



# Senaatti-kiinteistöjen aurinko-ohjelma ja sen kannattavuus

Anssi Pajunen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2022

Tekniikan ala

Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

**Pajunen, Anssi**

### **Senaatti-kiinteistöjen aurinko-ohjelma ja sen kannattavuus**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 71 sivua.

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Ilmastonmuutos on globaali ongelma ja sen hidastaminen on tunnustettu yhdeksi tämän hetken tärkeimmistä pitkän ajan tavoitteista maailmassa. Euroopan unionissa, kuten Suomessakin on tehty yhdessä ilmasto- ja energiapolitiittisia sopimuksia tavoitteen saavuttamiseksi. Suomen valtion liikelaitos Senaatti-kiinteistöt on myös sitoutunut omassa strategiassaan noudattamaan hallituksen linjaa edistää uusiutuvan energian käyttöä ja kehittämistä tarkoituksenaan vähentää päästöjä. Aurinkosähkö on yksi voimakkaasti kasvava uusiutuvan energian muoto, ja Senaatti-kiinteistöt onkin aloittanut suunnittelun vuonna 2019 aurinkosähköhankkeesta, jonka tarkoituksena on vuosien 2020–2022 välisenä aikana investoida 50 uuteen aurinkosähköjärjestelmään valtio-omisteisiin kiinteistöihin.

Senaatti-kiinteistöjen toimeksi antaman tehtävän tavoitteena oli selvittää vuonna 2020 asennettujen aurinkovoimalainvestointien taloudellinen kannattavuus ja voimaloiden sähköntuotantokyky verrattuna hankkeen suunnitelmien aikaisiin ennusteisiin. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella ja löytää mahdollisia syitä eroavaisuuksiin suunnitelmien sekä toteutuneiden tuotanto- ja kannattavuuslaskelmien välillä.

Tutkimus toteutettiin kvantitatiivisen menetelmän mukaan keräämällä runsaasti materiaalia investointien kustannusrakenteesta, toteutuneista kokonaiskustannuksista ja yleisesti kohteista. Tämän lisäksi aurinkosähkövoimaloista ladattiin sähköntuotantodataa vuoden 2021 tammikuun ja heinäkuun väliseltä ajanjaksoilta. Kokonaisuus muodostettiin kerätyn materiaalin ja olemassa olevan tiedon sekä Ilmatieteenlaitokselta saadun tilastodatan pohjalta.

Tutkimustulosten mukaan Senaatti-kiinteistöjen aloittaman aurinkosähköhankkeen aurinkovoimalainvestoinnit ovat olleet erittäin kannattavia. Aurinkovoimaloiden toteutunut sähköntuotto on ollut tutkittavalla ajanjaksolla kokonaisuutena hyvin lähellä sähköntuottoennusteita sekä kaikkien tutkittavien voimalainvestointien kannattavuus on ollut hyvällä tasolla. Lisäksi sähköenergian nousujohteinen hintakehitys parantaa kannattavuutta entisestään.

Aurinkosähköhankkeen ansiosta ostettavan sähkön määrä vähenee valtio-omisteisissa kiinteistöissä laskien kiinteistöjen ylläpitokustannuksia. Kustannussäästöjen lisäksi aurinkosähköhanke tukee osaltaan hyvin konsernin tavoitteita päästövähennyksistä ja tehdä valtion kiinteistöistä hiilineutraaleja vuoteen 2035 mennessä.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Aurinkosähköjärjestelmä, aurinkopaneeli, investointi, investoinnin kannattavuus

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Pajunen, Anssi**

### **Senate Properties solar project and its profitability**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 71 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

Climate change is a global problem and slowing it down is recognized as one of the most important long-term goals in the world today. In the European Union, as in Finland, climate- and energypolicy agreements have been made together to achieve this goal. Senate Properties, owned by Finnish state, has committed itself in its own strategy to follow the government's policy to promote use and development of renewable energy with the aim of reducing emissions. Photovoltaics is one of the fastest growing forms of renewable energy, and Senate Properties has begun planning a photovoltaic project in 2019. The purpose of the project is to invest between 2020 to 2022 a total of 50 new photovoltaic systems in state-owned buildings.

The target of the assignment commissioned by Senate Properties was to determine the economic viability of the solar power plant investments installed in 2020, and the power generation capacity of the power plants compared to the project projections. In addition, the aim was to examine and find possible reasons for the differences between the plans and the established production and profitability calculations.

The study was carried out according to a quantitative method, abundantly gathering data of the investment cost-structure, realized total costs and the systems in general. In addition, electricity production data for the period from January to July 2021 were downloaded from solar photovoltaic power plants. The entity was formed on the basis of the collected material and existing data as well as statistical data obtained from the Finnish Meteorological Institute.

According to the research, the solar power investments in the photovoltaic project started by Senate Properties have been very profitable. The actual electricity production of solar power plants in the period under review has been very close to the electricity production what was budgeted before the construction phase, and, and the profitability of all power plant investments has been in excellent level. In addition, the upward trend in electricity prices will further improve profitability. The amount of electricity purchased in state-owned properties will decrease, reducing the maintenance costs of the properties. In addition to cost savings, the photovoltaic project, contributes well to the Group's goals of reducing emissions and making government properties carbon-neutral by 2035.

### **Keywords/tags (subjects)**

Photovoltaic system, solar panel, investment, investment profitability

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>7</b>
1.1	Toimeksiantaja .....	7
1.2	Aurinkosähköhanke .....	8
1.3	Toteutus ja tavoite.....	9
<b>2</b>	<b>Aurinkosähkön periaate</b> .....	<b>10</b>
2.1	Auringon säteily.....	11
2.2	Valosähköinen ilmiö .....	12
<b>3</b>	<b>Aurinkosähköjärjestelmän rakenne</b> .....	<b>13</b>
3.1	Aurinkokennot.....	14
3.1.1	Ensimmäisen sukupolven aurinkokennot.....	14
3.1.2	Toisen ja kolmannen sukupolven aurinkokennot .....	16
3.2	Aurinkopaneelit .....	17
3.2.1	Teho .....	18
3.2.2	Ominaiskäyrä.....	19
3.2.3	Hyötysuhde .....	19
3.3	Invertteri .....	20
3.4	Kaapelointi .....	21
<b>4</b>	<b>Aurinkovoimalan kannattavuuden laskeminen</b> .....	<b>22</b>
4.1	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	24
4.2	Nykyarvomenetelmä .....	25
4.3	Sisäisen korkokannan menetelmä.....	26
<b>5</b>	<b>Järjestelmän suunnittelu</b> .....	<b>27</b>
5.1	Lainsäädäntö sekä ohjaus .....	28
5.1.1	Standardit.....	28
5.1.2	Sähkövero .....	30
5.2	Rakennustekninen suunnittelu ja lupa-asiat.....	31
5.3	Aurinkovoimalan mitoittaminen .....	32
5.4	Sääolosuhteet ja tuottavuus .....	33
5.5	Sähköntuotannon ennustaminen.....	34
5.6	Laaduntarkkailu .....	34
5.7	Aurinkopaneelien asennus.....	35
5.7.1	Asennustavat.....	35
5.7.2	Asennuskulmat ja suuntaus .....	38

5.8	Dokumentointi .....	42
5.9	Ylläpito .....	43
<b>6</b>	<b>Senaatti-kiinteistöjen toteutettuja voimalaprojekteja vuonna 2020 .....</b>	<b>45</b>
6.1	Senaatti-kiinteistöjen sähkönhankinta .....	46
6.2	Vuonna 2020 käyttöönotettuja aurinkosähkövoimaloita .....	47
6.3	Tuottoennuste ja toteuma .....	48
6.3.1	Tuottoanalyysi .....	50
6.4	Investointilaskelmat .....	54
6.4.1	Investointianalyysi .....	56
6.5	Sähkön hintakehitys .....	57
<b>7</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>60</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>65</b>

## Kuviot

Kuvio 1.	Auringon säteilemä energia .....	12
Kuvio 2.	Valosähköinen ilmiö pn- liitoksessa .....	13
Kuvio 3.	Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva .....	14
Kuvio 4.	Yksi- ja monikide piin valmistus .....	16
Kuvio 5.	Kennotyyppien ominaisuuksia .....	17
Kuvio 6.	Esimerkkikuva aurinkopaneelin ominaiskäyrästä .....	19
Kuvio 7.	Kaksi Sungrow- merkistä invertteriä asennusvaiheessa .....	21
Kuvio 8.	Aurinkopaneeli asennus bitumikatolle lisäpainoilla .....	38
Kuvio 9.	Aurinkopaneelin asennuskulman vaikutus sähköntuottoon .....	40
Kuvio 10.	Auringon kulkeman radan vaihtelu vuoden aikana .....	41
Kuvio 11.	Merkki, joka ilmoittaa rakennuksessa sijaitsevasta aurinkosähköjärjestelmästä .....	43
Kuvio 12.	Lämpökamerakuva aurinkopaneelin pinnalta, jossa varjo nostaa yksittäisen kennon lämpötilaa .....	44
Kuvio 13.	Tuottoennusteet ja toteuma tammikuu – heinäkuu 2021 .....	49
Kuvio 14.	Tuottoennusteet ja toteuma huhtikuu - heinäkuu 2021 .....	50
Kuvio 15.	Kuukauden keskilämpötilat .....	51
Kuvio 16.	Kesän 2021 toteutuneita lämpötiloja Helsingissä .....	52
Kuvio 17.	Auringon säteilymäärät .....	53
Kuvio 18.	Lintulahdenkuja 2 .....	54
Kuvio 19.	Investointien kannattavuus .....	56
Kuvio 20.	Tilastotietoa sähkön ja sähkönsiirron hintakehityksestä .....	58

