärjestelmästä.	42
Kuva 13: Itse käytetyn aurinkoenergian osuus kuukausittaisesta sähkönkulutuksesta (kWh).	44
Kuva 14: Aurinkoenergian käyttö ja myynti sekä sähköverkosta ostettavan energian määrä (kWh).	45
Kuva 15: Aurinkosähköjärjestelmän kassavirta 30 vuoden ajanjaksolla.	46
Kuva 16: Aurinkosähköjärjestelmän vaihtoehtoinen kassavirta 30 vuoden ajanjaksolla.	47

## **Taulukot**

Taulukko 1. Yhteenveto aurinkovoimaloiden vaatimista luvista ja hallinnollisista käsittelyistä (ELY-keskus 2022a).	34
--	----

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

AC	Vaihtovirta
DC	Tasavirta
kVA	Kilovolttiampeeri, näennäistehon yksikkö
kW	Kilowatti, sähkötehon yksikkö
W <sub>p</sub>	Aurinkosähköjärjestelmissä käytetty nimellistehon yksikkö

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutos sekä vallitseva energiemarkkinatilanne ajavat yritykset miettimään uusiutuvien energianlähteiden ja erityisesti aurinkoenergian käytön mahdollisuutta omassa toiminnassaan. Yksittäisen yrityksen saattaa kuitenkin olla vaikea arvioida aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuutta ilman oikeanlaista tietopohjaa.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, mitkä asiat on huomioitava, kun teollisen kokoluokan aurinkovoimalan rakentamisen kannattavuutta kohteeseen arvioidaan. Opinnäytetyössä käsitellään aurinkosähköjärjestelmän hankearvion toteuttamisen kannalta tarvittavat asiakokonaisuudet. Työn tavoitteena on luoda suurilta osin yleispätevä tietopaketti teollisen kokoluokan aurinkosähköjärjestelmien hankearvion toteuttamiseen.

Opinnäytetyössä tehdään myös hankearvio Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevan teollisuusyrityksen kiinteistöjen katoille sijoitettavasta satojen kilowattien suuruisesta aurinkovoimalasta simuloinnin avulla. Tässä työssä selvitettyjä asioita käytetään hankearvion toteutuksen pohjana.

## 1.1 Tutkimuksen vaiheet ja menetelmät

Työn teoriaosa on tehty selvitystyönä, joka on koottu aurinkoenergia-alan kirjallisuudesta, tutkimuksista sekä muista kirjallisista lähteistä. Selvitystyön tuloksena on teollisen kokoluokan aurinkovoimalan hankearvioon vaadittavat asiakokonaisuudet. Opinnäytetyön teoriaosaa hyödynnetään työn loppupuolella olevassa teollisen kokoluokan aurinkovoimalan hankearvion tekemisessä.

Hankearvio toteutetaan mallintamalla teollisuuskiinteistö PV\*sol -ohjelmaan, jossa kiinteistölle luodaan kiinteistön mittojen mukainen 3D-malli. Kiinteistön katolle suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmä, jonka tuotantoennuste on simuloinnin tulos. Tuloksena saadaan myös järjestelmän taloudellisia tunnuslukuja, joiden avulla järjestelmän kannattavuutta voidaan tarkastella.

Simuloinnissa hyödynnetään alueen paikallista säteilymäärää (kWh/m<sup>2</sup>) sekä varjostusanalyysiä mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi. Hankearvion toteuttamisella varmistetaan samalla opinnäytetyön sisällön toimivuus hankearvion tekemisessä.

## 1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja Power Instruments Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Power Instruments Oy. Yritys sijaitsee Porissa ja sillä on toimintaa Satakunnan lisäksi myös muualla. Power Instruments Oy on sähkö- ja automaatioalan PK-yritys, joka tarjoaa teollisuusalan asiakkailleen muun muassa automaatiojärjestelmiä, joiden avulla tehtaiden tuotantoa pystytään kasvattamaan sekä seuraamaan tarkasti. (Power Instruments 2023.)

## 2 Aurinkosähköjärjestelmä

### 2.1 Aurinko energianlähteenä

Valtaosa ihmiskunnan käyttämästä energiasta on alun perin peräisin auringosta. Aurinko mahdollistaa maapallon fysikaaliset ja biologiset ilmiöt, kuten veden kierron, tuulet sekä biomassan kasvun. Auringon säteilemä vuotuinen energiamäärä maapallolle vastaa yli 6000-kertaisesti vuoden 2017 energiankulutusta. (Perälä 2017, 7–8.)

Ilmastonmuutoksen torjuminen ja fossiilisesta energiasta pois siirtyminen pakottavat yhteiskunnan muuttamaan energiantuotantotapojaan vähäpäästöisemmiksi. Uusiutuvien energialähteiden käyttö lisääntyy maailmalla nopeasti. Yksi potentiaalisimmista uusiutuvan energian tuotantotavoista on aurinkovoima. (United Nations, n.d.)

Ensimmäiset aurinkopaneelit kehitettiin jo vuonna 1954, mutta niiden hyötysuhde oli matala ja hinta liian korkea käytön yleistymiselle. Aurinkopaneeleita käytettiin vain erikoistapauksissa, kuten satelliiteissa. (Mertens 2014, 16–17, 20.) Viime vuosina paneelit ovat kuitenkin kehittyneet vauhdilla, niiden hintataso on laskenut reilusti, ja aurinkopaneelien asennustahti on moninkertaistunut muutamien vuosien aikana (LUT 2022).

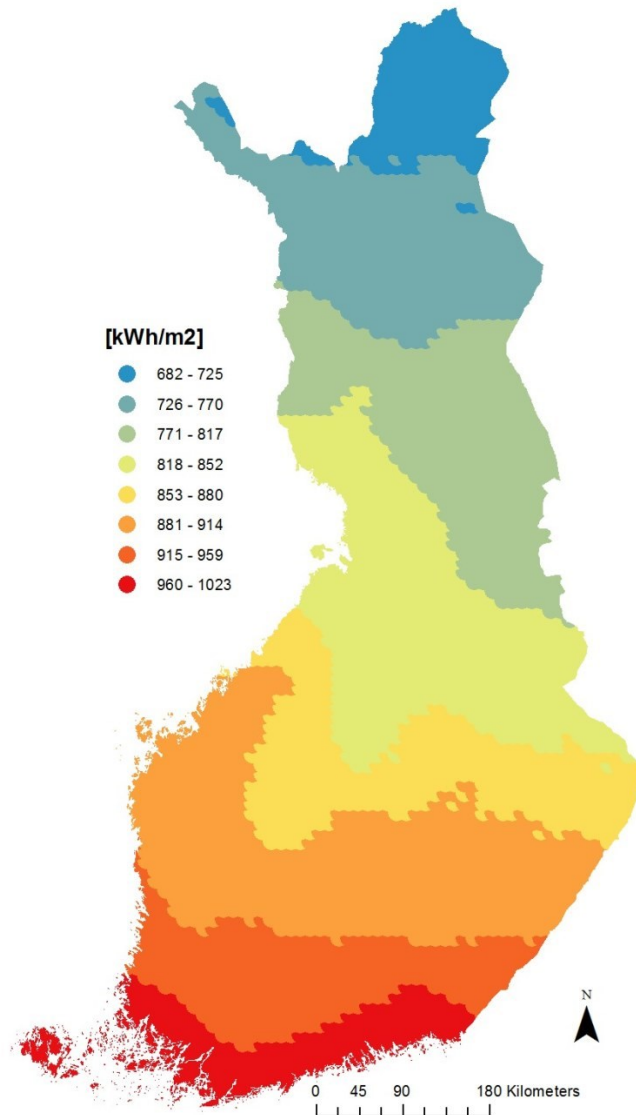
Auringon säteilyenergia saapuu maahan kahdessa eri muodossa: suorana säteilyinä sekä hajasäteilyinä. Suora säteily on kirjaimellisesti auringosta tulevaa säteilyä, joka tulee sellaisenaan maan pinnalle. Hajasäteily on erilaisten tekijöiden, kuten pilvien, aiheuttamaa säteilyn hajontaa. Hajasäteilyn sekä suoran säteilyn määrä on riippuvainen säätilasta sekä alueen maantieteellisestä sijainnista. Lähempänä päiväntasaajaa suoran säteilyn määrä kasvaa suhteessa hajasäteilyn määrään. (Mertens 2014, 24–25.)

## 2.2 Aurinkoenergia Suomessa

Etelä-Suomeen saapuvasta auringonvalosta jopa puolet on hajasäteilyä ja loput suoraa säteilyä. Säteilyn tyyppi ei kuitenkaan vaikuta aurinkopaneelien tuotantoon merkittävästi. Hajasäteilyn suuri osuus vaikuttaa kuitenkin aurinkovoimalan suunnitteluun. Sähkön tuotanto on Suomen olosuhteissa keskittynyt vahvasti kesäkuukausiin, kun taas talvella aurinkosähkön tuotanto on vähäistä. (Motiva 2022a.)

Eteläisessä Suomessa auringon vaakasuoralle pinnalle säteilemä energiamäärä vastaa Pohjois-Saksan lukemia. Suomen pohjoisemmissa osissa vuotuinen saatavilla oleva energia laskee verrattuna eteläisiin kaupunkeihin. Sodankylässä vuotuinen säteily ( $790 \text{ kWh/m}^2$ ) on noin 20% pienempi kuin Helsingissä ( $980 \text{ kWh/m}^2$ ). Tuottavuutta pystytään kuitenkin lisäämään merkittävästi suuntaamalla paneelit kohti aurinkoa vaakasuoran asennuksen sijaan. (Motiva 2022a.) Ilmatieteenlaitoksen tuottamassa kuvassa 1 on merkittynä pitkän ajan keskimääräisiä säteilymääriä eri puolilla Suomea.

### Average global radiation at period 1981-2010

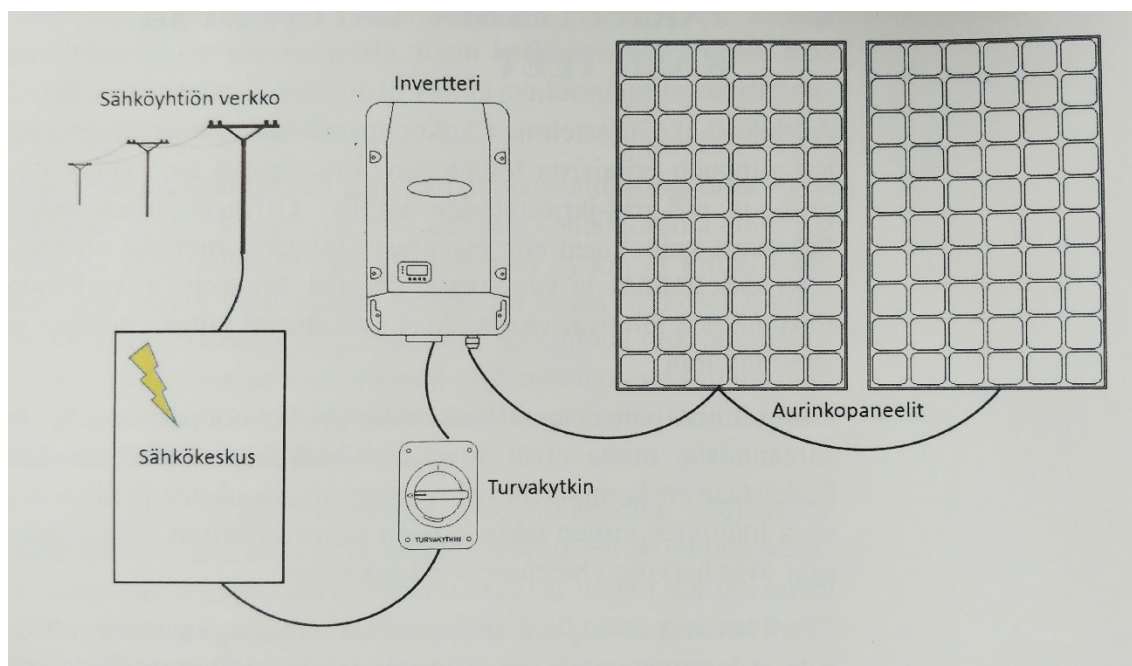


Kuva 1: Keskimääräinen vuosittainen säteily määrä Suomessa (Ilmatieteen laitos & Yle 2015).

### 2.3 Aurinkosähköjärjestelmän rakenne

Sähköverkkoon kytketyn (on-grid) aurinkovoimalan pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, aurinkopaneelilinjat sekä sähköverkkoon kytketty invertteri eli vaihtosuuntaaja. Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, joka täytyy muuntaa vaihtosähköksi invertterin avulla. Invertterin tuottaman vaihtosähkön tulee

vastata sähkönjakeluverkon vaatimia standardeja. (Lehto ym. 2017, 43–44.)  
Kuvassa 2 on esitetty on-grid järjestelmän rakenne.



Kuva 2: On-grid järjestelmän yksinkertaistettu rakenne. (Lehto ym. 2017, 44)

## 2.4 Aurinkokennon toimintaperiaate

Aurinkokennot tuottavat sähköenergiaa auringon säteilyenergiasta. Auringon säteily koostuu fotoneista, fotonit vapauttavat elektroneja puolijohdemateriaalista osuessaan siihen. Ilmiötä, jossa säteily irrottaa elektroneja, kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. (Motiva 2022e.)