Kuvio 21. Aurinkovoimaloiden kannattavuus sähköhinnan noustessa .....	60
---	----

### **Taulukot**

Taulukko 1. Yhteishankinnan hintatiedot sähkölle 2021 .....	47
Taulukko 2. Aurinkovoimaloiden perustiedot .....	48
Taulukko 3. Investointien nykyarvo .....	55

# 1 Johdanto

Globaali ilmasto- ja energiapolitiikka tähtää ilmaston lämpenemisen pysäyttämiseen ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseen. Vuonna 2016 voimaan tulleessa Yhdistyneiden kansakuntien ilmastomuutosta koskevassa puitesopimuksessa, eli Pariisin sopimuksessa, useat maat ympäri maailman ovat sitoutuneet poliittisesti tukemaan pitkän ajan toimia, joilla ilmastomuutoksen torjumisen tavoitteet saavutetaan vuoteen 2030 mennessä. Euroopan unionin jäsenmaat, mukaan lukien Suomi, ovat yhdessä sitoutuneet Pariisin sopimuksen noudattamiseen tavoitteiden saavuttamiseksi. (Ilmaston muutoksen torjuminen 2021) EU:n tavoite on vähentää päästöjä 55 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä ja olla täysin ilmastoneutraali talous ja yhteiskunta vuoteen 2050 mennessä (Pariisin ilmastosopimus 2022). EU:n yhteinen ilmasto- ja energiapolitiikka ohjaa vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä suosii synteettisiä ja erityisesti uusiutuvia energianlähteitä. Suomen tavoitteena on, että täysin uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta on 51 % jo vuoteen 2030 mennessä ja vuonna 2035 Suomi on kokonaan hiilineutraali. Tavoitteeseen pääsemiseksi Suomen hallituksen hyväksymä ilmasto- ja energiastrategia pyrkii lisäämään ja tukemaan nykyistä enemmän uusiutuvan energian käyttöä, kuten tuuli-, vesi- ja aurinkovoimaa. (Uusiutuva energia Suomessa 2022)

Uusiutuvan energian käyttöön kannustetaan yksityisellä sektorilla muun muassa verohelpotuksin ja suoralla rahallisella tuella, joka voidaan kohdistaa esimerkiksi lämmitysmuodon vaihtamiseen fossiilisesta polttoaineesta uusiutuvaan energiamuotoon tai ympäristöystävälliseen sähköntuotantoon auringosta saatavan sähköenergian avulla. Auringosta saatava sähkö on erinomainen tapa tuottaa uusiutuvaa sähköenergiaa niin, että sen tuotanto on päästötöntä ja edistää hiilineutraaleja tavoitteita. Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on julkisella sektorilla toimiva valtionhallinnon strateginen kumppani Senaatti-kiinteistöt, joka noudattaa toiminnassaan valtion omistajaohjauksen periaatteita ja pyrkii edistämään toimissaan ilmastotavoitteiden saavuttamista ja hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä.

## 1.1 Toimeksiantaja

Senaatti-kiinteistöt on Senaatti-konserniin kuuluva Suomen valtion liikelaitos, kiinteistöasiantuntija ja toimitilakumppani. Senaatti-kiinteistöt toimii valtiovarainministeriön hallinnonalalla ja sen

toimintaa ohjaa valtion liikelaitoksia säätelevä laki sekä Senaatti-kiinteistöistä annettu valtioneuvoston asetus. Valtion liikelaitos tuottaa palveluja pääsääntöisesti valtionhallinnolle sekä yhteisöille, joiden toimintaa rahoitetaan Suomen valtion määrärahoista. Senaatti-kiinteistöt huolehtii ja kehittää Suomen valtion kiinteistöomaisuutta, jota on noin 4,1 miljardin euron arvosta ja joka käsittää erilaisia kiinteistöjä, toimistoja ja erityiskiinteistöjä yhteensä noin 8900 kappaletta. (Senaatti pähkinänkuoressa N.d.)

Yksi Senaatti-kiinteistöjen strategian kulmakivistä on yhteiskuntavastuu, joka tarkoittaa muun muassa sitä, että uudisrakennukset ja saneeraukset toteutetaan painottaen ympäristöystävällisyyttä. Lisäksi kaiken hankittavan energian tulee olla puhtaasti uusiutuvasta energianlähteestä. Suuri määrä kiinteistöjä kuluttaa myös runsaasti sähköä, ja tästä syystä sähkönhankinta on toteutettu Suomen valtion yhteishankinnan kautta. Yhteishankinnan kautta toteutettu sähkönhankinta tarkoittaa sitä, että yhteisen sähkönhankinnan lisäksi markkinoilta hankitaan alkuperäistakuita, joilla markkinasähkön hiili-intensiivisyys kompensoidaan 100-prosenttisesti. (Yhteiskuntavastuuraportti Energia ja vesi 2018). Tämän lisäksi ympäristöystävällistä sähköä tuotetaan myös omavaraisesti aurinkoenergian avulla, jota varten Senaatti-kiinteistöt on käynnistänyt valtakunnallisen aurinko-ohjelman vuonna 2019 tavoitteenaan olla yksi merkittävimmistä aurinkosähkön tuottajista Suomessa.

## **1.2 Aurinkosähköhanke**

Vuonna 2019 esitellyn kolmivuotisen aurinkosähköhankkeen tarkoituksena on kasvattaa uusiutuvan energian omavaraista tuotantoa investoimalla miljoona euroa vuosittain uusiin aurinkovoimaloihin. Aurinkovoimala, aurinkosähkövoimala, aurinkosähköjärjestelmä tai valosähköinen järjestelmä ovat nimityksiä järjestelmäkokonaisuudelle, jonka tarkoituksena on tuottaa sähköä auringonvalon avulla. Tavoitteena on hankkia vuoteen 2022 mennessä noin 50 uutta aurinkovoimalaa, ja kasvattaa Senaatti-kiinteistöjen silloisen noin 250 kWp tuotantoteho 20-kertaiseksi, eli noin viiden megawattipiikin tehoiseksi. Hanke vähentää tarvetta ostaa sähköntuotannon alkuperäistakuita, tukee Suomen valtion päästövähennystavoitteita sekä parantaa osaltaan sähkön omavaraisuusastetta. Investointi aurinkosähköjärjestelmästä tehdään oletuksena kaikkiin uudisrakennuskohteisiin sekä harkinnanvaraisesti olemassa oleviin, joissa on mahdollista rakentaa järkevän kokoinen aurinkosähkövoimala. (Senaatti ottaa ison harppauksen aurinkosähkön tuotannossa



2019) Vuoden 2020 aikana valmiiksi rakennettujen aurinkosähkövoimaloiden määrä oli 16 kappaletta, joista jakeluverkkoon liitettyjä käyttöönotettuja voimaloita oli 12 kappaletta. Näistä kahdestatoista käyttöönotetusta voimalasta saatiin tekniikan puolesta täysimääräisesti aurinkovoimalla tuotettua ympäristöystävällistä sähköä heti vuoden 2021 alusta lähtien. Vuoden 2021 lopussa aurinkosähkövoimaloita oli asennettu yhteensä jo 34 kappaletta, joista käyttöönotettuja oli 29.

### **1.3 Toteutus ja tavoite**

Senaatti-kiinteistöt toimeksiantajana halusi, että vuoden 2020 aikana asennettujen aurinkosähkövoimaloiden osalta tehtäisiin tarkastelu voimaloiden laitetoimittajan antaman tuotantoennusteen ja vuoden 2021 aikana toteutuneen tuotannon välillä. Tämän lisäksi tarkasteltavien aurinkosähkövoimaloiden osalta investointien kannattavuus tuli laskea toteutuneiden kustannusten mukaan. Toisin sanoen tämän opinnäytetyön perusteena on toimeksiantajan perustaman aurinkosähköhankkeen kannattavuuden tarkasteleminen ja todentaminen, sillä hanke on käynnistynyt jo aiemmin ja hankkeen perustamisen alussa on ollut tietyt ennusteet ja oletukset kannattavuudesta.