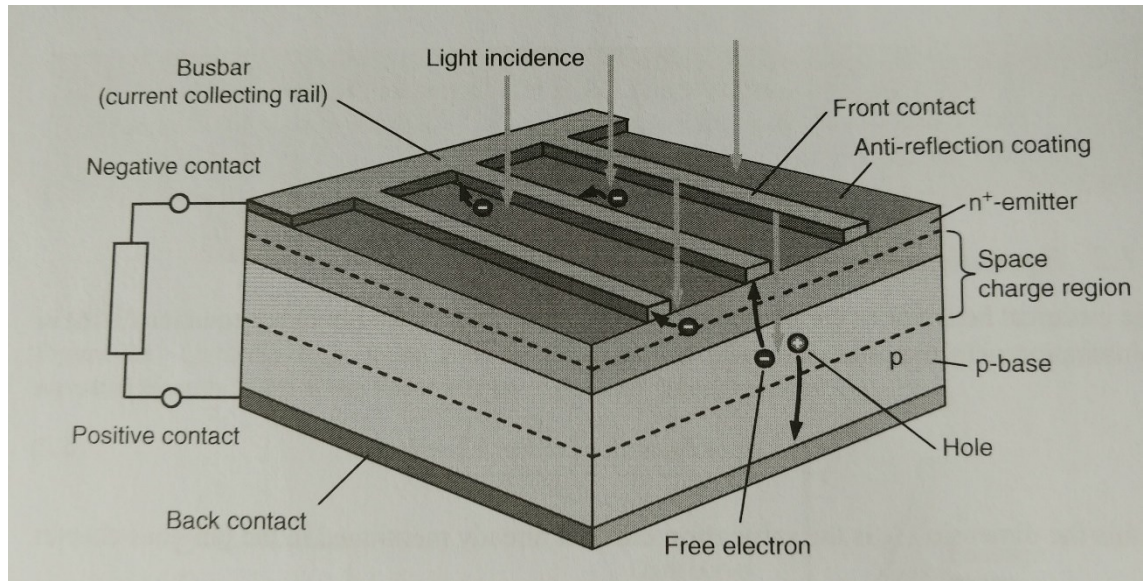
Tyypillisesti aurinkokennot on tehty puolijohteesta, piistä, johon on seostettu esimerkiksi booria. Boorin seostamisella saadaan muodostettua ylimääräisiä elektroniaukkoja puolijohteeseen. Elektroniaukot määrittävät positiivisen varauksen omaaviksi ja siksi boorilla seostetusta puolijohteesta käytetään nimitystä "P-tyyppinen puolijohde". (Perälä 2017, 30, 33–34.)

Piitä seostetaan myös käyttämällä esimerkiksi fosforia, fosforin seostaminen piin sekaan muodostaa seokseen ylimääräisiä elektroneja. Elektronit määrittävät negatiivisesti varautuneiksi ja siksi fosforilla seostetusta

puolijohdeesta käytetään nimitystä ”N-tyyppinen puolijohde”. Aurinkokennot muodostuvat P-tyyppisestä puolijohdeesta, jonka aurinkoon päin osoittava pinta on erittäin ohuesti seostettu fosforilla tehden siitä N-tyyppisen puolijohteen. (Perälä 2017, 34.)

Aurinkokennoissa P- ja N-tyypin puolijohdeet asetetaan vierekkäin. Tällöin N-tyypin puolijohdeessa olevat ylimääräiset elektronit kulkeutuvat P-tyypin puolijohdeessa oleviin ylimääräisiin elektroniaukkoihin. Elektronien kulkeuduttua N-tyypin puolijohdeesta P-tyypin puolijohdeeseen, syntyy N-puolelle positiivinen varaus ja P-puolelle negatiivinen varaus. Elektronit kuljettavat negatiivista varausta, jättäen jälkeensä elektroniaukkoja, jotka taas puolestaan toimivat positiivisen varauksen kuljettajina. Aurinkokennon sisälle syntyvässä sähkökentässä elektronit, jotka saavat energiaa säteilyenergian fotoneista, voivat liikkua vain P-puolelta N-puolelle. N-puolelta elektronit johdetaan ulkoisen virtapiirin kautta takaisin P-puolelle. (Motiva 2022e.)

Jotta ulkoinen virtapiiri saadaan luotua, on aurinkokennon taka- ja etupuolella kontaktipinnat, joiden kautta elektronien liike on mahdollista. Aurinkokennon etupuolen pinnassa on sähköä johtava johdinverkosto, josta virta saadaan johdettua kenno etupuolella olevaan kontaktipintaan. Johdinverkosto antaa kennoille tyyppillisen ruudukkomaisen ulkonäön. Pinnassa kulkevan johdinverkon suunnittelulla pyritään saavuttamaan mahdollisimman hyvä sähkönjohtavuus menettämättä tärkeää sähköntuotantopinta-alaa. (Mertens 2014, 69, 94.) Kuvassa 3 on esitettyä aurinkokennon poikkileikkaus.

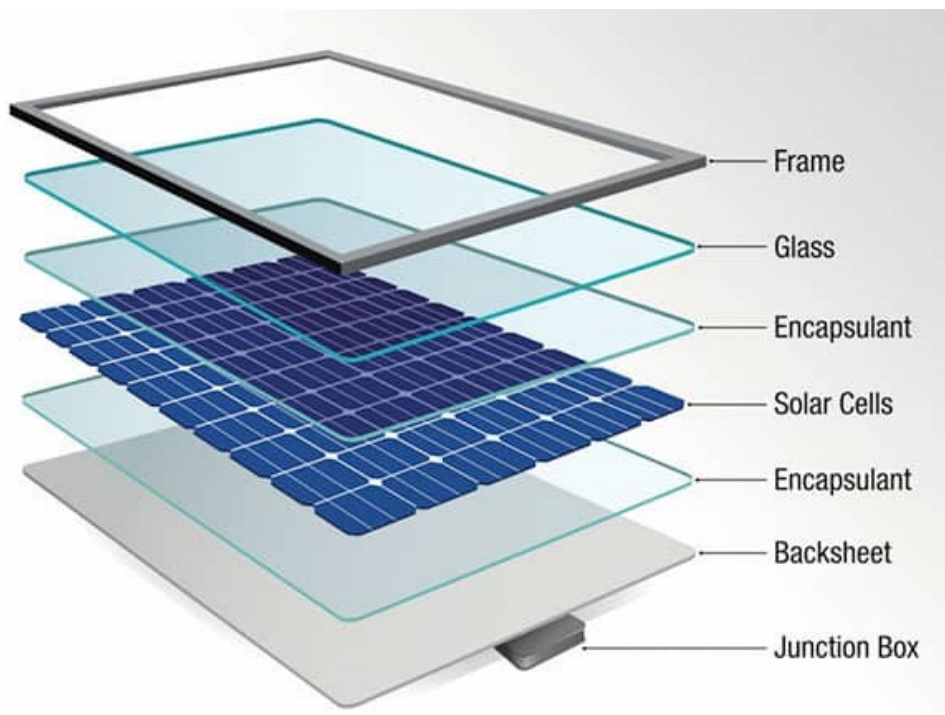


Kuva 3: Aurinkokennon rakenne (Mertens 2014, 70)

## 2.5 Aurinkopaneelin rakenne ja toiminta

Aurinkopaneelit koostuvat komponenteista, joita ovat aurinkokennot, suojalasi, alumiininen kehys, pohjalevy, eva-kalvo sekä liitinrasia. Suojalasi on tehty karkaistusta lasista, jonka paksuus on muutamia millimetrejä. Lasissa on käsittely, joka parantaa lasin valonläpäisevyyttä vähentämällä lasista pois heijastuvan valon määrää. Aurinkopaneelin pohjalevy on yleensä tehty komposiittimateriaalista. (Perälä 2017, 44.)

Eva-kalvo saa nimensä siinä käytetystä etyyli-vinyyli-asetaatista, joka mahdollistaa aurinkokennojen suojaamisen uv-säteilyltä. Toisiinsa kytketyt aurinkokennot suojataan eva-kalvon avulla vesitiiviiksi rakenteeksi. Tyypillisen aurinkopaneelin massa on noin kaksikymmentä kilogrammaa. (Perälä 2017, 44.) Kuvassa 4 on esitettyä tyypillinen aurinkopaneelin rakenne.



Kuva 4: Tyypillinen aurinkopaneelin rakenne (Aurinkomaailma n.d.).

Aurinkopaneelin kytkeminen aurinkovoimalan muihin osiin tehdään liitinrasiassa olevien liittimien avulla. Tyypillisesti paneelien kytkentään käytetään standardisoituja MC4-liittimiä. Myös ohitusdiodi on sijoitettu liitinrasiiaan. (Perälä 2017, 45.)

Aurinkopaneelin nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina ( $W_p$ ). Piikkiwattiarvot perustuvat aurinkopaneelin tuottamaan tehoon laboratorio-olosuhteissa. Piikkiwattiarvo kertoo aurinkopaneelin tuoton, kun paneelin lämpötila on  $25\text{ °C}$  ja kennolle tuleva säteily määrä on  $1000\text{ W/m}^2$ . Nyrkkisääntönä voidaan pitää noin  $800 - 1000\text{ kWh}$  vuotuista tuotantoa, jos asennettu aurinkopaneelikapasiteetti on  $1\text{ kW}_p$  Etelä-Suomen olosuhteissa. (Motiva 2022d.)

Aurinkopaneelien hyötysuhde heikkenee lämpötilan kasvaessa. Järjestelmän todellinen tuotantoteho eroaa niille annetusta nimellistehosta lämpötilan mukaan. Huonosti tuulettuvalla asennuspaikalla lämpötila voi nousta useita kymmeniä celsiusasteita korkeammaksi kuin nimellistehon määrittelyssä

käytetty lämpötila. Muutaman asteen nousu testiarvojen yläpuolelle vähentää paneelin tuottoa jo yhden prosentin verran. Helposti kuumenevissa asennuspaikoissa paneelien tuotto voi pudota lähes kolmanneksella laboratorio-olosuhteisiin nähden. Aurinkopaneelien tuottoon vaikuttaa myös aurinkopaneelien ikä. Sähkön tuotanto laskee joka vuosi noin 0,5 %. (Lehto ym. 2017, 22, 63.)

Yksi- ja monikiteisen piistä valmistetun yksittäisen aurinkokennon jännite on noin 0,6 V. Kennot kytketään sarjaan, jotta aurinkopaneeli saavuttaa halutun jännitetason. Tyypillisesti paneelit tuottavat noin 20 V jännitetason. Aurinkopaneeleita on kuitenkin myös huomattavasti suuremmilla jännitetasoilla käyttötarkoituksesta riippuen. (Perälä 2017, 44–46.)

Aurinkokennot kytketään sarjaan halutun jännitetason aikaansaamiseksi aurinkopaneeliin. Osittainen varjostus sarjaan kytketyissä kennoissa aiheuttaa suuren vähenemisen sähköntuotantoon. Osittain varjostunut kenno määrittää lähes koko kytkennässä olevien kennojen virran. Aurinkopaneeleissa käytetäänkin ohitusdiodeja, joiden avulla varjostuneet kennot ohitetaan ja täten häviöiden määrää saadaan vähennettyä. Yleisimmin yksi ohitusdiodi on kytkettynä 12, 18 tai 24 kennoon. Jos jokin kenno varjostuu, voi ohitusdiodi ohittaa kerralla esimerkiksi 18 kennoa paneelistä. (Mertens 2014, 134–138.)

## 2.6 Yleisimmät aurinkopaneelityypit

Markkinoiden yleisimmät aurinkopaneelit ovat yksikide-, monikide sekä ohutkalvopaneelit. Paneeleilla on erilaiset ominaisuudet, ja ne sopivat erilaisiin ratkaisuihin. Yksikidepaneeli on edellä mainituista paneelityypeistä kaikkein tehokkain. Paneelien hyötysuhteet vaihtelevat noin 17 – 22 % välillä. Yksikidepaneeleita asennetaan varsinkin katoille, jotta asennetuista paneeleista saadaan paras mahdollinen tuotto, sillä kattoasennuksissa asennuspinta-alaa ei ole rajattomasti. Yksikidepaneelin nimi juontuu sen valmistusmetodista, jossa paneelin kennot on tehty yhdestä piikiteestä. Valmistustapa aiheuttaa kuitenkin paneelityypille muita korkeamman hinnan. (Lane 2023.)

Monikidepaneelin toimintaperiaate on samanlainen kuin yksikidepaneelissa, mutta valmistuksessa käytetään yksinkertaisempaa prosessia.

Monikidepaneelin kennot muodostuvat monesta eri piikiteestä toisin kuin yksikidepaneelit. Rakenne-erosta johtuen monikidepaneelin hyötysuhde jääkin alhaisemmaksi: hyötysuhteet vaihtelevat paneelista riippuen 15 – 17 % tietämällä. Monikidepaneelit ovat edullisempia kuin yksikidepaneelit, mutta hintaero on kutistunut viime vuosina. (Lane 2023.)

Ohutkalvopaneelit omaavat näistä kolmesta vaihtoehdosta kaikkein huonoimman hyötysuhteen. Yleisesti markkinoilla olevien ohutkalvopaneelien hyötysuhteet jäävät 10 – 13 %:n tasolle. Jos asennuspinta-alaa ei ole hukattavaksi, ei ohutkalvopaneeli ole vaihtoehto. Teknologian huonona puolena on myös sen hyötysuhteen nopea heikkeneminen ajan kuluessa. Ohutkalvopaneeleilla on kuitenkin omat vahvuutensa, sillä ne ovat halvin vaihtoehto asennettavaksi ja niiden hyötysuhde ei laske lämpötilojen noustessa yhtä nopeasti kuin yksi- ja monikidepaneeleilla. (Lane 2023.)

Markkinoilla on saatavilla myös kaksipuolisia aurinkopaneeleita. Ne tuottavat sähköä auringon suorasta säteilystä sekä paneelin takapuolelle heijastuvasta säteilystä. Katolle asennettu kaksipuolinen paneeli tuottaa siis sähköä myös katon pinnasta poispäin heijastuvasta auringonvalosta. Kaksipuolisen aurinkopaneelin käyttämisellä saavutetaan 10 – 20 % tuotannon kasvaminen verrattuna yksipuoliseen paneeliin. (United States Department of Energy n.d.)

## 2.7 Aurinkopaneelien suuntaus

Suomessa aurinkopaneelit yltyvät maksimaaliseen vuosituottoon, kun ne asennetaan suuntaamaan kohti etelää. Pienet erot suuntauksessa eivät kuitenkaan vaikuta vuosituottoon merkittävästi. Paneelit voidaan myös asentaa osoittamaan kohti itää ja/tai länttä, jos energiankulutus on huipussaan aamu- ja/tai iltapäivällä. (Motiva 2023.)