Opinnäytetyössä analysoidaan ja arvioidaan erilaisia tuotantoon vaikuttavia tekijöitä ja olosuhteita sekä peilataan niitä toteutuneeseen tuotantodataan ja tarkasteluajanjaksolla vallinneisiin olosuhteisiin. Lisäksi työssä tarkastellaan muun muassa mistä aurinkosähkövoimalan kustannukset koostuvat, kuinka voimalakustannusten muutokset vaikuttavat kannattavuuteen investointina, millä tavoin niihin on mahdollista vaikuttaa ja mitä asioita on voimalan suunnittelussa tarpeen huomioida. Ennen kaikkea opinnäytetyössä esitellään, kuinka kannattava investointi aurinkosähkövoimala on.

Opinnäytetyön luvuissa 2–5 käsitellään aurinkosähköjärjestelmiä, järjestelmien toimintaan vaadittavia olennaisia komponentteja, toimintaperiaatteita ja kuinka sähköä voidaan luoda käyttämällä hyväksi valosähköistä ilmiötä. Lisäksi esitellään investointien kannattavuuden laskentaan parhaiten soveltuvat laskentamenetelmät ja niiden käyttö. Teoriaosuuden viimeisessä luvussa käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän hankinnan suunnittelussa huomioitavat olennaiset lakisääteiset ja standardoidut ohjeistukset sekä muun muassa tärkeimmät aurinkovoimalan sähköntuotannon tehokkuuteen vaikuttavat tekijät.

Luvusta kuusi eteenpäin keskitytään Senaatti-kiinteistöjen vuonna 2020 käyttöön otettujen ja vuoden 2021 aikana sähköä tuottaneiden aurinkosähkövoimaloiden kannattavuuteen sekä toteutuneen sähköntuotannon tarkasteluun. Tässä luvussa esitellään ja vertaillaan ennustettuja ja toteutuneita sähköntuotantolukuja, analysoidaan syitä, seurauksia ja korrelaatiota tuotantoon vaikuttavien tekijöiden valossa sekä esitellään lukijalle kohdekohtaiset todelliset investointilaskelmat kirjallisesti analysoiden sekä visuaalisin kuvaajin. Lopuksi pohdintaosiossa opinnäytetyön sisältö tiivistetään yhteenvedoksi ja pohditaan tutkimustuloksia sekä mahdollisia tulevaisuuden suuntaviivoja teknologian kehittymisen osalta.

Tämä opinnäytetyö on kvantitatiivinen tutkimus, joka perustuu teoriaosuuden jälkeen pääasiassa määrällisen kerätyn tutkimusaineiston analysointiin. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä ja sisältö täyttää kvantitatiivisen tutkimuksen ominaispiirteet, jotka hyödyntävät täsmällisiä, tilastollisia tai laskennallisia ominaisuuksia. Lopputuloksen aikaansaamiseksi on kerätty erilaista numeerisesti mitattavaa aineistoa ja dataa, jota käytetään omien päätelmien ja todennettävien pohdintojen tukena. (Numerolukutaito 2010)

Opinnäytetyössä käytettävä kohdekohtainen materiaali ja tieto on hankittu konsernin sisältä kesän 2021 aikana voimalaprojekteissa arkistoiduista dokumenteista sekä voimaloista etänä kerätystä tuotantodatasta. Näiden lisäksi tarkentavaa erikoisasantuntemusta ja tilastotietoa aiheesta on saatu Senaatti-kiinteistöjen sopimuskonsulteilta sekä muun muassa muilta riippumattomilta voimaloiden tuottavuuteen perehtyneiltä tutkimuslaitoksilta, kuten Ilmatieteenlaitokselta ja Energiasvirastolta.

## **2 Aurinkosähkön periaate**

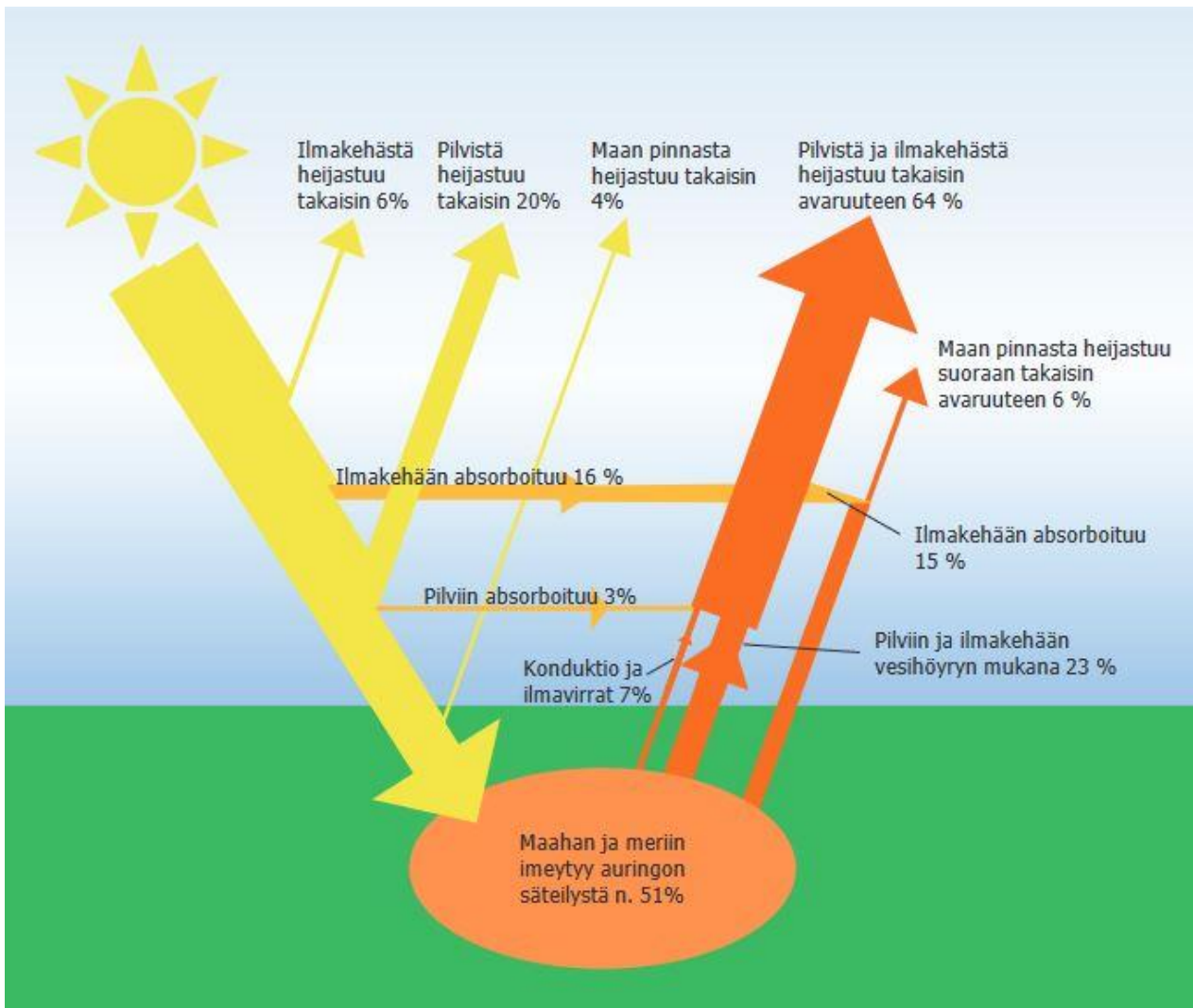
Aurinkosähkö ja sen tuotanto perustuu auringosta tulevaan säteilyyn sekä valosähköisen ilmiön hyödyntämiseen aurinkopaneeleissa. Tämän lisäksi tuotantoon vaikuttaa osaltaan myös aurinkopaneelien puolijohdemateriaalit ja niiden ominaisuudet. Auringon säteilystä aurinkoenergiaa hyödyntävissä sovelluksissa käytetään pääasiassa ultraviolettin ja lähi-infrapun välisestä säteilyalueesta. Aurinko säteilee maapallon kaasukehälle noin  $1370 \text{ W/m}^2$  teholla ja tätä säteilytehoa kutsutaan aurinkovakioksi. Aurinkovakio on säteilymäärän teoreettinen maksimiarvo, josta suuri osa suodattuu kuitenkin pois ennen maanpinnalle saapumistaan. (Lehto, I., Orrberg, M., Ylinen, M. & Andersén, M. 2021, 9.)

## 2.1 Auringon säteily

Auringosta maan pinnalle tulevan kokonaissäteilyn teho on noin 170 000 terawattia. Kokonaissäteilystä suodattuu maan ilmakehässä pois jopa 40 % tehosta. Yhtä neliometriä kohden auringonsäteilyä tulee keskimäärin noin 1000 wattia, kun ilmakehän vaikutus huomioidaan. Säteilyteho vaihtelee alueellisesta sijainnista riippuen ja päiväntasaajalla säteilytehon intensiteetti voikin olla jopa 2700 wattia, kun taas Islannissa jäähdään vain 800 wattiin. Kokonaissäteilytehoon vaikuttaa myös auringonsäteilyn tulokulma, joka vaihtelee sijainnin ja vuodenajan mukaan. (Tahkokorpi, M., Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A. & Wiljander, M. 2016, 12–14.)

Kokonaissäteily koostuu suorasta säteilystä, hajasäteilystä ja vastasäteilystä. Suora säteily on auringon säteilyä, joka pääsee ilmakehästä suoraan maan pinnalle. Hajasäteily on säteilyä, joka heijastuu ilmakehän molekyyleistä, pilvistä ja maasta. Vastasäteilyä syntyy, kun ilmakehän vesihöyrystä ja otsonista heijastuu lämpöä takaisin maan pinnalle. Suomessa suurin osa auringon säteilyä on hajasäteilyä. (Tahkokorpi ym. 2016, 14.)

Vuotuinen säteily määrä vaakasuuralle pinnalle on Ilmatieteen laitoksen laskelmien mukaan Helsingissä noin 980 kWh/m<sup>2</sup> ja Sodankylässä noin 790 kWh/ m<sup>2</sup>. Keski-Suomen arvo asettuu niiden ääripäiden väliin. (Aurinkopaneelit toimivat Suomessa hyvin 2019)



Kuvio 1. Auringon säteilemä energia (Lehto, I., Orrberg, M., Ylinen, M. & Andersén, M. 2021, 9.)

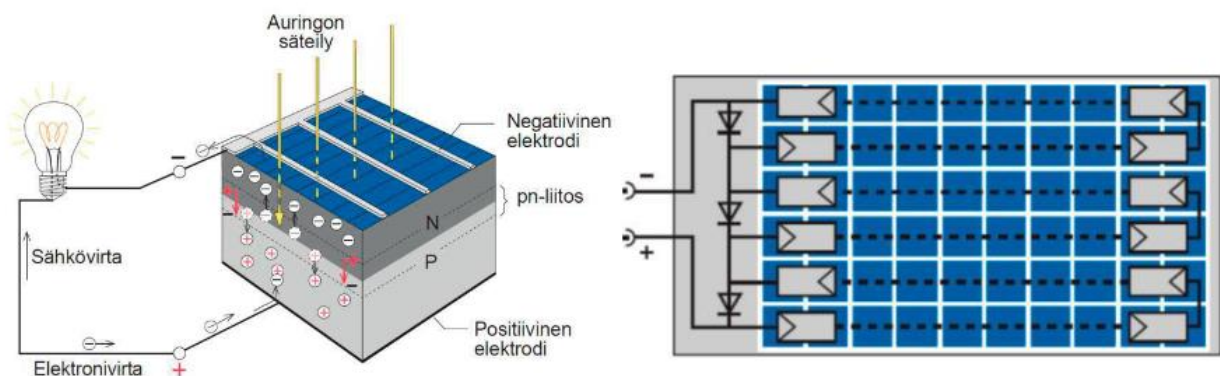
## 2.2 Valosähköinen ilmiö

Auringon säteily koostuu fotoneista, jotka kuljettavat säteilyenergiaa. Fotonien osuessa metallin pinnalle, ne absorboituvat atomien kanssa ja samalla fotonien energia siirtyy atomien elektroneille. Ilmiötä kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi, ja sitä käytetään hyväksi aurinkopaneelien sähköenergian tuotannossa. (The Photoelectric Effect 2019)

Aurinkopaneeleissa valosähköinen ilmiö saadaan muutettua sähköenergiaksi aurinkokennojen eli puolijohdekennojen avulla. Puolijohdekennoissa käytetään p- tyyppin ja n-tyypin puolijohteita. Näille on ominaista, että n-tyypin puolijohdekennojen materiaalissa on enemmän elektroneja kuin p-tyy-

pin puolijohdeessa. Jotta puolijohdeiden eriarvoinen määrä elektroneja saadaan aikaan, valmistuksessa n-tyyppin puolijohdeeseen lisätään fosforia ja p-tyyppin puolijohdeeseen booria. (Aurinkosähköteknologiat 2021)

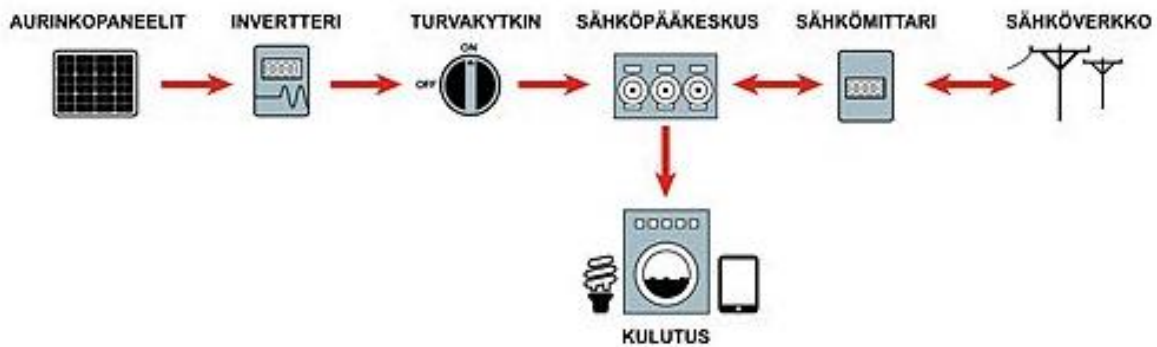
Kun n- ja p-tyyppin puolijohdekennot asetetaan päällekkäin, syntyy pn-liitos. Pn-liitoksessa saadaan fotonien ionisoimat elektronit siirtymään niin, että n-tyyppin puolijohdeeseen negatiivisesti varautunut elektroni hakeutuu p-tyyppin puolijohdeeseen vapaaseen aukkoon. Siirtyessään elektroni jättää vastavasti n-tyyppin puolijohdeeseen positiivisesti varautuneen aukon. Tämä elektronien liike synnyttää puolijohdeiden välille sähkömotorisen voiman eli jännitteen. Tämä jännite otetaan aurinkosähköjärjestelmässä talteen kennon ulkopuolisella virtapiirillä. Suljetun virtapiirin kautta johdetaan elektronit p-tyyppin puolijohdeelta takaisin n-tyyppin puolijohdeelle ja näin ollen elektronien liike saa aikaan ulkoisessa virtapiirissä sähkövirran. (Aurinkosähköteknologiat 2021)



Kuvio 2. Valosähköinen ilmiö pn- liitoksessa. (Aurinkosähköopas N.d.)

### 3 Aurinkosähköjärjestelmän rakenne

Aurinkosähköjärjestelmä rakentuu yksinkertaisuudessaan tasavirtaa (DC) tuottavista aurinkopaneeleista sekä tasavirtaa vaihtovirraksi (AC) muuttavasta invertteristä. Aurinkopaneelit on kasattu useista aurinkokennosta. Järjestelmän kytkennät tehdään standardit täyttävillä asennuskaapeleilla, suojalaitteilla ja turvakytkimellä, jolla järjestelmä on mahdollista irrottaa sähköverkosta tarvittaessa. Järjestelmän sähköntuotantoa voidaan valvoa energiamittausten avulla. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2021)



Kuvio 3. Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2021)

### 3.1 Aurinkokennot

Yleisimmät ensimmäisen sukupolven kaupalliset aurinkopaneelit ovat valmistettu yksi- tai moniki-teisistä piikennoista. Toisen sukupolven ohutkalvopaneeleissa käytetään muun muassa amorfi-sesta piistä ja CIGS sekä CadTe- yhdisteistä valmistettuja kennoja. Näiden edellä mainittujen tekniikoiden lisäksi kolmannen sukupolven orgaaniset kennot ja niiden käyttö kehittyvät jatkuvasti. Kennotekniikoita on erilaisia, ja jokaisella on omat hyvät ja huonot puolensa. Kennotyyppien sovel-taminen eri ratkaisuihin vaatii tietoa ja osaamista oikean materiaalin valintaan. (Lehto ym. 2021, 12.)