		Länsi					Etelä					Itä		
		90	75	60	45	30	15	0	-15	-30	-45	-60	-75	-90
Kulma (°) vaakasuurasta pystysuoraan	Vaa'assa 0°	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	10°	82	84	86	88	89	90	90	90	89	88	86	84	82
	20°	81	85	89	92	94	95	95	95	94	92	89	85	81
	30°	80	85	90	94	97	98	99	98	97	94	90	86	80
	40°	78	85	90	94	97	99	100	99	98	95	90	85	79
	50°	75	82	88	93	96	98	99	98	97	93	89	83	76
	60°	71	78	85	90	93	95	96	95	93	90	85	79	72
	70°	66	73	80	85	88	90	91	90	88	85	80	74	67
	80°	60	67	73	78	81	83	83	83	81	78	74	68	60
	Pystyssä 90°	53	60	65	69	72	74	74	74	72	70	65	60	53

Helsinki, optimikulma 40°

Kuva 5: Aurinkopaneelien suuntauksen sekä kallistuksen vaikutus niihin saapuvaan säteilymäärään. Taulukko pätee Helsingin alueella. (Perälä 2016, 27.)

Paneelit on mahdollista asentaa auringon seurantajärjestelmän kanssa, jolloin aurinkosähköjärjestelmän tuottavuutta pystytään nostamaan. Järjestelmiä on olemassa sekä yksi- että kaksiakselisina. Yksiakselisessa järjestelmässä aurinkopaneelit seuraavat aurinkoa joko korkeus- tai sivusuuntaan, kun taas kaksiakselisessa järjestelmässä paneelit pysyvät jatkuvasti optimaalisessa kulmassa aurinkoon nähden sekä korkeus että sivusuunnassa. (Motiva 2023.)

Kaksiakseliset järjestelmät mahdollistavat jopa yli 50 % tuotannon kasvun kiinteään asennukseen verrattuna. Investointi- ja huoltokustannukset kuitenkin nousevat rajusti, jos aurinkosähköjärjestelmä asennetaan seurantajärjestelmän kanssa. Suomen olosuhteissa seurantajärjestelmän käyttö ei usein ole kannattavaa hajasäteilyn suuren osuuden vuoksi. (Motiva 2023.)

Seurantajärjestelmät auttavat keräämään lisää ainoastaan suoraa auringonpaistetta. Hajasäteilyn keräämiseen seurantajärjestelmän käyttö ei auta. Pilvisinä päivinä hajasäteilyn määrä on suurta, ja siksi seurantajärjestelmää käyttämällä tuotto putoaa. Hajasäteilyn vuotuinen määrä vaihtelee alueen leveyspiiristä riippuen. Lähempänä päiväntasaajaa aurinkopaneelien seurantajärjestelmien käytöllä saadaan suurempi hyöty.

Alueilla, joissa hajasäteilyn määrä on suurta, kannattaa seurantajärjestelmien käyttöä harkita tarkasti niiden korkeiden hankinta- ja huoltokustannusten takia. (Mertens 2014, 38, 40.)

## 2.8 Varjostusten huomiointi

Erittäin tärkeä seikka aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa on varjostusten huomioiminen. Aurinkopaneelit tulee sijoittaa siten, että varjostuksia olisi mahdollisimman vähän. Vaikka objekti ei aiheuttaisikaan suoraa varjoa paneeliin, se saattaa vähentää hajasäteilyn määrää ja täten heikentää aurinkopaneelin hyötysuhdetta. Yhden kennon varjostuminen voi vähentää paneelin tuottoa jopa puolella. (Tahkokorpi 2016, 181–182.)

Mahdolliset varjojen aiheuttajat tuleekin kartoittaa huolella jo suunnitteluvaiheessa. Kaukana aurinkopaneeleista olevat kohteet eivät yleensä langeta suoranaista varjoa aurinkopaneeleille, mutta ne varjostavat paneeleita. Lähellä olevat objektit kuten ilmanvaihtopiiput sekä savupiiput aiheuttavat voimakkaan varjon paneeleille. Voimakkaat varjostukset voivat vaikuttaa energiantuotantoon merkittävästi. Paneelit tulisi sijoittaa siten, että voimakkaat varjot eivät ylety niiden pinnalle. (Mertens 2014, 224–225.)

Aurinkopaneelin ja objektin välinen minimietäisyys voimakkaan varjostuksen välttämiseksi voidaan laskea seuraavasti (Mertens 2014, 226.):

$$r_{Shade\_Min} = \frac{r_{SE}}{d_S} \times d_{shade},$$

jossa

$r_{Shade\_Min}$  on minimipituus, joka aurinkopaneelin ja objektin väliin tulee jättää, jotta voimakas varjo ei yllä paneeliin

$r_{SE}$  on maapallon etäisyys auringosta (149,6 miljoonaa kilometriä)

$d_S$  on auringon halkaisija (1,393 miljoonaa kilometriä)

$d_{Shade}$  on varjon luovan objektin halkaisija (cm)

Yksinkertaistettuna kaava voidaan siis esittää seuraavasti:

$$r_{Shade_{Min}} = 107 \times d_{Shade} \quad (1)$$

Aurinkopaneelit varjostavat luonnollisesti myös toisiaan, jos paneelit on asennettu esimerkiksi tasakatolle. Paneelien väliin tulee jättää minimiväli, jonka avulla varjot eivät ylety viereisiin paneeleihin auringonpaisteen tullessa eri kulmista. Joskus on kannattavampaa asentaa paneelit vähemmän optimaaliseen kulmaan katolle aurinkoon nähden, sillä varjostusten pienentyessä paneeleita voidaan asentaa enemmän ja täten päästä korkeampiin energiantuottoihin. (Mertens 2014, 226–227.)

Aurinkopaneelien toisiinsa nähden vaatiman minimivälin pituus sekä kulman vaikutuksen suhde menetettyyn paneelipinta-alaan voidaan laskea seuraavasti (tällä laskukaavalla saadaan laskettua minimiväli, jolloin vuoden lyhimpänä päivänä keskipäivällä paneelit eivät varjosta toisiaan) (Mertens 2014, 227.):

$$d_{min} = b \times \frac{\sin(\gamma_S + \beta)}{\sin \gamma_S}, \quad (2)$$

jossa

$d_{min}$  = Aurinkopaneelien vaatima minimiväli

$\sin \gamma_S$  = Auringon korkeuskulma (pohjoisella pallonpuoliskolla perussääntönä on käyttää laskussa 15 asteen kulmaa)

$b$  = paneelin leveys

$\beta$  = aurinkopaneelin asennuskulma

Aina paneeleita ei kannata asentaa teoreettiseen optimikulmaan, sillä silloin varjostus on suurempaa. Hyödyksi voidaan käyttää pinta-alan hyödyntämissuhdetta (Mertens 2014, 227.):

$$f_{Util} = \frac{b}{d}, \quad (3)$$

jossa

$d$  = aurinkopaneelien välimatka

$b$  = aurinkopaneelin leveys

Pinta-alan hyödyntämssuhteen avulla nähdään, onko sähköntuotannon kannalta kannattavampaa asentaa enemmän aurinkopaneeleita huonommassa kulmassa aurinkoon nähden, kuin asentaa määrällisesti vähemmän aurinkopaneeleita optimaalisemmassa kulmassa aurinkoon nähden. (Mertens 2014, 227)

## 2.9 Aurinkopaneelijärjestelmän mitoitus

Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien mitoittaminen voidaan tehdä muutamien eri lähtökohtien mukaan. Järjestelmän kokoonpano vaihtelee suuresti riippuen siitä, käytetäänkö mitoituksen suunnittelemisen lähtökohtana vuotuisen tuoton maksimointia, suurinta taloudellista hyötyä, käytössä olevaa budjettia, mahdollisia järjestelmän ulkonäkökysymyksiä vai käytettävissä olevan rajallisen asennuspinta-alan määrittämiä ehtoja. (Motiva 2022b.) Tässä työssä keskitytään järkevien taloudellisten näkökulmien pohjalta tehtyihin mitoituksiin.

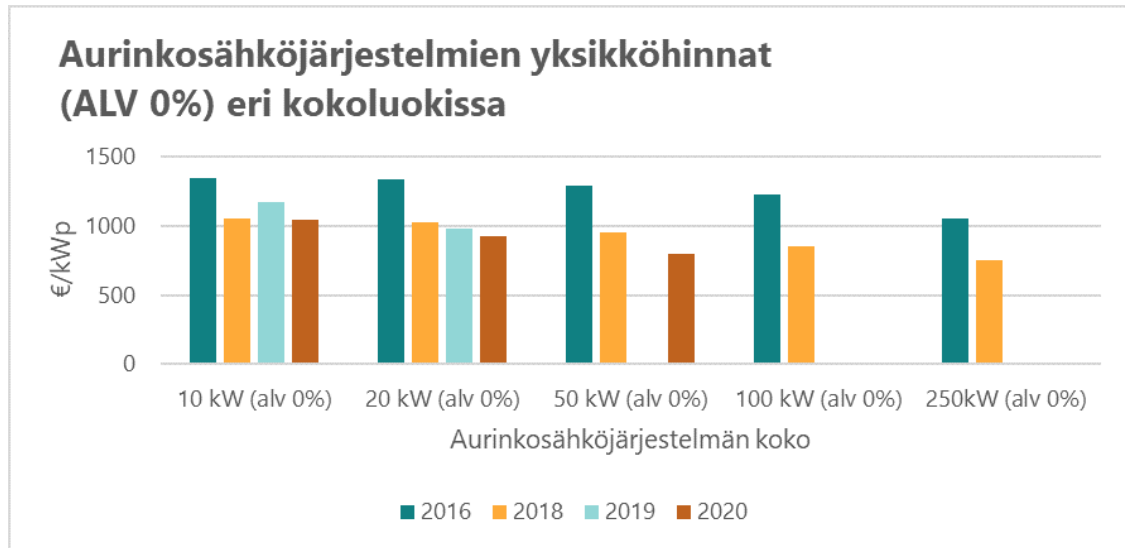
Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna itse tuotettu sähkö kannattaa lähtökohtaisesti käyttää omiin tarkoituksiin. Käyttämällä tuotettu sähkö itse pystytään välttämään sähkön verkosta ostamisen tuomat kulut. Näihin kuluihin kuuluvat sähköenergian hinta, sähkönsiirtomaksu sekä verot. Toisaalta itsetuotetun sähkön myynnistä saatava hyöty jää vähäiseksi, sillä sähkön verkkoon syöttäjän tulee maksaa erinäisiä kuluja, jotka koostuvat veroista, mahdollisesta myyntimarginaalista sekä verkkopalvelumaksusta. (Motiva 2022c.)



Kuva 6: Havainnollistava kuva itsetuotetun sähkön omakäytöstä sekä myynnistä. (Motiva 2022c.)

Vuosittaisen tuotannon arvioinnissa voidaan käyttää esimerkiksi Euroopan Komission tuottamaa PVGIS-palvelua, jonka avulla pystytään tekemään arvio aurinkosähköjärjestelmän tuotosta sekä vuosi- että kuukausitasolla. Kun suunnitelmissa on määriteltynä aurinkopaneelijärjestelmän sijainti, piikkiteho (kWp), paneelitekniikka, järjestelmän häviöt, suuntaus sekä asennuskulma, voidaan ohjelmalla laskea kohteen sähköntuotanto. Laskuriin on mahdollista syöttää myös tiedosto, johon on merkittynä asennuskohteen varjostukseen vaikuttavat objektit. Näin laskelmasta tulee tarkempi. (European Commission 2022.)

Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen Suomessa on järkevintä siten, että kiinteistön yms. oma kulutus katettaisiin järjestelmän tuottamalla teholla kesäkuukausina. Toki, jos sähkön markkinahinta pysyy korkealla tasolla pitkiä aikoja, voidaan myös ylijäämänsähkön myymisellä sähköverkkoon saada korkeaa taloudellista hyötyä. Aurinkovoimalaa suunniteltaessa tulisi varmistua valittavien komponenttien laadusta, sillä järjestelmän käyttöikä on jopa 30 – 40 vuotta. Asennettavan järjestelmän hinta / asennettu kWp on sitä alhaisempi, mitä suuremmasta järjestelmästä on kyse. Järjestelmä on siis kannattavampi suurissa ja paljon energiaa kuluttavissa kohteissa. (Auvinen & Rummukainen 2020.)



Kuva 7: Eri kokoisten aurinkosähköjärjestelmien hinta asennettua kWp kohti (SYKE 2020).

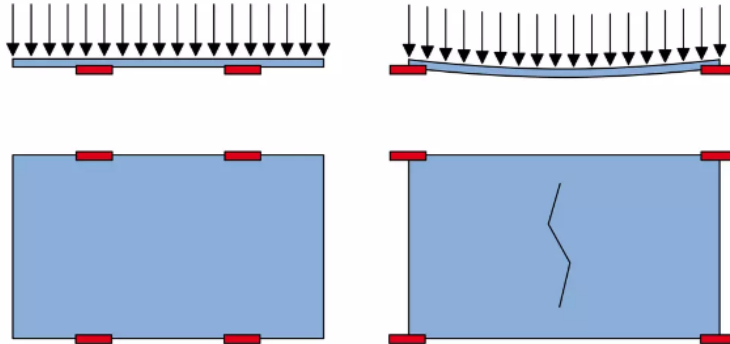
## 2.10 Aurinkosähköjärjestelmän asennus

Aurinkopaneelien asennuskapasiteetista noin puolet asennetaan erilaisten kiinteistöjen katoille ja noin puolet tehdään maa-asennuksina. Myös seinä-asennuksia tehdään, mutta niiden määrä on vähäinen. Asennustapa vaikuttaa huomioonotettavien asioiden sisältöön. Asennustavat vaihtelevat myös maa- ja katto- ja seinäasennusten sisällä. (Jaatinen 2016, 10, 34.)