#### 3.1.1 Ensimmäisen sukupolven aurinkokennot

Kaupallisessa käytössä olevista aurinkopaneelien kennoista 90 % valmistetaan piikiteestä. Piitä saadaan hiekasta, ja se on toiseksi yleisin maapallolta saatava raaka-ainemateriaali. Piikidekennoja on kahdenlaisia, yksi- ja monikide kennoja. Vaikka molempien kennojen toiminta perustuu puoli-johdetekniikkaan, eroaa kennojen ominaisuudet ja ulkonäkö silti toisistaan, sillä valmistusprosessi on erilainen. (Photovoltaic energy. Electricity from the sun. N.d)

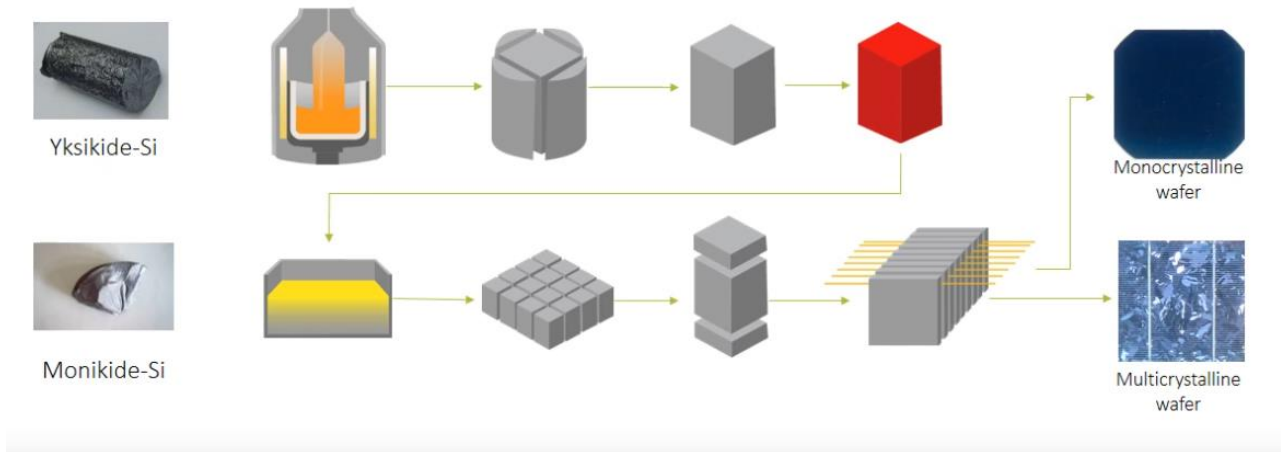
Piikiteestä kennoja valmistettaessa energiaa kuluu runsaasti ja työvaiheita on useita, mutta hyvän raaka-ainesaatavuuden ja pitkän käyttöiän myötä piikidekennot ovat ainakin toistaiseksi suosituin käytössä oleva kennoteknologia. Piikidekennoilla on myös verrattain korkeat hyötysuhteet, joka on myös yksi syy piin yleisyyteen alalla. (Aurinkokennoteknologiat 2016) Yksikiteisellä piikennolla on päästy laboratorio- olosuhteissa 26,7 % hyötysuhteeseen ja monikiteisellä piikennolla 24,4 % hyö-

tysuhteeseen (Photovoltaics report 2022). Kaupallisessa käytössä olevien yksikidekennojen hyötysuhteet ovat valmistajasta riippuen 15–20 % välillä ja monikidekennoilla hyötysuhde liikkuu 13–16 % välimaastossa. (Aurinkokennoteknologiat 2016)

Yksikiteisen piikennon (mono-Si) valmistuksessa materiaalina käytetään sulaa piitä, johon kasteetaan kokonaisia muodoltaan pyöreitä piikidetankoja. Kun sula pii on kuivunut ja kiteytynyt, piitangosta leikataan 105–300 µm paksuja pyöreitä tai neliskulmaisia kiekkoja, joiden halkaisija on 100 – 300 mm. Jos piitangosta leikataan pyöreitä kiekkoja, jää paneeleita kasattaessa pyöreiden kiekkojen reunoille hukkatilaa, jota ei voida hyödyntää paneelikäytössä, ja näin syntyy paneelin materiaalihäviötä. Pyöreästä piitangosta voidaan leikata myös neliskulmaisia tankoja, jolloin taas syntyy hukkamateriaalia poisleikattujen reunojen osalta. Poisleikattuja reunoja voidaan kuitenkin käyttää sulattamalla ne uudelleen. (Aurinkokennoteknologiat 2016)

Vaikka yksikiteisen piikennon valmistus on tarkka ja paljon energiaa vaativa prosessi, joka on myös hitaampi ajallisesti verrattuna monikiteiseen piikennoon, voittaa yksikidekenno valmistuskustanuksiltaan edullisemmän monikidekennon vertailussa paremmalla hyötysuhteellaan. (Aurinkokennoteknologiat 2016)

Monikiteisen piikennon (poly-Si) ulkomuoto on hileinen tai kiteinen. Ulkomuoto johtuu siitä, että valmistusprosessissa piitä ensin sulatetaan ja sitten jäähdytetään. Raaka-aineena käytettävää piitä sulatetaan ensin 1500 °C lämpötilassa ja sitten jäähdytetään hallitusti ohjaten samalla epäpuhtaudet valmistusastian reunoille. Jäähtyessään ja kiinteytyessään visuaalinen ulkomuoto jää kiteiseksi. Jäähtymisen jälkeen piiharkosta voidaan yksikidekennon valmistamisen tapaan leikata ohuita piikidekennoja. (Aurinkokennoteknologiat 2016)



Kuvio 4. Yksi- ja monikide piin valmistus. (Aurinkokennoteknologiat 2016)

Monikiteisen kennon hyötysuhde on aina parempi, mitä suurempia yksittäiset kiteet ovat kennon pinnalla. Hyötysuhdetta laskee pienemmät kiteet, koska näiden kidevirheiden takia elektronin poistuminen alueelta ei välttämättä ole mahdollista (Lehto ym. 2021, 13.). Kiteiden suurempaan kokoon voidaan vaikuttaa jäähtymisen aikana kemiallisilla ja thermodynaamisilla prosesseilla. (Aurinkokennoteknologiat 2016)

### 3.1.2 Toisen ja kolmannen sukupolven aurinkokennot

Piikidekennojen lisäksi on olemassa myös ohutkalvoteknologiaan perustuvaa kennoteknologiaa, jota kutsutaan toisen sukupolven kennoteknologiaksi sekä väriaineherkistettyä kennotekniikkaa, josta käytetään nimitystä kolmannen sukupolven aurinkokennot. (Lehto ym. 2021, 13–16.)

Ohutkalvokennoissa käytetään useampaa materiaalia kerrostettuna, jotka reagoivat auringon säteeseen tuottamalla sähköä auringon säteen eri aallonpituuksilla. Materiaaleina on käytetty amorfista piitä tai mikrokiteistä piitä sekä Cadmium Telluridi (CdTe) ja Kupari-Indium-Gallium-Seleeni (CIGS) yhdisteitä. Ohutkalvopaneeleissa materiaalipaksuus on ohuempi ja siitä voidaan valmistaa taipuisia kalvoja. Hyötysuhteeltaan ohutkalvokennot eivät pääse laboratorio-olosuhteissakaan piikkennojen tasolle, vaan jäävät taakse vertailussa piikkennojen hyötysuhteeseen. Hyötysuhteet ohutkalvopaneeleilla liikkuvat 5–16 % välillä. (Lehto ym. 2021, 13–16.)



Kolmannen sukupolven kennoteknologiasta puhuttaessa viitataan väriaineherkistettyihin kennoihin, eli Grätzel-kennoihin, joiden muotoa ja väriä on mahdollista muokata miltei rajattomasti. Teknologian toiminta ei perustu P-N-liitokseen, vaan kemialliseen reaktioon, eli keinotekoisesti aikaansaatuu fotosynteesiin. Tämänlaisten kennojen valmistus on halvempaa, mutta niiden elinikä ei ole toistaiseksi kuin maksimissaan muutamia vuosia. (Lehto ym. 2021, 13–16.)

Epäorgaaniset perovskittiin perustuvat Grätzel-kennot ovat kuitenkin kehittyneet paljon viime vuosina ja vaikka niiden tuloa kaupalliseen käyttöön jouduttaneen vielä odottamaan, on niiden monikäyttöisyyden ennustettu tuovan aurinkopaneelimarkkinoille edullisempia hintoja, useita käyttökohteita sekä korkeita hyötysuhteita, kunhan kehitys etenee. Tällä hetkellä korkein laboratorio-olosuhteissa saavutettu hyötysuhde perovskitti-kennolle on kuitenkin jo 23,6 %. (Perovskite Solar 2020)

Ominaisuudet	Kiteinen pii		Ohutkalvo			Orgaaninen
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Hyötysuhde (%)	13–16 %	15–20 %	5–10 %	7–16 %	7–16 %	3–5 %
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (% / +1 °C)	-0,42	-0,40	-0,1...-0,3	-0,35...-0,40	-0,25...-0,36	...
Mekaaninen kestävyys	hauras	hauras	joustava	joustava	joustava	joustava
Varjostus	herkkä	herkkä	sietää	sietää	sietää	sietää
Käyttöikä (vuotta)	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	0,5–3
Hinta	€€	€€€	€€€	€€€	€€€	€

Kuvio 5. Kennotyyppien ominaisuuksia (Lehto ym. 2021, 12.)

### 3.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit (PV panel) ovat rakenteeltaan hyvin yksinkertaisia ja ne koostuvat useista vierekkäin sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, joilla auringon säteilyenergiaa saadaan muutettua tasasähköksi. Yksi piikiteestä valmistettu aurinkokenno tuottaa auringonpaisteella tasajännitettä noin 0,5 V. Kokonaisen aurinkopaneelin jännitettä, virtaa ja tehoa saadaan kasvatettua kytkemällä

haluttu määrä kennoja sarjaan. Tietynkokoisella aurinkopaneelilla on aina teoreettinen maksimiteho, joka riippuu auringonpaisteen tehosta. (Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008, 125–127.)

Asennettaessa aurinkopaneeleja useampi rinnakkain, saadaan kasvatettua paneeliketjun virtaa suuremmaksi ja vastaavasti kytkemällä paneeleja sarjaan, kasvaa paneeliketjun jännite (ST 55.33, 2013, 2.)

Aurinkokennot asetetaan kahden lasilevyn väliin ilmatiiviisti ja koko paneeli kehystetään alumiini-kehyksillä. Näin paneeli kestää mekaanista rasitusta sekä erilaisia ilmasto-olosuhteita. Yleisimmät aurinkopaneelit ovat yksi- tai monikidekennoista valmistettuja paneeleja, jotka on erotettavissa silmämääräisesti toisistaan visuaalisen ulkomuodon perusteella. (Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet N.d.)

Paneeleita valmistetaan erilaisia eri valmistajien toimesta. Paneelit voivat erota toisistaan esimerkiksi hyötysuhteen, koon, valmistusmenetelmän ja tehon osalta. Yleisesti paneelien teho on noin 250–400 kWp ja koko vaihtelee 1,6–2,0 m<sup>2</sup> välillä. (Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet N.d.)

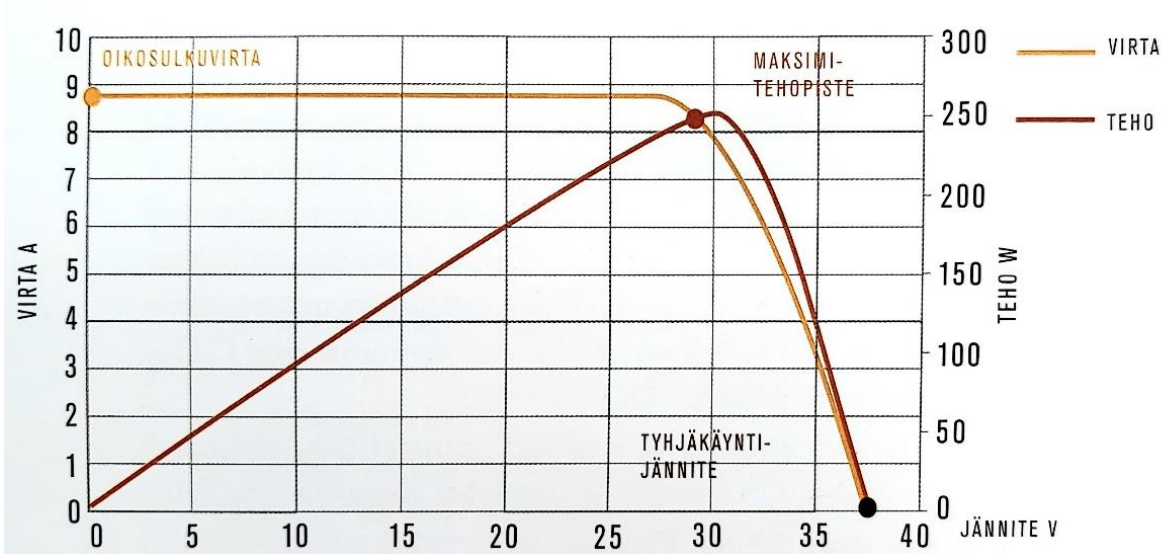
### 3.2.1 Teho

Aurinkopaneelien teho ilmoitetaan aina wattipiikkeinä (Wp). Ilmoitettu teho on paneelin nimellisteho standardiolosuhteissa. Auringonsäteilystä ja olosuhteiden lämpötilasta riippuen, paneeli saattaa tuottaa jopa 20 % nimellistehoaan enemmän sähköä esimerkiksi kevättalvella, jos paneelit ovat asennettu jyrkkään kulmaan ja auringonsäteet pääsevät paistamaan niihin suorana säteilynä sekä heijastuksena lumihangesta (Tahkokorpi ym. 2016, 138.). Standardiolosuhteissa tehty paneelin nimellistehon mittaus ilmoitetaan esimerkiksi tuotteen teknisissä tiedoissa merkinnällä STC (Standard Test Condition). STC olosuhteissa auringon säteilyn intensiteetti on 1000 W/ m<sup>2</sup> ja aurinkopaneelin lämpötila on 25 °C. (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2021)

Aurinkopaneelien teho lasketaan tehon kaavalla  $P = U \cdot I$ . Aurinkopaneelilla sekä aurinkokennoilla on oma ominaiskäyrä, josta maksimiteho on nähtävissä tietyllä virralla jännitteen funktiona. (Tahkokorpi ym. 2016, 138.)

### 3.2.2 Ominaiskäyrä

Aurinkopaneeleilla on ominaiskäyrä, josta nähdään, millä virran ja jännitteen arvoilla paneeli toimii ja paljonko se tuottaa tehoa. Ominaiskäyrästä selviää myös muun muassa paneelin tyhjäkäyntijännite, eli jännite, jonka paneeli antaa, kun mitään kuormaa ei ole kytketty. Ominaiskäyrältä on luetavissa oikosulkuvirta, joka kertoo paneelista saatavan enimmäisvirran, kun se on oikosuljettu sekä maksimitehopiste, joka kertoo jännitteen ja virran mitta-arvot, jolloin paneelista saadaan suurin ulostuloteho. Maksimiteho riippuu aina käyttöolosuhteista. (Erat ym. 2008, 125–127.)



Kuvio 6. Esimerkkikuva aurinkopaneelin ominaiskäyrästä. (Tahkokorpi, M., Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A. & Wiljander, M. 2016, 138.)

### 3.2.3 Hyötysuhde

Aurinkopaneelin hyötysuhde kertoo prosentuaalisen arvon siitä, kuinka paljon sähköä voidaan tuottaa auringon säteilyenergiasta. Hyötysuhde saadaan jakamalla aurinkopaneelista ulos saatava teho auringon säteilyn voimakkuudella ja kerrottuna aurinkopaneelin pinta-alalla. (Erat ym. 2008, 125.)

Standardiolosuhteissa auringon säteilyteho on  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Esimerkkinä  $400\text{Wp}$  nimellisteholtaan ja  $1,9\text{ m}^2$  pinta-alaltaan olevan paneelin hyötysuhde lasketaan kaavalla  $400\text{Wp} / (1,9\text{ m}^2 \times 1000\text{W}/\text{m}^2) * 100\% = 21,05\%$ . (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2021)

Standardoiduissa laboratorio-olosuhteissa aurinkopaneelien hyötysuhteissa päästään huomattavasti korkeampiin tuloksiin verrattuna todellisiin asennuksiin. Laboratoriossa mitattu hyötysuhde voi olla jopa 10 % korkeampi kuin ulos auringon alle asennetulla vastaavalla paneelilla. Tämä johtuu pitkälti siitä, että tuottavuuteen vaikuttavat ulkoiset tekijät ovat ulkoilmassa harvoin optimaaliset sekä järjestelmien kokonaishyötysuhdetta tarkasteltaessa, pitää huomioida myös kaikki johdotukset sekä liitännät laitteistojen välillä.

### 3.3 Invertteri

Vaihtosuuntaaja eli invertteri muuntaa aurinkopaneeliketjun tuottaman tasasähkön (DC) vaihtosähköksi (AC). Tasasähköä muutetaan vaihtosähköksi kytkemällä tulevaa tasasähköä ohjaussignaalilla ohjatun tehopuolijohdekomponentin avulla niin, että lähteväksi jännitteeksi saadaan taa-juudeltaan halutunlaista sinimuotoista vaihtosähköä. (Erat ym. 2008, 133.)

Invertteri kytketään kiinteistön sähköverkkoon verkkoyhtiön kulutusmittarin jälkeen kulutuslaitteiston rinnalle. Laadukas ja tehokas invertteri muuttaa aurinkopaneeleilta saadun tasasähkön sinimuotoiseksi hyvänlaatuiseksi vaihtosähköksi korkealla hyötysuhteella, eli ilman tarpeettomia häviöitä. (Invertteri N.d.)

Laadukkaan invertterin hyötysuhde on noin 96–98 %. Datalehdessä ilmoitettava hyötysuhde kertoo, kuinka paljon aurinkopaneeleilta saatavasta tasasähköstä laite pystyy muuttamaan vaihtosähköksi. Loppuosa muuntuu invertterillä hukkalämmöksi. (Invertteri N.d.) Laadukas ja turvallinen invertteri täyttää standardien IEC 62109-1 ja IEC 62109-2 vaatimukset. (IEC 62548:2016:fi 2018)

Kaikissa noin 3 kWp suuremmissa aurinkovoimaloissa on käytössä kolmivaiheinen invertteri. Useiden kymmenien kilowattipiikkien järjestelmissä on useita inverttereitä, joista vikatilanteessa voidaan kytkeä viallinen invertteri väliaikaisesti pois käytöstä ja loput jäävät toimintaan (ST 55.33, 2013, 3.)