Paneelien oikeanlaisella kiinnitystavalla voidaan välttää vaurioiden syntyminen vaikeissa olosuhteissa. Suomessa aurinkopaneelit tulee kiinnittää neljästä pisteestä telineisiin, ulkomailla tyypillinen asennustapa on kiinnittää paneelit kulmistaan ns. kulmakiinnityksellä. Suomen lumiolosuhteiden vuoksi vaaditaan kuitenkin enemmän tukea, jotta aurinkopaneelit eivät vaurioituisi. (Finnwind Oy 2013.)

**Neljän pisteen  
reunakiinnitys soveltuu  
Suomen lumiolosuhteisiin**

**Kulmakiinnityksellä ei saa-  
vuteta samaa lumikuorman  
kestävyyttä**



Kuva 8: Aurinkopaneelin oikeaoppinen kiinnitystapa telineeseen (Finnwind Oy 2013).

Aurinkosähköjärjestelmän invertteri voidaan invertteristä riippuen asentaa sisä- ja / tai ulkotiloihin riippuen laitteen IP-luokituksesta. Asennus tulee kuitenkin tehdä siten, että invertteri ei ole suorassa auringonpaisteessa ylikuumentumisen estämiseksi. Asennukset tulee tehdä tukevalle alustalle ja riittävä ilmanvaihto on varmistettava. Hyvä invertterin asennuspaikka on esimerkiksi aurinkopaneelien lähistöllä oleva rakennuksen varjoisa ulkoseinä. Tarkat ohjeet invertterille sopivasta asennuspaikasta löytyvät valmistajan antamista ohjeista. (Fronius 2018, 7–9.)

### 2.10.1 Kattoasennukset

Kiinteistön katon tulee olla hyvässä kunnossa aurinkopaneeleita asennettaessa. Jos katon kunnostaminen on tulossa ajankohtaiseksi lähiaikoina, on kustannussyistä kannattavaa asentaa aurinkopaneelit katon kunnostuksen yhteydessä. Myös katon kantavuus sekä paneelien luoman muun fyysisen rasituksen kesto on varmistettava. (Auvinen 2017.) Tasakaton on mahdollista asentaa aurinkopaneelit ns. kelluvasti painolastin avulla tai pilareilla, jotka lävistävät katon ja kiinnittyvät katon tukirakenteisiin (Kuronen ym. 2015).

Kelluvassa asennuksessa aurinkopaneelitelineet pysyvät paikoillaan ylimääräisen lisätyn painolastin avulla. Lisäpainoina käytetään usein esimerkiksi betonilaattoja. Aurinkopaneelien asennuskulmaa päätettäessä tulee ottaa huomioon kulman kasvattamisesta aiheutuva tuulikuorma, jolloin lisäpainoja tarvitaan enemmän. Reunimmaisille aurinkopaneeleille muodostuu usein suurin tuulikuorma, joten reunoille tarvitaan myös enemmän painolastia, ellei telineitä ole yhdistetty toisiinsa vähentäen rasiitusta yksittäisille telineille. (IFC 2015, 201.)

Kelluvia asennusratkaisuita on tarjolla useaa eri tyyppiä riippuen asiakkaan tarpeista sekä katon ominaisuuksista. Eri tyyppisillä telinemalleilla rasiitukset ovat eri kokoisia. Kuvassa 9 on esillä muutamia erilaisia kelluvia asennustapoja.



1. Integroitu betonipaino
2. Kiskoasennusjärjestelmä
3. Muotoon taivutettu sarjateline betonipainoilla tai tassuilla
4. Räätelöidyt ratkaisut

Kuva 9: Erityyppisiä kelluvia asennusratkaisuja. (Finnwind Oy 2013)

Katon kestävyyttä laskettaessa tulisi huomioida painolasti, tuulikuorma, lumikuorma sekä mahdolliset seismiset kuormat. Katolle asennettavat aurinkopaneelitelineet saattavat väärin sijoitettuina aiheuttaa veden kerääntymistä katolle. Vesien kulku viemärijärjestelmään tulee turvata, jotta ongelmilta vältytään. (IFC 2015, 202.) Aurinkopaneelien kelluva asennus vaikeuttaa huolto- ja korjaustoimenpiteitä, sillä aurinkopaneelitelineet ovat usein tiellä (Kuronen ym. 2015).



Kuva 10: Bitumikatolle tehty kelluva painoperustainen aurinkopaneelien asennus FS-M -asennusjärjestelmällä (Finnwind Oy 2023).

Aurinkopaneelitelineden kiinnitykseen voidaan käyttää mekaanista kiinnitysmenetelmää, jos katolle asennettavan painon määrää halutaan rajoittaa. Tällöin telineet kiinnitetään kattorakenteisiin erilaisten kiinnikkeiden avulla. Esimerkiksi huopakatolle asennettavassa Orima Solar Alfa -järjestelmässä telineet voidaan kiinnittää kattoon aluslevyllä, jonka päälle asennetaan huopapala. Tällöin katteeseen ei tule läpivientejä ja vedenpitävyys saadaan varmistettua. (Orima 2019.)

Pilareilla asentaminen on yleisintä uudisrakennuksissa, jolloin pilareiden aiheuttamat vaatimukset pystytään ottamaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Tyypillisesti pilariasennuksessa kattoon tehdään läpivientejä, ja pilarit kiinnitetään katon rakenteisiin. Tämänkaltaisessa asennuksessa riskinä on kuitenkin vuotojen mahdollisuus varsinkin tasakatoilla. Erilaisia kiinnitystapoja on tarjolla riippuen kattotyypistä. Pilariasennuksilla saavutetaan myös tiettyjä etuja, kuten pienempi painorasite katon rakenteille sekä joustavammat toteutusmahdollisuudet. Katon huoltotoissa pilariasennus on myös edukseen, sillä aurinkopaneelitelineitä ei tarvitse siirrellä pois tieltä toisin kuin kelluvassa asennustyyppissä. (IFC 2015, 201 ; Kuronen ym. 2015.)

Pilareiden avulla asennetuilla aurinkopaneeleilla saavutetaan kelluvaa asennusta kevyempi paino, pienempi rasitus katon pinnalle sekä optimaalinen

suuntaus kohti aurinkoa. Myös tuuli- ja lumikuormien määrä pysyy hallinnassa. (Aurinkopilari n.d.)

### 2.10.2 Maa-asennukset

Aurinkopaneelien asentamiseen maahan on mahdollista sekä kelluvalla asennuksella että paaluttamalla telineet maahan. Kelluvassa asennuksessa telineet voidaan pitää paikallaan esimerkiksi betonipainojen avulla.

Asennustapa sopii tasaiselle alustalle. Maan koostumus on selvitettävä etukäteen, sillä routiminen sekä eroosio voivat aiheuttaa ongelmia kelluvalle perustukselle. (IFC 2015, 33.)

Aurinkopaneelitelineen perustukset on mahdollista myös paaluttaa maahan esimerkiksi teräspalkeilla. Tämänkaltaista perustusta tehtäessä on kuitenkin selvitettävä maaperän soveltuvuus paalutukselle. Suuria määriä asennettaessa, paaluttamalla voidaan saada kustannustehokas sekä nopea asennus. Vaihtoehtona paalutukselle on ruuvipaalun käyttö. Ruuvipaaluilla on mahdollista saavuttaa kustannustehokas ja nopea asennustyö. (IFC 2015, 33.)

Tilanteissa, joissa aurinkopaneelien sijoituspaikalla on ollut aikaisempaa käyttöä, saattaa esimerkiksi paikalla oleva betonipohja mahdollistaa telineiden kiinnittämisen suoraan pulteilla betoniin (IFC 2015, 33). Suuremman mittaluokan aurinkopaneelihankkeissa edullisin maa-asennustapa on lyöntipaalutus, jos maaperä on siihen soveltuvaa. Myös ruuvipaaluja käytetään monissa tapauksissa. (Lindholm 2020, 45–46.)

### 2.11 Aurinkosähköjärjestelmän huolto ja ylläpito

Aurinkopaneelijärjestelmän suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon suuri määrä erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat aurinkopaneelijärjestelmän tuottavuuteen sekä turvallisuuteen. Huolellisella ylläpidolla sekä säännöllisellä huollolla aurinkosähköjärjestelmän tuottavuus sekä turvallisuus pysyvät korkealla tasolla. Myös järjestelmän elinikä pitenee ja mahdolliset

takuuongelmat korvataan todennäköisemmin, kun järjestelmä täyttää takuuvaatimukset. (NREL 2018, 1.) Jos järjestelmän elinkaareksi arvioidaan 30 vuotta, huolto- ja ylläpitokustannusten osuus hankkeen kokonaiskustannuksista on 5-15 % (Lehto ym. 2017, 61).

Seuraavissa kappaleissa on listattuna aurinkosähköjärjestelmän eri komponenttien sekä asennustapojen vaatimia huolto- ja korjaustoimenpiteitä:

### **Telineet**

Kelluvissa asennuksissa tulee seurata, että ovatko telineet odottamattomasti liikkuneet katon pinnalla (NREL 2018, 110).

### **Kattoasennus**

Kattoasennuksissa huomioitavaa on erityisesti katon kunnon seuraaminen, ajan kuluessa varsinkin kelluvat asennukset saattavat aiheuttaa ongelmia katon rakenteelle. Telineet voivat kuluttaa katon pintaa ja edesauttaa painautumien syntymistä katon pintaan. (NREL 2018, 19–20.)

### **Maa-asennus**

Maa-asennuksissa huomioitavaa on erityisesti mahdollisen kasvillisuuden, kuten ruohon säännöllinen leikkaaminen ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia. Myös pöly sekä siitepöly aiheuttavat enemmän paneelien likaantumista verrattuna kattoasennuksiin. (NREL 2018, 20.)

### **Aurinkopaneelit**

Paneelien pinta on hyvä puhdistaa säännöllisesti korkean tuotannon ylläpitämiseksi. Paneeleita voidaan puhdistaa joko tasaisin väliajoin tai tarvittaessa. Likaantumista voivat aiheuttaa esimerkiksi siitepöly sekä lintujen ulosteet. Usein paneelit kuitenkin putsaantuvat hyvin itsestään sateen ansiosta. Lumen poistamista paneelien pinnalta ei yleensä suositella, jotta paneeli ei vaurioidu. Jos lumen määrä on kuitenkin runsasta ja se aiheuttaa riskin paneelien rikkoutumiselle, voidaan lumi poistaa paneelien pinnalta varoen. (NREL 2018, 26–27, 29.)

## **Johdotukset**

Aurinkosähköjärjestelmän komponentit vaikuttavat johdotusten rakenteeseen, riippuen siitä käytetäänkö keskusinvertteriä vai mikroinverttereitä. Johdotusten huoltoa voidaan tehdä ennaltaehkäisevästi tai tarpeen vaatiessa.

Ennaltaehkäisevässä tarkastuksessa varmistetaan johtojen kytkennät sekä johtojen kiinnitys. Johdot saattavat myös hajota yllättäen, esimerkiksi johdon hankautumisen vuoksi. Tällöin vaaditaan korjaustoimenpiteitä. (NREL 2018, 11.)

## **Invertterit**

Invertterit ovat yksi yleisimmistä komponenteista, joiden vikaantuminen johtaa aurinkosähköjärjestelmän tuotantotehon laskemiseen (EPRI 2010, 20).

Inverttereille myönnetty valmistajan takuu on usein 10 vuotta ja joissain tapauksissa takuuta voidaan pidentää jopa 20 vuoteen asti. Eri tyyppiset invertterit vaativat erilaiset huoltosuunnitelmat. (NREL 2018, 13.) Invertterien osalta tulisi varautua vaihtamaan invertterit vähintään kerran aurinkosähköjärjestelmän eliniän aikana (Lehto ym. 2017, 63).

## **Keskusinvertteri**

Keskusinverttereitä käytettäessä suuri määrä aurinkopaneeleita on yhdistettynä yhteen keskusinvertteriin, jolloin invertterin vikaantuessa suuri osa sähköntuotannosta loppuu. Koska keskusinverttereitä käytettäessä DC-johtojen määrä on suuri, on myös valokaarivikojen riski on suurempi. DC-johtojen suuri määrä voi lisätä johtoihin liittyvien korjaustoimenpiteiden määrää verrattuna mikro- ja string-inverttereiden käyttämiin AC-johtoihin. Keskusinvertterit mahdollistavat yksittäisten komponenttien vaihtamisen, esimerkiksi kondensaattorien vaihto onnistuu ilman, että koko yksikköä on vaihdettava. (NREL 2018, 13–14.)

## **Ketjuinvertteri (String inverter)**

Ketjuinvertterien vaihto on nopeampaa ja edullisempaa kuin keskusinvertterin korjaaminen. Ketjuinvertteriin ei ole kytkettynä yhtä montaa paneelia kuin

keskusinverttereihin ja tästä syystä ketjuinvertterin hajoamisella ei ole niin suurta vaikutusta tuotantoon kuin keskusinvertterin hajoamisella. (NREL 2018, 14.)

### **Mikroinvertteri**

Mikroinvertteireitä käytettäessä DC-johtojen määrä on paljon vähäisempi verrattuna keskusinvertterin käyttöön. AC-johdot eivät ole yhtä alttiita erilaisille ongelmille kuin DC-johdot. Mikroinvertteireitä käytettäessä tuotannon seuraaminen on tarkempaa, ja mikroinvertterin hajotessa vain pieni osa paneeleista jää ilman tuottoa. Mikroinvertterien käyttö lisää kuitenkin hajoavien komponenttien määrää ja täten yksittäisten mikroinvertterien vikaantuminen on mahdollista. Mikroinvertterin hajotessa koko mikroinvertteri vaihdetaan uuteen. (NREL 2018, 14–15.)