Kolmivaiheinen invertteri tarkoittaa sitä, että se syöttää vaihtosähköä sähköpääkeskuksen kaikkiin kolmeen vaihejohtoon, jolloin aurinkosähköjärjestelmästä saadaan suurin hyöty, koska kaikkia kiinteistön sähkölaitteita voidaan syöttää järjestelmän tuottamalla sähköllä. Jos jollekin vaiheelle

syötetään enemmän virtaa kuin sen sähkölaitteet pystyvät käyttämään, siirtyy tuotettu ylijäämä-sähkö verkkoon. Tällöin on tuottajan kannalta erityisen tärkeää, että sähköyhtiön energiamittari on vaihenetettava mittari, joka huomioi ylimääräisen verkkoon syötetyn sähkön niin, että kiinteistön tuottama ylijäämä-sähkö ja kuormat lasketaan yhteen ja niiden erotus menee laskutukseen. Jos vaihenetotusta ei ole käytössä, voi syntyä epäedullinen tilanne, jossa sähköliittymän omistaja ostaa ja myy sähköä samanaikaisesti. (Tahkokorpi ym. 2016, 144.)



Kuvio 7. Kaksi Sungrow- merkistä invertteriä asennusvaiheessa

### 3.4 Kaapelointi

Aurinkopaneelien mukana tulee yleensä liitäntäjohdot poikkipinta-alaltaan 4 tai 6 mm<sup>2</sup>. Mitoittamiseen on mahdollista käyttää paneeliryhmän maksimitehoa. Johdotuksen mitoittamisen standardit tulevat SFS 6000 pienjännitesähköasennuksen osasta 5–52:2017 Johtojärjestelmien valinta ja asentaminen. Kaapeloinnin mitoittamiseen vaikuttaa asennusolosuhteet, jossa huomioitavaa on korkea lämpötila, oikosulkuvirta ja jännitekestoisuus. Nämä tekijät alentavat mitoituksessa kaapelin kuormitettavuutta. Tasasähköjärjestelmien liitännässä varsinkin paneelien osalta, käytetään yleensä pikaliittimiä. Pikaliittimistä käytetyin on MC4. (Lehto ym. 2021, 129.)

Kun aurinkopaneelit asennetaan ulkoilmaan, ne altistuvat sään ja vuodenaikojen vaihtelulle, jolloin lämpötilan muutokset ovat suuria. Kuumana kesäpäivänä pintaolosuhteet tummapintaisella katoilla voivat olla jopa +70°C ja UV-valon määrä on mittava. Talviaikaan tarvitaan myös mekaanista kestävyyttä, kun kaapelien päällä voi olla lunta tai jäätä ja niitä voi olla tarpeen kolata tai lapioida katoilta alas. Kaapelien on kestävä riittävästi mekaanista rasitusta sekä säävaihteluja. (Lehto ym. 2021, 129.)

Oikosulkukestoisuuden osalta kaapelin tulee kestää 1,25 kertaisesti paneeliketjun yhteenlaskettu korkein oikosulkuvirta ISC. Jos tämä ei ole mahdollista, pitää käyttää erillisiä ylivirtasuojia (gPV su-lake). Suurissa aurinkovoimaloissa paneeliketjuja kytketään useampia rinnakkain, ja jos jossakin paneelissa tulee vika, alkaa rinnalle kytketyt paneeliketjut syöttämään lisää virtaa oikosulussa olevaan paikkaan. Tällöin oikosulkuvirta voi kasvaa suureksi ja onkin ensiarvoisen tärkeää, että kaapelin poikkipinta-ala on riittävä suuremman kuormituksen vuoksi ja käytössä on ylivirtasuojat. (Lehto ym. 2021, 130.)

Aurinkosähköjärjestelmän tasajännitelaitteilla jännitekestoisuus pitää olla yli 1000 V. Suurissa paneeliasennuksissa, joissa kaapelivedot ovat pidempiä, kasvaa kaapelin resistanssi ja tätä myötä jännitehäviöt. Jännitealeneman suositellaan jäävän kuitenkin alle 1 %. (Lehto ym. 2021, 129.)

Invertterin ja sähkökeskuksen välinen vaihtosähkö- kaapelointi voidaan tehdä esimerkiksi MCMK-kaapelilla, jossa on konsentrisen PE- johdin. Suositeltavaa on käyttää EMC vedonpoistoholkkeja. Jos invertteri on ulkotiloissa, pitää ottaa huomioon samat vaikuttavat tekijät kuin tasasähkökaapeloinnissakin. Mitoittamisessa käytetään siis SFS 6000-5-52 standardin ohjeistusta, invertterin nimellistehoa tai 1,1 kertaista mitoitusvirtaa. (Lehto ym. 2021, 131.)

## **4 Aurinkovoimalan kannattavuuden laskeminen**

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuteen vaikuttaa monta osa-aluetta, joista muodostuu kokonaiskannattavuus. Järjestelmään tarvittavat komponentit, kuten aurinkopaneelit ja invertteri muodostavat olennaisen osan investoinnin kustannuksia. Lisäksi myös suunnittelun, asennustyön ja ylläpidon osuus on merkittävä, kun tarkastellaan kannattavuutta aurinkosähköjärjestelmän

elinkaaren kustannuksista. Pitkällä aikavälillä suunnittelun tärkeys ja tekniset ominaisuudet korostuvat, sillä ne vaikuttavat siihen, kuinka tehokkaasti tuotantopotentiali saadaan hyödynnettyä. (Lehto ym. 2021, 67.)

Tarkkoja investointilaskelmia ja herkkyyssanalyysia tehtäessä, on tärkeää huomioida alkuhankintamenon, vuotuisten tuottojen ja investointiajan lisäksi vuosittain kertyvät menot, jäännösarvo sekä käytettävä laskentakorkokanta. Hankintameno toteutuu heti investoinnin alussa konkretisoituvista kustannuksista ja on helposti määriteltävissä oleva lähtöarvo. Menot ja tuotot ajatellaan kertyvän ja erääntyvän aina vuosittain. Menoja ovat lähinnä ylläpidosta ja huollosta koituvat kustannukset ja tuottoja ovat investoinnin tuoma taloudellinen hyöty, kuten myyntituotot tai kustannussäästöt. Kun vuosittain käsitellään tuotot ja kustannukset vähentämällä tuotoista kaikki kertyneet kustannukset, on kannattavuuden näkökulmasta tärkeää, että tuottoja kertyy enemmän. Tällöin puhutaan nettotuotoista. (Saaranen, P., Koltola, E. & Pösö, J. 2010, 295–297.)

Kannattavuutta laskettaessa pitää tarkastella kokonaisuutta arvioiden myös investoinnin pitoaikaa. Pitoaika on tavallisesti aika, jonka investoitavan tuotteen arvioidaan taloudellisesti kestävän. Kun investointiaika on päättynyt, on jäljelle jäävällä tuotteella jokin jäännösarvo. Jos pitoaika on kuitenkin todella pitkä, voi jäännösarvo olla pieni tai jopa negatiivinen. Negatiivinen jäännösarvo voi johtua esimerkiksi siitä, että sen asianmukainen hävittäminen aiheuttaa kustannuksia. Kun investointi tehdään, sidotaan siihen aina pääomaa. Kun sijoitetulle pääoman tuotolle asetetaan tavoitteeksi jokin korko, kutsutaan tätä laskentakorkokannaksi. Laskentakorkokantana voidaan pitää esimerkiksi investoinnin rahoittamiseen tarvittavan lainapääoman hintaa, eli korkoa, investoidun oman pääoman tuottovaatimusta, tai sijoitetun pääoman tuottoa jossakin vaihtoehtoisessa sijoituskohteessa. (Saaranen ym. 2010, 295–297.)