## 3 Viranomaisvaatimukset ja taloudellinen näkökulma

### 3.1 Lupavaatimukset

Aurinkoenergiaprojektit on jaettu ELY-keskuksen laatimassa uusiutuvan energian tuotantolaitosten menettelykäsikirjassa kolmeen eri kategoriaan: kotitalouskäyttöön suunniteltuihin aurinkovoimaloihin (alle 10 kW), keskikokoisiin (10 – 1000 kW), sekä teollisiin aurinkovoimaloihin (yli 1 MW). Eri suuruusluokan aurinkovoimaloille sovelletaan erilaisia vaatimuksia. (ELY-keskus 2022a.)

#### 3.1.1 Keskikokoiset aurinkovoimalat ja kotitalouskäyttö

Keskikokoisiin ja pieniin kotitalouskäytössä oleviin aurinkovoimaloihin ei yleensä tarvitse hakea muita lupia kuin kunnan rakennustarkastukseen vaadittavat menettelyt. Rakennettavan aurinkovoimalan vaikuttaessa suuresti ympäröivään ympäristöön tai kaupunkikuvaan, on maanrakennuslain (MRL 126 a §) mukainen toimenpidelupa haettava. Toimenpidelupaa tulee hakea esimerkiksi silloin, jos rakennettava aurinkovoimala sijaitsee kaavassa suojellulla alueella yms. Kukin kunta voi määritellä vaatimuksia aurinkovoimahankkeisiin liittyen, tästä syystä eri kunnissa on voimassa erilaiset vaatimukset koskien hankkeen lupamenettelyä. Kunnan vaatimat menettelyt aurinkovoimahankkeisiin liittyen on syytä selvittää jo hanketta suunniteltaessa. (ELY-keskus 2022a.)

Jos laitos halutaan kytkeä sähköverkkoon, on silloin tehtävä sopimus sähköverkon haltijan kanssa. Verkkoon liiittäessä aurinkosähköjärjestelmän tulee täyttää sähköverkonhaltijan määräämät sähköverkkoon sekä turvallisuuteen liittyvät vaatimukset. Jos edellä mainitut vaatimukset ovat kunnossa, on aurinkosähköjärjestelmän haltijalla oikeus tulla liitetyksi alueen sähköverkkoon. Energiantuottaja ei saa kuitenkaan syöttää ylijäämäsähköä alueen sähköverkkoon, jos sähkölle ei ole ostajaa. Jos aurinkosähköjärjestelmä on varustettu akulla, johon ylijäämäsähkö varataan, voidaan sähköverkon

haltijan kanssa tehdä sopimus akun käytöstä muun muassa kulutushuippujen tasaamiseen. (ELY-keskus 2022a.)

Jos aurinkosähköjärjestelmä on kytkettynä jonkin maantieteellisesti rajatun alueen, kuten teollisuusalueen omaan suljettuun jakeluverkkoon, on sähkömarkkinalain 11 § mukainen suljetun jakeluverkon sähköverkkolupa haettava (ELY-keskus 2022a).

### 3.1.2 Teollisen kokoluokan aurinkovoimalat

Teollisen kokoluokan aurinkovoimalaitokset eivät oletuksena vaadi ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA). YVA-menettely kuitenkin vaaditaan, jos aurinkovoimahankkeeseen liittyy energian ja aineiden siirto sekä varastointi. Käytännössä tällä tarkoitetaan minimissään 220 kV maanpäällisiä voimajohtoja, joiden pituus ylittää 15 kilometriä. Hankkeet saattavat vaatia YVA-menettelyä myös yksittäistapauspäätöksen perusteella, jos hankkeen aiheuttamat yhteisvaikutukset ovat riittävän laajat ja voimakkaat. Tarkat määrittelyt löytyvät YVA-laista. Toimialueen YVA-keskus harkitsee tapauskohtaisesti, onko YVA-menettelyn läpikäymiselle perusteita. (ELY-keskus 2022a.)

Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittävät, mitä velvollisuuksia ja vastuita hankkeen toteuttajalle määräytyy. Aurinkoenergiajärjestelmille ei ole säädetty erillistä ohjeistusta. Kunnat päättävät omalta osaltaan, miten aurinkoenergiaprojekteihin suhtaudutaan lain puitteissa. (ELY-keskus 2022a.)

Sähköverkkoon liittämiseksi vaaditaan vaatimukset täyttävät laitteistot, jotta verkkoon liittyminen on turvallista ja luotettavaa. Sähköverkon haltija antaa vaadittavat turvallisuus- ja liittymisvaatimukset pyydettyä. Jos hanke vaatii vähintään 110 kV suurjännitejohdon käyttöä, on siihen haettava sähkömarkkinalain mukainen hankelupa Energiavirastolta. Sähköverkon haltijan on myös hyväksyttävä laitoksen verkkoon kytkeminen. Laitteistolle, jota vaaditaan sähköverkkoon liittämiseksi, saattaa olla tarve hankkia maa-alueiden käyttöoikeuksia. (ELY-keskus 2022a.)

### 3.1.3 Lupahakemusten käsittelyajat sekä yhteenveto

ELY-keskus on määritellyt lupahakemuksille käsittelymääräajat. Hankkeen sähköntuotantokapasiteetti määrittelee käsittelyn määräajan maksimaalisen pituuden. Jos suunnitellun hankkeen sähköntuotantokapasiteetti on suurempi tai yhtäsuuri kuin 150 kW, on käsittelyn määräaika kaksi vuotta. Tätä pienemmissä tai päivittämishankkeissa määräaika on yksi vuosi. (ELY-keskus 2022b.)

Taulukko 1. Yhteenveto aurinkovoimaloiden vaatimista luvista ja hallinnollisista käsittelyistä (ELY-keskus 2022a).

Menettely (laki, vastuuviranomainen)	Aurinkoenergia		
	Teollinen aurinkovoimala (> 1 MW)	Keskikokoinen (10kW–1 MW)	Kotitalouskäyttö (<10 kW)
<b>Alueidenkäytön suunnittelu</b>			
Kaavoitus (MRL, Maakunnan liitto tai kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Suunnittelutarveratkaisu (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Poikkeamispäätös (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
<b>Tuotantolaitoksen suunnittelu</b>			
YVA (YVAL, ELY-keskus)	Ehkä	–	–
Tutkimuslupa (Muinaismuistolaki, Museovirasto)	Ehkä	–	–
Natura-arviointi (LSL)	Ehkä	–	–
Tutkimuslupa (LunL, Maanmittauslaitos)	Ehkä	–	–
<b>Tuotantolaitoksen rakentaminen, päivittäminen ja verkkoon liittäminen</b>			
Voimalaitosten rakentamista ja käytöstä poistamista koskevat ilmoitukset (Sähkömarkkinalaki, Energivirasto)	Kyllä	–	–
Rakennuslupa (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Toimenpidelupa (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	Ehkä	Ehkä
Rakennuksen purkulupa (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Rakennuksen purkamisilmoitus (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	–	–
Kajoamislupa (Muinaismuistolaki, Museovirasto)	Ehkä	–	–
Poikkeus luontotyyppien suojelusta (LSL, ELY-keskus)	Ehkä	–	–
Poikkeus rauhoitussäännöksistä ja eliölajien suojelusta (LSL, YM, ELY-keskus)	Ehkä	–	–
Ilmoitus Natura-alueeseen vaikuttavasta toimenpiteestä (LSL, ELY-keskus)	Ehkä	–	–
Hankelupa suurjännitejohdon rakentamiseen (Sähkömarkkinalaki, Energivirasto, TEM)	Ehkä	–	–
<b>Kiinteän omaisuuden käyttöoikeus</b>			
Lunastuslupa (LunL, Maanmittauslaitos, valtioneuvosto)	Ehkä	–	–
Yhdyskuntateknisten laitteiden sijoittaminen (MRL, kunnan rakennusvalvontaviranomainen)	Ehkä	Ehkä	Ehkä
Ilmoitus johdon sijoittamisesta toisen vesialueelle (VL, ELY-keskus)	Ehkä	Ehkä	Ehkä
Kunnan suostumus (Sähkömarkkinalaki, kunta)	Ehkä	–	–

### 3.2 Turvallisuusvaatimukset

Pelastushenkilöstön turvallisuus tulee ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa. Huomioon otettavia asioita ovat muun muassa sähköturvallisuus sekä riittävän liikkumatilan varmistaminen esimerkiksi katoilla. Aurinkopaneelit eivät saa oleellisesti lisätä tulipalon leviämisen vaaraa kattorakenteissa. Aurinkosähköjärjestelmän komponentit eivät saa myöskään haitata savunpoistojärjestelmien toimintaa, eikä muuttaa paloturvallisuuteen vaikuttavia palo-osastointeja tai yläpohjan onteloiden sekä kattopinnan osiin jakoja. Mikäli rakennuksessa on palomuureja, on aurinkopaneelien oltava niistä vähintään kahden metrin etäisyyden päässä. (Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos 2022, 3.)

Invertteriasennusten sekä tasavirtajärjestelmän kytkimien asennuksessa komponenttien alusta on suojattava palamattomalla materiaalilla. Asennusalustan ollessa palamatonta materiaalia, on silti varmistuttava riittävästä tuuletusvälistä. Näin vältetään onnettomuustilanteessa lämmön johtuminen palaviin rakenteisiin. (Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos 2022, 3.)

Rakennusten katoilla oleviin ilmanvaihto-, sammutusvesi-, vedenpoisto- sekä savunpoistojärjestelmien komponentteihin yms. tulee jättää vähintään 1,2 metrin väli aurinkopaneeleihin. Poikkeuksena ovat savunpoistoluukut, joihin tulee jättää etäisyyttä minimissään savunpoistoluukun halkaisijan mitta. Kiinteistöön kohdistuvien huoltotoimenpiteiden suorittaminen ei myöskään saa estyä laitteiston asentamisesta johtuen. (Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos 2022, 3.)

Paneelien ryhmittelyssä katolle on huomioitava pelastusviranomaisten vaatimukset huoltokäytävien leveydestä sekä tiheydestä. Huoltokäytävien on oltava vähintään 1,2 metriä leveitä, ja niiden suurin väli saa olla maksimissaan 40 metriä. Katon reunoille on myös varattava 1,5 metrin levyinen tyhjä aurinkopaneeliton alue. Kaltevilla katoilla saattaa olla tarpeellista myös putoamissuojauksen asentaminen. (Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos 2022, 4.)

Sähköpääkeskuksen sekä paloilmoitinkeskuksen yhteyteen on asennettava aurinkojärjestelmästä varoittava kilpi. Kaapeleiden asennuksessa on huomioitava turvakytkinten sijoittaminen helppoon paikkaan. Turvakytkimen kääntämisen jälkeen jännitteellisiksi jäävien aurinkosähköjärjestelmän osien suuruus tulee minimoida. Turvakytkimet on sijoitettava samaan paikkaan, jos niitä on useita. Myös mikroinvertterien helppo sammuttaminen pelastushenkilökunnan puolesta on varmistettava. Järjestelmissä on myös oltava turvakytkin järjestelmän sähköverkosta irrottamista varten. (Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos 2022, 4.)

Aurinkosähköjärjestelmälle on nimettävä laitteistovastaava sekä huolto- ja kunnossapito-ohjelma on laadittava. Järjestelmän kytkentöjen sekä rakenteen tulee olla merkittynä kunnossapito-ohjelmassa. Myös pelastussuunnitelma on uusittava aurinkosähköjärjestelmän asentamisen johdosta. Sisätiloissa olevan invertterin ja paloilmoitinkeskuksen, tai ulos asennetun invertterin tapauksessa sähkökeskuksen läheisyyteen on sijoitettava näkyvälle paikalle kohdekortti. Kohdekorttiin tulee olla merkittynä järjestelmän tiedot, komponenttien sijainnit, vastuuhenkilöiden yhteystiedot sekä paras tapa toimia onnettomuustilanteen sattuessa. Kohdekortin on löydettävä myös pelastussuunnitelmasta. (Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos 2022, 4–5.)

### 3.3 Business Finland Oy:n myöntämä energiatuki

Uusiutuvan energian hankkeisiin on myös mahdollista hakea tukea valtion omistaman erityistehtäväyhtiö Business Finland Oy:n kautta.

Energiatukea voidaan myöntää sellaisiin yritysten ja yhteisöjen investointi- ja katselmushankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä, energiansäästöä, energian tuotannon tai käytön tehostamista tai muuten muokkaavat energiajärjestelmää vähähiilisemmäksi pitkällä aikavälillä. (Business Finland Oy.)

Tuen saamisen on myös oltava merkittävässä roolissa hankkeen aloittamisen kannalta. Energiatukea myönnetään hankkeille, joiden arvo on vähintään 10 000 euroa. Ylärajaa hankkeen hinnalle ei ole. Tukea ei voi hakea hankkeelle jälkikäteen, eli silloin kun hanke on jo aloitettu. (Business Finland Oy.)

Aurinkoenergiaprojekteillemme, jotka saavat tukea, korvataan 15 % investoinnin suuruudesta. Tukea hakevalla organisaatiolla on oltava suunnitelmassa vähintään 10 000 euroa investointikustannuksiltaan maksava uusiutuvan energian tai energiansäästön hanke. Sähköakkuinvestoinnit voivat saada tukea vain, jos samassa hankkeessa investoidaan myös uusiutuvan energian tuotantoon tai energiatehokkaisiin laitteisiin. Energianvarastointiin liittyvät kustannukset saavat olla maksimissaan puolet koko hankkeen kustannuksista. Ennen tuen hakemista on kuitenkin varmistettava, että hakijayrityksellä on myös oma rahoitus hankkeen läpiviemiseksi, sillä Business Finlandin tuki saattaa tulla vasta hankkeen loputtua. (Business Finland Oy.)

Business Finland Oy ei kuitenkaan myönnä tukea asunto-osakeyhtiöille, asuinkiinteistöille, maataloille (paitsi jos tuotettu energia käytetään maatalan ulkopuolella), kalastus- ja vesiviljelyalan yrityksille, valtionosuutta saaville perustamishankkeille, valtion talousarviosta rahoituksensa saaville organisaatioille eikä virastoille, laitoksille tai toimielimille, jotka kuuluvat valtion talousarviosta annetussa laissa tarkoitettuun taloushallinto-organisaatioon. (Business Finland Oy.)

### 3.4 Energiantuotannon verotus

Sähköntuottajilla on eriasteisia verovelvollisuuksia riippuen ylläpitämänsä voimalaitoksen kapasiteetista ja sähköntuotannosta. Verohallinto on määritellyt sähköverovelvollisuudet kolmeen eri luokkaan: Mikrovoimalaitoksiin (nimellisteho alle 100 kVA), pienvoimalaitoksiin (nimellisteho yli 100 kVA ja vuosituotanto enintään 800 000 kWh) sekä voimalaitoksiin (nimellisteho yli 100 kVA ja vuosituotanto yli 800 000 kWh). (Verohallinto 2022.)

Mikrovoimalaitokset ovat vapautettuja sähköverovelvollisuudesta. Tämä tarkoittaa sitä, että mikrovoimalaitoksen omistajan ei tarvitse rekisteröityä verovelvolliseksi eikä myöskään tehdä veroilmoituksia omasta sähköntuotannostaan. (Verohallinto 2022.)

Pienvoimalaitosten osalta Verohallinto määrittelee vaatimuksensa seuraavasti: Nimellisteholtaan yli 100 kVA voimalaitokset, joiden vuosituotanto on alle 800 000 kWh, ovat velvoitettuja rekisteröitymään sähköverovelvollisiksi Verohallinnolle. Rekisteröityminen vaaditaan kuitenkin pelkästään valvonnan vuoksi. Pientuottajan on ilmoitettava vuotuisesti helmikuun 12. päivänä oma koko edellisen vuoden sähköntuotantonsa suuruus. Jos vuosittainen sähköntuotantomäärä ylittää 800 000 kWh, on sähköntuottaja velvoitettu maksamaan sähköverot, jotka tälle määrätään. (Verohallinto 2022.)

Voimalaitokset, joiden nimellisteho sekä tuotanto ylittävät niille määritellyt rajat (100 kVA ja 800 000 kWh / a), ovat velvollisia antamaan veroilmoituksen Verohallinnolle joka kuukausi. Voimalaitos on velvollinen antamaan veroilmoituksen riippumatta siitä, syöttääkö se sähköä sähköverkkoon vai ei. Verovelvollisen voimalaitoksen on huolehdittava verojensa maksamisesta sekä veroilmoituksen tekemisestä viimeistään verokautta seuraavan toisen kuukauden 12. päivä. (Verohallinto 2022.)

### 3.5 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden arviointi

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta voidaan tarkastella useiden eri taloudellisten tunnuslukujen kautta. Näitä ovat takaisinmaksuaika, energian tuotantohinta (LCOE), sisäinen korkokanta (IRR) sekä nettonykyarvo (NPV). Tunnuslukujen avulla pystytään arvioimaan asennettavan aurinkosähköjärjestelmän järkevyyttä taloudellisesta näkökulmasta katsottuna. Järjestelmän tunnusluvut on mahdollista laskea apuohjelmien avulla. (Lehto ym. 2017, 65–68.)

Takaisinmaksuaikaa ei tule käyttää aurinkosähköjärjestelmän ainoana taloudellisuusmittarina, sillä järjestelmän tuottoa tulee katsoa koko laitteiston eliniän ajalta. Syinä takaisinmaksuajan sopimattomuudelle ovat muun muassa aurinkoenergialaitteiston pitkä elinikä sekä suuri toimintavarmuus. Aurinkosähköjärjestelmissä teknisiä vikoja ei yleensä ilmaannu ennen kuin

järjestelmä on maksanut itsensä takaisin. Järjestelmän ylläpito- ja huoltokustannukset ovat myös hyvin maltillisia. (Lehto ym. 2017, 66.)

Energian tuotantohinnan avulla pystytään vertailemaan eri energianlähteiden hintaa pidemmällä aikavälillä. Aurinkosähköjärjestelmien energian tuotantohinnan laskemisessa voidaan käyttää 30 vuoden aikaa (järjestelmän odotettu elinikä). Energian tuotantohinta kertoo järjestelmän tuottaman energian hinnan tuotettua energiayksikköä kohden (€ / kWh). Tällä laskutavalla saadaan hyvä arvio aurinkoenergian kannattavuudesta. (Lehto ym. 2017, 66–67.)

Sisäisen korkokannan laskemisella voidaan selvittää investoinnin antama tuottoaste prosentteina pääomalle. Investoinnin kannattavuudesta kertoo mahdollisimman suuri sisäinen korkokanta. Sisäinen korkokanta on verrattavissa vaihtoehtoisten sijoituskohteiden tuotto prosentteihin. (Lehto ym. 2017, 67.)

Nettonykyarvolla voidaan tarkastella sijoituksen tulojen ja menojen nykyarvojen erotusta koko aurinkosähköjärjestelmän elinkaaren ajalta. Laskelman avulla voidaan selvittää rahamäärä, kuinka paljon investointi on tuottanut / tappiollinen laskelmassa selvitettävän vuoden kohdalla. Laskelmassa otetaan huomioon muun muassa korkotasojen muutokset, jotta laskelma olisi mahdollisimman luotettava. (Lehto ym. 2017, 68.)

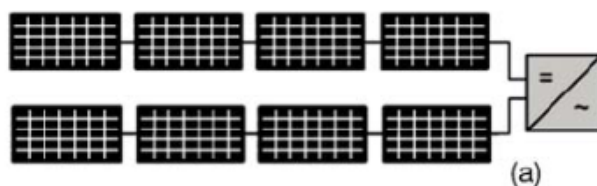
Aurinkosähköprojektin kannattavuuteen vaikuttavat myös suoranaisesti taloudelliseen näkökulmaan liittymättömät asiat. Aurinkosähköhankkeilla yrityksen imagoa pystytään kohentamaan oikeanlaisen mainonnan avulla. Esimerkiksi yrityksen verkkosivuilla on kannattavaa kertoa yrityksen uusiutuvan energian tuotannosta ja käytöstä. (Leader Satakunta 2022.) Aurinkopaneeleilla on hyvä imagoarvo ja monet aurinkopaneeleihin investoineet ovat kertoneet sähkölaskujen pienenemisen lisäksi suuren hyödyn aurinkosähköasennuksista tulevan juurikin julkisuusarvosta sekä markkinointihyödyistä (Nieminen & Tulevaisuuden tutkimuskeskus 2017, 10–11).

## 4 Aurinkosähköjärjestelmän hankearvio teollisuuskiinteistöön

Tässä opinnäytetyössä luotua teollisen aurinkovoimalan hankearvion toteutusmallia käytetään Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevan teollisuuskiinteistön katoille sijoitettavan aurinkovoimalan kannattavuuden arviointiin.

### 4.1 Simuloinnin lähtökohdat

Simuloitu aurinkosähköjärjestelmä on tehty verkkoon kytkettynä (on-grid) järjestelmänä. Järjestelmässä on käytetty string-inverttereitä, joihin on kytketty useita eri paneeliketjuja. Inverttereissä on useita Maximum Power Point - seuraimia (MPPT), jotka mahdollistavat varjostusten aiheuttamien häviöiden minimoimisen.



Kuva 11: Simuloinnissa käytetyn string-invertteri -järjestelmän yksinkertaistettu rakenne (Čorba ym. 2012, 162)

Olosuhteet aurinkovoimalan mahdolliselle sijoituspaikalle on käyty toteamassa paikan päällä. Keskeisimpien aurinkopaneelijärjestelmän komponenttien, kuten invertterien ja paneelien sijoituspaikat on katsottu sopiviksi. Sähköteknisesti aurinkosähköjärjestelmän liitettävyys nykyisiin sähkökeskuksiin on mahdollista. Vallinneen lumitilanteen vuoksi teollisuuskiinteistön katon kuntoa ei kyetty varmistamaan.

Lähtökohtana aurinkovoimalan mitoitukselle on käytetty taloudellista näkökulmaa. Muina aurinkovoimalan kokoa merkittävästi määräävinä tekijöinä

on käytetty tehdasrakennuksen pohjakulutusta sekä sähkönkäytön kulutusprofiilia. Kulutusprofiili saatiin hankearvion kohteena olevalta yritykseltä ja se lisättiin PV\*sol -ohjelmaan, jotta simuloinnin tulokset olisivat mahdollisimman todenmukaiset.

Sähköenergian ostohintana on käytetty arviopohjaista 0,08 € / kWh hintaa. Ylijäämänsähkö myyntihinnaksi on arvioitu 0,03 € / kWh.

Aurinkovoimalan hintaperusteena on käytetty 800 € / kWp:n hintaa. Hinnan arvioinnissa on hyödynnetty saatuja saman kokoluokan toteutuneiden aurinkosähköjärjestelmien hintoja. Hinta on myös linjassa kuvan 6 (s.23) kanssa. Simulointiohjelmaan on myös syötetty tieto 15 % tukirahoituksesta (Business Finland) koko hankkeen kustannuksista.

Aurinkovoimalan kannattavuus on simuloitu käyttäen PV\*sol -ohjelmaa. Tehdasrakennuksista on tehty ohjelmalla oikeaa rakennusta, sijaintia ja suuntausta vastaava 3D-malli. Kiinteistön 3D-malli on luotu satelliittikuvan perusteella. Kiinteistöjen kattojen kallistuskulmat (3° ja 4°) on saatu selville CAD-ohjelman avulla paikalta otetuista valokuvista. 3D-malliin on mallinnettu myös merkittävimmät katoilla olevat varjostustekijät, kuten huoltoluukut. Simuloinnin avulla paneelien sijoittelu, suuntaus sekä varjostukset on saatu selville. Simuloinnissa on käytetty simuloitavaa kohdetta lähimpänä, sekä ilmastollisillilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman samankaltaista, saatavilla ollutta säädataa, joka on mitattu Kankaanpäässä.

Kiinteistön katolle sijoitettavan aurinkovoimalan asennustapana on kelluva asennus, sillä se sopii parhaiten kiinteistön katolle, joka on pehmeä bitumikatto. Katon rakenteellinen kantavuus tulee selvittää asiantuntijan avulla. Aurinkopaneelina on käytetty Longi Solar LR5-54HIH-410 -paneelia. Inverttereinä järjestelmässä on käytetty Huawei SUN2000-30KTL-M3 - sekä Huawei SUN2000-50KTL-M0 -inverttereitä.

Aurinkopaneelit on asennettu katolle 15 asteen kulmaan. Paneeliasennukset on tehty lounaan suuntaan osoittaville kattopinnoille. Paneelirivien väliin on jätetty paneelin levyinen tila huoltotöitä sekä paneelien toisilleen aiheuttamien

varjostusten välttämistä varten. Etäisyydet katon reunoihin sekä huoltoluukkuihin on tehty Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitoksen ohjeiden (s.34) mukaisesti. Myös paneelikentällä olevien huoltokäytävien etäisyydet ja leveydet noudattavat Etelä-Pohjanmaan viranomaisten ohjeistuksia. Järjestelmää on jälkikäteen mahdollista laajentaa myös muille kattopinnoille tarvittaessa.

#### 4.2 Aurinkosähköjärjestelmän simulointi

Aurinkosähköjärjestelmän maksimitehokapasiteetiksi muodostui 231,24 kWp. Aurinkopaneelit on asennettu teollisuuskiinteistöjen lounaan suuntaan kallellaan oleville katon osille. Simuloidun voimalan pinta-ala on noin 1100 m<sup>2</sup>. Aurinkopaneelien määräksi muodostui 564 kappaletta ja niiden tuottaman tasasähkön muuttaa vaihtosähköksi viisi invertteriä.



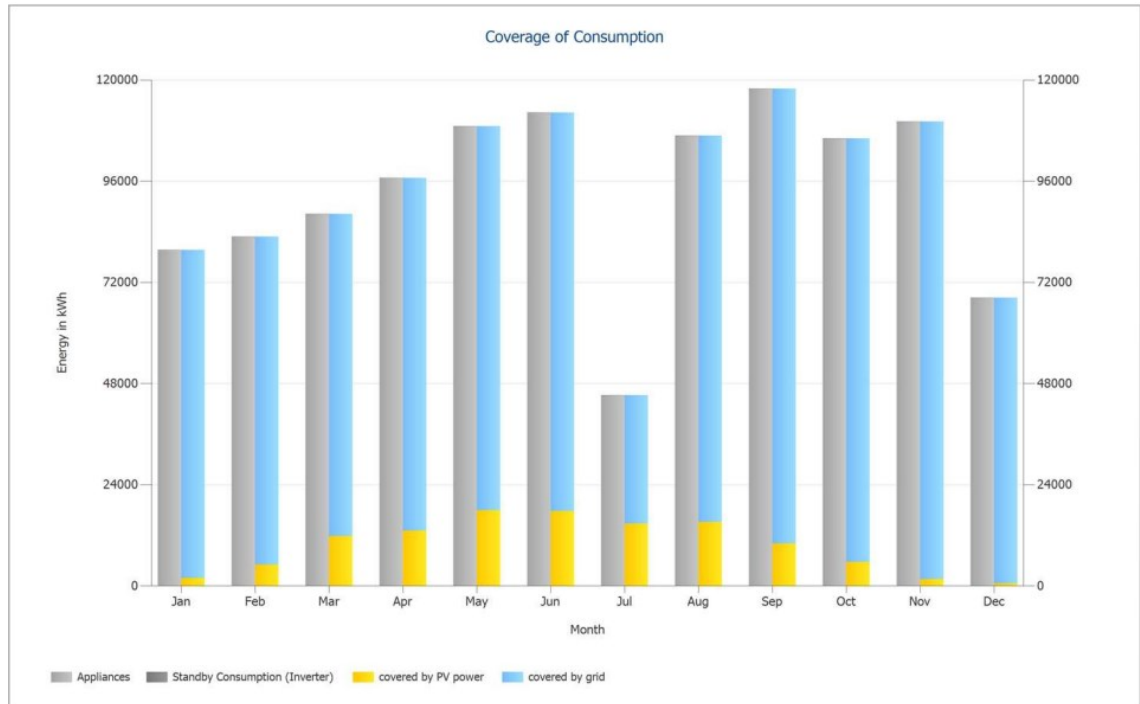
Kuva 12: Ilmakuva teollisuuskiinteistöihin mallinnetusta aurinkopaneelijärjestelmästä.

Kuten kuvasta 12 näkyy, on aurinkosähköjärjestelmää mahdollista laajentaa myös jälkikäteen. Kuvan alareunassa olevan rakennuksen katto on myös otollinen asennuspaikka sen suuntauksen vuoksi. Rakennuksen eteläpuolella oleva metsäkaistale tulisi kuitenkin kaataa, jotta varjostuksilta vältyttäisiin. Kaikkien teollisuuskiinteistöjen katot ovat erittäin loivia, joten myös koillisen sekä pohjoisen suuntaisille katoille voisi jatkossa olla järkevää laajentaa järjestelmää.

#### 4.3 Järjestelmän tuotanto

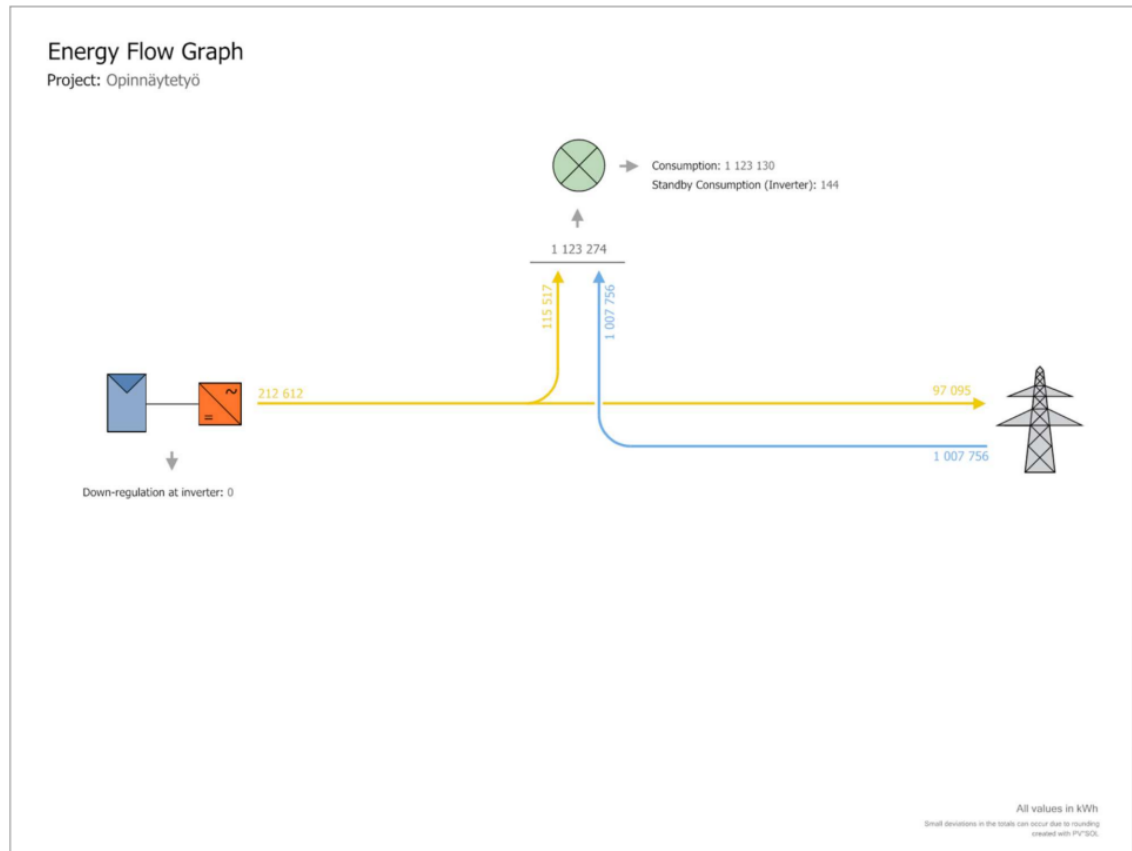
Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhdetta mittaavaksi Performance Ratio - arvoksi (PR) saatiin 90,66 %. Käytännössä tämä tarkoittaa aurinkoenergiajärjestelmästä saadun energiatuotannon suhdetta teoreettiseen energiantuotantoarvoon. Varjostukset eivät aiheuta järjestelmälle juurikaan häviöitä, sillä varjostuksista johtuvat tuotantohäviöt ovat 0,9 %.

Simuloidun 231 kWp:n järjestelmän vuosituotanto ylittää noin 213 000 kilowattituntiin vuodessa. Yrityksen sähkönkulutuksen ollessa noin 1,1 miljoonaa kWh vuodessa, kattaisi järjestelmä noin 19 % yrityksen vuotuisesta sähköenergiatarpeesta. Aurinkoenergiaa saadaan kuitenkin huomattavia määriä myös silloin, kun tuotantoa ei ole, joten osa energiasta menee myytäväksi sähköverkkoon.



Kuva 13: Itse käytetyn aurinkoenergian osuus kuukausittaisesta sähkönkulutuksesta (kWh).

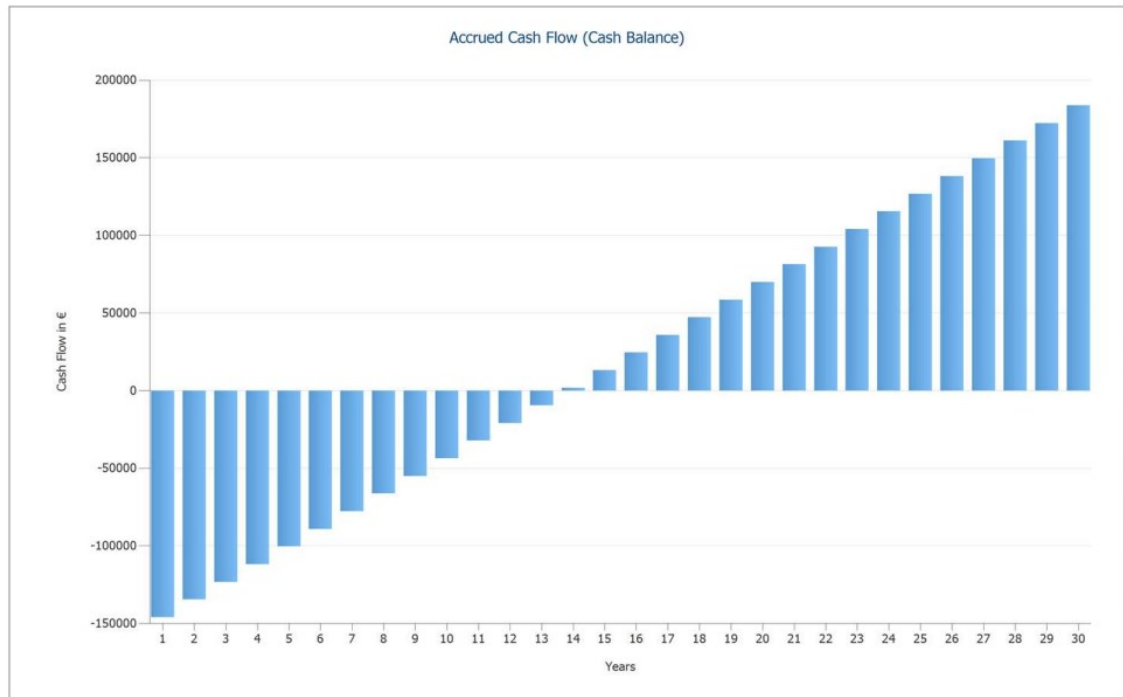
Simuloidun aurinkosähköjärjestelmän tuottamalla sähkön omakäytöllä pystytään kattamaan 10,3 % yrityksen koko sähkönkulutuksesta vuodessa. Tämä tarkoittaa noin 116 000 kWh:n vuotuista vähennystä verkosta ostettavan sähkön määrään. Itse tuotetusta sähköstä pystytään käyttämään 54,3 % yrityksen toimintoihin. Loput tuotetusta sähköstä myydään sähköverkkoon.



Kuva 14: Aurinkoenergian käyttö ja myynti sekä sähköverkosta ostettavan energian määrä (kWh).

#### 4.4 Järjestelmän kannattavuus

Simuloinnista saatujen taloudellisten tulosten perusteella suunnitellun aurinkovoimalan kannattavuutta voidaan arvioida. Ohjelmasta saadaan selville aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika sekä vuosikohtaiset arviot rahallisesta tuloksesta määritellyn 30 vuoden käyttöajan ajalta. Järjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin 13,8 vuotta. 30 vuoden käytön jälkeen järjestelmän tuottamalla sähköllä on päästy 180 000 € taloudelliseen hyötyyn. Kunkin vuoden nettonykyarvo (NPV) on näkyvissä alla olevassa kuvassa.



Kuva 15: Aurinkosähköjärjestelmän kassavirta 30 vuoden ajanjaksolla.

Simuloinnin tuloksena järjestelmälle saatiin sisäisen korkokannan (IRR) arvoksi 6,91 %. Käytännössä aurinkovoimalainvestointi siis antaa pääomalle 6,91 % tuottoasteen. Tuotetun energian laskennalliseksi hinnaksi (LCOE) muodostui 0,0325 € / kWh.

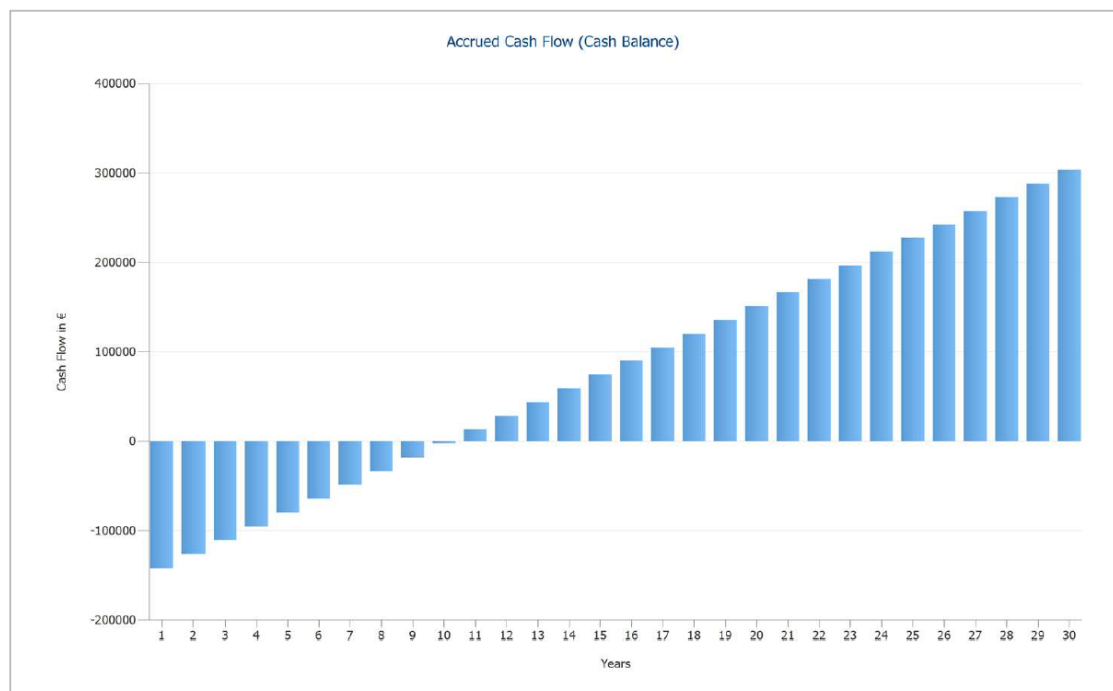
Aurinkosähköjärjestelmän hankkimisessa ei myöskään tule unohtaa uusiutuvan energian käytön tuomia yrityksen imagoa nostavia tekijöitä. Vaikka niiden rahallisen arvon arvioiminen onkin hankalaa, on todennäköistä, että yrityksen toiminnasta tulee kuluttajille parempi mielikuva, jos uusiutuvan energian käyttöä mainostetaan esimerkiksi nettisivuilla tai tuotepakkauksissa.

#### 4.5 Simulointi vaihtoehtoisilla sähkön hinnoilla

Yllä olevat aurinkosähköjärjestelmän taloudelliset tunnusluvut on saatu seuraavilla arviopohjaisilla sähkön hinnoilla: ylijäämänsähkön myyntihinta 0,03 € / kWh ja sähköverkosta ostetun sähkön hinta 0,08 € / kWh. Edellä mainitut

hinnat ovat kuitenkin arvioita mahdollisista sähköenergian hinnoista ja ne voivat erota todellisista hinnoista merkittävästi.

Jos ylijäämäsähkön myyntihinta olisikin 0,05€ / kWh ja verkosta ostetun sähkön hinta 0,10 € / kWh, ovat talousanalyysin tulokset merkittävästi erilaiset. Tällöin järjestelmän takaisinmaksuajaksi muodostuu 10,2 vuotta ja 30 vuoden käyttöön jälkeen aurinkosähköjärjestelmällä on saavutettu 303 000 € taloudellinen hyöty.



Kuva 16: Aurinkosähköjärjestelmän vaihtoehtoinen kassavirta 30 vuoden ajanjaksolla.

Kuten kuvassa 16 näkyy, aurinkovoimalan kassavirta muuttuu positiiviseksi aiemmin kuin alkuperäisillä sähkön arvoilla. Järjestelmän sisäiseksi korkokannaksi (IRR) saatiin 10,08 % ja tuotetun sähkön laskennalliseksi hinnaksi (LCOE) muodostui 0,0325 € / kWh.

#### 4.6 Järjestelmää varten tarvittavat luvat

Kunnalle, jossa teollisuuskiinteistö sijaitsee, tehdystä sähköpostikyselystä saadun tiedon mukaan aurinkosähköjärjestelmän lupakäsittely etenisi

toimenpidelupa-asiana, jos kiinteistöihin ei tule merkittäviä muutoksia. Rakennuslupaa saatettaisiin vaatia merkittävien muutosten yhteydessä.

Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen verkkoon on hoidettava alueella sähköverkon omistavan sähköyhtiö Carunan kautta. Yli 10 kW aurinkosähköjärjestelmää liitettäessä liitettävyyteen vaikuttaa sähköverkon vahvuus, käyttöpaikan sulakekoko sekä liittymän liittymisoikeus. Käyttöpaikan sulakekoko voi olla tarve suurentaa, jos uuden aurinkosähköjärjestelmän teho on suurempi kuin käyttöpaikan sulakekoko vastaava huipputeho. Mikäli aurinkosähköjärjestelmän teho on suurempi kuin liittymisoikeuden mukainen suurin tuotantoteho, on sulaketta suurennettava sekä tehtävä tuotannon liittymissopimus. (Caruna Oy 2023.)

#### 4.7 Parannusehdotuksia aurinkovoimalan kannattavuuteen

Yrityksen, jolle aurinkovoimalan hankearvio on tehty, sähkönkulutus on intensiivisimmillään arkipäivisin klo 06-14. Aurinkosähkötuoannon kannalta otollisimpia tunteja menee työaikojen vuoksi hukkaan, sillä aurinkoenergiaa on hyvin saatavilla vielä kello 14 jälkeen. Aurinkovoimalan tuotanto on myös niin suurta, ettei yrityksen pohjakulutus riitä kattamaan aurinkosähkön tuotantoa ja tämän vuoksi sähköä joudutaan myymään sähköverkkoon. Luonnollisesti myös viikonloppuisin tuotettu ylijäämäinen aurinkoenergia myydään sähköverkkoon.

Kulutusprofiilista (Kuva 13) on myös nähtävillä kulutuksen merkittävä putoaminen heinäkuussa. Tämä johtunee kesälomien viettämisestä, mutta heinäkuun ollessa Suomen aurinkoenergiantuotannon otollisinta aikaa, tuotettua sähköenergiaa menee huomattavia määriä myyntiin sähköverkkoon. Tuotetun sähkön myynnistä saatava rahallinen hyöty jää vähäiseksi, jos se joudutaan myymään sähköverkkoon (Kuva 5).

Taloudellista kannattavuutta parantavina toimenpiteinä voitaisiin siis tehdä esimerkiksi työaikojen muutos siten, että yrityksen sähkönkulutus siirtyisi muutamalla tunnilla myöhemmäksi klo 8 ja 16 väliseen aikaan. Kesälomien

porrastaminen sekä tuotannon mahdollisimman tasainen jatkuvuus läpi kesän nostaisi myös tuotetun aurinkoenergian omakäyttöä.

## 5 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä kaikkia asioita on selvitettävä ja otettava huomioon, kun tehdään hankearvio tehokapasiteetiltaan useiden satojen kilowattien suuruisesta aurinkovoimalasta. Kerätyn tiedon avulla tehtiin dokumentti, jonka avulla hankearvion tekeminen helpottuu, kun kaikki tarvittava tieto löytyy yhdestä paikasta. Teoriaosuudessa selvitettyjä asioita käytettiin onnistuneesti hyödyksi, kun opinnäytetyön toinen osa, hankearvion tekeminen, toteutettiin simuloinnin avulla. Hankearvion tekeminen suoritettiin simuloimalla se PV\*sol -ohjelman avulla. Simulointiparametrit saatiin teoriaosuudessa selvitetystä asioista. Simuloinnin tuloksena saatiin selville aurinkosähköjärjestelmän toimivuus sekä taloudellinen kannattavuus.

Mahdollisia jatkotutkimusaiheita on mahdollista tehdä useista eri näkökulmista: aurinkosähköjärjestelmän rakenne, suunnittelu sekä toteuttaminen muodostavat laajan kokonaisuuden. Eräänä esimerkkinä jatkotutkimusaiheesta voisi olla taloudellisen kannattavuuden optimointi: mikä olisi optimaalisin itse tuotetun sähkön omakäytösuhde, takaisinmaksuaika sekä investointimäärä?

Opinnäytetyössä on sen luotettavuutta heikentäviä tekijöitä. Simuloinnissa on käytetty arvioita sekä sähkön hinnasta että huolto- ja ylläpitokustannuksista aurinkovoimalan koko käyttöiälle. Sähkön markkinahintojen viime aikojen rajut vaihtelut voivat kuitenkin vaikuttaa voimakkaasti suunniteltavan aurinkovoimalan takaisinmaksu-aikaan. Jo suhteellisen pienillä vaihteluilla sähkön osto- ja myyntihinnoissa on merkittäviä vaikutuksia järjestelmän kannattavuuteen, kuten tämän opinnäytetyön simulointituloksista on havaittavissa. Simuloinnissa ei ole myöskään otettu huomioon mahdollisen investointikustannuksiin otettavan lainan korkojen vaikutusta järjestelmän kannattavuuteen. Opinnäytetyö jää myös osin pintapuoliseksi laajan aiheen vuoksi. Työ kuitenkin onnistuu antamaan hyvän yleiskuvan hankearvion vaadittavista asiakokonaisuuksista.

## Lähteet

Aurinkomaailma n.d. Aurinkopaneeli. Viitattu 1.2.2023.

<https://aurinkomaailma.fi/aurinkopaneeli/>

Aurinkopilari n.d. Aurinkovoimalan asennusjärjestelmä tasakattoisiin uudis- ja korjausrakennuskohteisiin. Viitattu 23.1.2023. <https://aurinkopilari.fi/>

Auvinen K. & Rummukainen M. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat laskussa – kannattavuutta arvioitava käyttöajan puitteissa. Hiilineutraalisuomi.fi Viitattu 2.2.2023. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien\\_hinnat\\_laskuss\(56958\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_laskuss(56958))

FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien\_hinnat\_laskuss(56958)

Auvinen K. 2017. Aurinkovoimaloiden kestävä rakentaminen – hankinnassa huomioitavia asioita. Viitattu 22.1.2023. <https://finsolar.net/kestaako-katto-aurinkovoimalan/>

Business Finland Oy. Energiatuki. Viitattu 20.1.2023.

<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Caruna Oy. 2023. Tuotantolaitteiston liittäminen sähköverkkoon. Viitattu 18.4.2023. <https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkontuotanto/tuotantolaitteiston-liittaminen>

Corba Z, Katic V, Dumnic B ja Milicevic D. 2012. In-grid solar-to-electrical energy conversion system modelling and testing. Viitattu 19.4.2023.

[https://www.researchgate.net/publication/260350341\\_In-grid\\_solar-to-electrical\\_energy\\_conversion\\_system\\_modeling\\_and\\_testing](https://www.researchgate.net/publication/260350341_In-grid_solar-to-electrical_energy_conversion_system_modeling_and_testing)

ELY-keskus 2022a. Uusiutuvan energian tuotantolaitosten lupamenettelyt ja muut hallinnolliset menettelyt. Menettelykäsikirja hakijoille. Viitattu 15.1.2023.

<https://www.miljo.fi/download/noname/%7B2F82083E-E9D3-4DC5-B0E8-9A35BBE04DDA%7D/168637>

ELY-keskus 2022b. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Uusiutuvan energian lupaneuvonta. Viitattu 7.2.2023. <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/lupakasittelyn-maaraajat>

EPRI 2010. Electric Power Research Institute. Addressing Solar Photovoltaic Operations and Maintenance Challenges. A Survey of Current Knowledge and Practices. (20) Viitattu 16.1.2023. <https://www.epri.com/research/products/000000000001021496>

Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos. 2022. Aurinkosähköjärjestelmät, ohje turvalliseen toteuttamiseen. Viitattu 14.2.2023. <https://eppela.fi/wp-content/uploads/sites/3/2021/05/Aurinkosahkojarjestelmat-ohje-turvalliseen-toteuttamiseen.pdf>

European Commission. 2022. Photovoltaic Geographical Information System. Viitattu 2.2.2023. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

Finnwind Oy. 2013. Kasvata turvallisesti kiinteistösi tuottoa ja arvoa Finnwind aurinkosähköjärjestelmällä. Viitattu 22.1.2023. [https://finnwind.fi/aurinkopaneeli/aurinkosahkojarjestelma-yritys/?gclid=CjwKCAiA2rOeBhAsEiwA2PI7Q3FZzfxP4MIC1NLb4oi\\_6vJYjNsXs\\_15Qo2NqrR0f7YvCdDmJXkrGBoCW4gQAvD\\_BwE](https://finnwind.fi/aurinkopaneeli/aurinkosahkojarjestelma-yritys/?gclid=CjwKCAiA2rOeBhAsEiwA2PI7Q3FZzfxP4MIC1NLb4oi_6vJYjNsXs_15Qo2NqrR0f7YvCdDmJXkrGBoCW4gQAvD_BwE)

Finnwind Oy. 2023. Finnwind-FS-M-asennusjärjestelmä. Viitattu 20.4.2023. [https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload\\_photos/esitteet/Finnwind-FS-M-asennusj%C3%A4rjestelm%C3%A4.pdf](https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/esitteet/Finnwind-FS-M-asennusj%C3%A4rjestelm%C3%A4.pdf)

Fronius. 2018. Fronius Symo 3 – 8,2 kW. Asennusohje . Verkkoon kytketty invertteri. Viitattu 24.2.2023. <https://www.xn--lmpumpppuhuolto-0kb22a.com/images/tuotteet/aurinkosahkojarjestelmat/scanoffice-premium/Aurinkosahko-Invertteri-Fronius-Symo-Asennusohje.pdf>

IFC. 2015. International Finance Corporation. Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. A Project Developer's Guide. Viitattu 23.1.2023. <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3dbd3-983e-4ee3-a67b->

cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report\_Web+\_08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kZePDPG

Ilmatieteen laitos & Yle. 2015. Suomen vuotuinen säteilykertymä. Viitattu 1.2.2023. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/09/suomen-saan-valoisa-puoli-aurinkopaneeli-tuottaa-parhaiten-kylmassa>

Kuronen J, Loisa L & Reinikainen E. Taustaraportti 6 -Aurinkosähkötarkastelut. FlnZEB -hanke. Viitattu 22.1.2023. [https://hugepdf.com/download/taustaraportti-6-aurinkoshktarkastelut\\_pdf#](https://hugepdf.com/download/taustaraportti-6-aurinkoshktarkastelut_pdf#)

Lane C. 2023. Types of Solar Panels: Which One Is The Best Choice? Solar Reviews. Viitattu 31.1.2023. <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>

Leader Satakunta. 2022. Tallenne Suuri Energialta 12.4.2022: Yritykset. Youtube-video (31:20 – 32:20). Viitattu 15.3.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=9FWRc1TlaKM>

Lehto I, Liuksiala L, Lähde P, Olenius M, Orrberg M & Ylinen M. 2017. Aurinkosähkölaitteiden suunnittelu ja toteutus. Sähkötieto ry. Tampere: Grano Oy.

Lindholm R. 2020. Aurinkosähkölaitteiden maa-asennus – Projektin läpivienti. Opinnäytetyö (AMK). Energia- ja ympäristötekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.3.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343628/Lindholm\\_Roope.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343628/Lindholm_Roope.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

LUT. 2022. LUT-Yliopisto. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Viitattu 31.1.2023. <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>

Mertens K. 2014. Photovoltaics -Fundamentals, Technology and Practice. Chichester: John Wiley & Sons Ltd

Motiva. 2022a. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Viitattu 30.1.2023.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)

Motiva. 2022b. Mitoitusmenetelmiä. Viitattu 1.2.2023.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_ennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_ennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia)

Motiva. 2022c. Ylijäämäsihkon myynti. Viitattu 1.2.2023.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman\\_kaytto/ylijaamasahkon\\_myynti](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti)

Motiva. 2022d. Aurinkosähköljärjestelmän teho. Viitattu 6.2.2023.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)

Motiva. 2022e. Aurinkosähkötöknologiat. Viitattu 25.4.2023.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)

Motiva. 2023. Sähkön pientuotanto. Viitattu 24.3.2023.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/sahkon\\_pientuotanto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto)

Nieminen A. & Tulevaisuuden tutkimuskeskus. 2017. Aurinkoenergia- ja kysyntäjoustoselvitys. Viitattu 15.3.2023.  
[https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//aurinkoenergiaselvitys\\_ty\\_6-2017.pdf](https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//aurinkoenergiaselvitys_ty_6-2017.pdf)

NREL. 2018. National Renewable Energy Agency Laboratory. Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition. Viitattu 16.1.2023. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73822.pdf>

Orima. 2019. Orima Solar. Tasakatoille Alfa. Viitattu 7.3.2023.  
<https://orima.fi/orima-solar/tasakatoille-alfa/>

Perälä R. 2017. Aurinkosähkää. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy

Power Instruments Oy. 2018. Automaatiota, sähköä ja mekaniikkaa. Viitattu 7.4.2023. <https://www.powerinstruments.fi/asiakkaat>

SYKE. 2020. Suomen ympäristökeskus. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat eri kokoluokissa. Viitattu 20.4.2023. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien\\_hinnat\\_laskuss\(56958\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_laskuss(56958))

Tahkokorpi M, Erat B, Hänninen P, Nyman C, Rasinkoski A & Wiljander M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus

United Nations. n.d. What is renewable energy? Viitattu 28.2.2023. <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>

United States Department of Energy. n.d. Project Profile: Performance Models and Standards for Bifacial PV Module Technologies. Viitattu 28.2.2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/project-profile-performance-models-and-standards-bifacial-pv-module-technologies>

Verohallinto. 2022. Sähkön verotus. Viitattu 1.3.2023.

<https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus3/#2-s%C3%A4hk%C3%B6n-verotus>