Laskentakorkokantaa määriteltäessä lasketaan yleensä vieraan pääoman ja oman pääoman tuottovaatimusten painotettu keskiarvo, eli pääoman keskimääräinen kustannus (WACC). (Saaranen ym. 2010, 297.) Pääoman keskimääräinen kustannus lasketaan käyttäen kaavaa 1.

$$WACC = \frac{OP}{OP+VP} \cdot T_{OP} + \frac{VP}{OP+VP} \cdot T_{VP} \cdot (1 - YV) \quad (1)$$

jossa  $OP$  = oma pääoma  
 $VP$  = vieras pääoma  
 $T_{OP}$  = tuottovaatimus omalle pääomalle  
 $T_{VP}$  = tuottovaatimus vieraalle pääomalle  
 $YV$  = yritysverokanta desimaalilukuna

Investoinnin suunnitteluvaiheessa laskettaessa kannattavuutta voidaan käyttää esimerkiksi yksinkertaista takaisinmaksuajan menetelmää, nykyarvomenetelmää ja sisäisen koron menetelmää. Kaksi jälkimmäistä menetelmää ovat kuitenkin ylivoimaisesti tarkempia laskutapoja teoreettisesti, sillä niissä ei ole virhetulkinnan vaaraa kuten takaisinmaksuajan menetelmässä. (Investointilaskelmilla jalat pysyvät maassa 2008)

#### 4.1 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmää käyttäen lasketaan kuinka monessa vuodessa investoinnin vuotuiset nettotuotot ylittävät hankintamenon arvon. Investointi on sitä parempi, mitä lyhyemmäksi takaisinmaksuaika jää. Kyseinen menetelmä on hyvin yksinkertainen ja ei huomioi ollenkaan korkokantaa. Myöskään investoinnin jäännösarvoa tai tuottoja sekä kustannuksia saavutetun takaisinmaksuajankohdan jälkeen, ei lasketa mukaan. Näistä syistä johtuen, tätä menetelmää ei voida käyttää kuin todella lyhyiden investointien karkeaan suuntaa antavaan arviointiin tai enemminkin tukemaan laskennan tuloksia yhdessä muiden laskentatapojen kanssa. On myös olemassa korollinen takaisinmaksuajan menetelmä, joka huomioi kyllä korkojen vaikutuksen, mutta kuten yksinkertaisessa menetelmässä, myöskään korollisessa takaisinmaksuajan menetelmässä ei huomioida takaisinmaksuajan jälkeisiä tuottoja, kuluja tai loppuarvoa. Takaisinmaksuajan menetelmässä investointi on kannattava, jos takaisinmaksuaika on pienempi kuin investoinnille etukäteen asettama tavoiteaika. (Saaranen ym. 2010, 299.) Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 2.

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{\text{hankintameno}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} \quad (2)$$



## 4.2 Nykyarvomenetelmä

Kun lasketaan kannattavuutta nykyarvomenetelmällä, täytyy kaikki investoinnin tulot ja menot diskontata nykyhetkeen, jotta niistä saadaan vertailukelpoisia. Diskonttaaminen tarkoittaa sitä, että tulevaisuuden tuloista, menoista ja kasvaneesta pääomasta vähennetään korkovaikutus, jolloin siitä saadaan ratkaistua alkuperäinen sijoitettu pääoma. Tätä nykyhetkeen diskontattua arvoa kutsutaan nykyarvoksi. (Hautamäki, A., Martio, L., Parmanen, K., Portaankorva-Koivisto, P. & Sirviö, S. 2010, 108)

Nykyarvomenetelmällä kannattavuutta laskettaessa investointi on kannattava, kun diskontatut tulot ovat suuremmat kuin diskontatut menot, eli laskettaessa niiden erotus, jää nettonykyarvo positiiviseksi. Nettonykyarvon ollessa negatiivinen, aiheuttaa investointi enemmän kuluja kuin tuloja, joten investointi ei ole kannattava. (Hautamäki ym. 2010, 108) Jos tuottojen ja kustannusten nykyarvo yhteenlaskettuna jäännösarvoa vastaavan alkuperäisen pääoman kanssa on yhtä suuri kuin hankintameno, saadaan sijoitetulle pääomalle vähintään käytetyn korkokannan mukainen prosentuaalinen tuotto. (Karjalainen, L. 2009, 299.)

Jos laskentakorkokantaa käytetään investoinnin tuottovaatimuksena ja nettonykyarvon tulos on positiivinen, on investointi kannattava ja se tuottaa minimissään vaaditun prosentuaalisen tuoton investoidulle pääomalle. (Investointilaskelmilla jalat pysyvät maassa 2008)

Jos nykyarvomenetelmää käytetään vertailtaessa investointivaihtoehtoja, on paras vaihtoehto kannattavuuden näkökulmasta se, jossa diskontatun nykyarvon ja hankintakustannuksen erotuksesta saadaan suurin luku (Karjalainen, L. 2009, 299.). Nykyarvo voidaan laskea käyttämällä kaavaa 3.

$$NPV = I_0 \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t \quad (3)$$

jossa  $NPV$  = Nykyarvo  
 $I_0$  = Hankintameno  
 $r$  = Laskentakorkokanta  
 $t$  = Investointiaika

### 4.3 Sisäisen korkokannan menetelmä

Kun käytetään investoinnin laskentaan sisäisen korkokannan menetelmää, siinä etsitään korkokantaa, jolla investoinnin tuottojen nykyarvo ja kulujen nykyarvo ovat yhtä suuret. Laskennasta saatua korkoa kutsutaan sisäiseksi korkokannaksi ja se kertoo kuinka suuren prosentuaalisen tuoton investointi tuottaa sijoitetulle pääomalle. (Karjalainen, L. 2009, 303.)

Jos sisäisen korkokannan laskettu korko on tavoiteltua tuottovaatimusta korkeampi tai vähintään samankokoinen, on investointi kannattava. Kun vertaillaan eri investointeja, on se investointi kannattavin, jonka sisäinen korkokanta on laskemalla suurin. (Saaranen ym. 2010, 299.) Sisäisen korkokannan menetelmää on mahdollista käyttää myös vertailtaessa erilaisia rahoitusvaihtoehtoja ja niiden keskimääräistä kustannusta (Karjalainen, L. 2009, 303.)

Sisäisen korkokannan menetelmä on yleisesti ottaen paras menetelmä vertailtaessa kannattavuutta eri investointien välillä. Menetelmä on varsin helppokäyttöinen lyhytaikaiselle investoinnille, mutta jos investointiaika on pitkä, tulee laskusta helposti jo monennen asteen yhtälö ja silloin onkin syytä käyttää laskentaohjelmien funktioita. (Karjalainen, L. 2009, 303.)

Sisäisen koron laskennassa ei voi käyttää suoraa kaavaa. Sisäinen korko täytyy laskea esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmalla tai laskimella kokeilemalla eri diskonttokorkoja, jolla päästään mahdollisimman lähelle nollaa investoinnin nettonykyarvossa. Laskimella lasketaan jokaisen rahavirran (Rahavirtaerä) nykyarvo erikseen ja yhteen lasketaan ne alkuinvestoinnin kanssa, jotta saadaan nettonykyarvo. Tämän jälkeen toistetaan laskentaa eri diskonttokoroilla, niin kauan kunnes nettonykyarvo on nolla. Excelissä sisäisen koron funktiona käytetään komentoa SISÄINEN.KORKO, kun

rahavirta on säännöllinen ja SISÄINEN.KORKO.JAKSOTON, kun rahavirta on epäsäännöllistä. (Sisäinen korko N.d.) Sisäinen koron laskentaan käytetään kaavaa 4.

$$\sum_{t=1}^N \frac{S_t}{(1+IRR)^t} - I_0 = 0 \quad (4)$$

jossa  $t$  = Ajankohta

$S_t$  = Investoinnin tuottama kassavirta ajan hetkellä  $t$

$I_0$  = Hankintameno

$IRR$  = Sisäinen korkokanta

## 5 Järjestelmän suunnittelu

Ennen aurinkovoimalan asentamista on tärkeää toteuttaa oikeanlainen järjestelmän suunnittelu ja mitoittaminen, että kaikki investoinnin kustannukset ovat selvillä ja on mahdollista laskea ja tarkastella kannattavuutta. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun tärkein osa-alue kannattavuuden kannalta on oikein mitoitettu aurinkosähkövoimalan koko sähkönkulutukseen suhteutettuna. Aurinkosähköjärjestelmät sopivat erityisen hyvin kiinteistöihin, joissa kesän sähkönkulutuksesta menee suuri osa jäähdyttämiseen, kuten toimistoissa ja kiinteistöihin, joissa tarvitaan paljon kylmälaitteita (Tahkokorpi ym. 2016, 177.). Sähkönkulutuksen toteutunut tuntikohtainen kulutus on saatavilla sähkönmyyjältä tai kokonaan uuden kiinteistön kohdalla sähkönkulutus ja aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen voidaan perustaa arvioon sähkönkulutuksesta. (Lehto ym. 2021, 85.)

Suunnittelussa sähkönkulutuksen lisäksi, mitoittamiseen vaikuttaa käytettävissä oleva ja paneelin asennukseen tarvittava pinta-ala tai asennuspaikka. Myös asennusympäristön tekijät on hyvin tärkeää ottaa huomioon jo järjestelmää suunniteltaessa. Edellä mainittujen lisäksi suunnittelussa pitää huomioida järjestelmän asentamisen aikaiset olosuhteet sekä tärkeänä myös investointiin vaikuttavat taloudelliset tekijät ja budjetointi, että päästään mahdollisimman optimaaliseen ja kannattavaan lopputulokseen. (Lehto ym. 2021, 85.)

Koska aurinkosähköjärjestelmä on pitkäikäinen investointi tulevaisuuteen, on hyvä ottaa huomioon, että kannattavuutta tarkastellessa myös sähkön hinta kehittyy. Sähkön mahdollinen hinnan

nousu, nostaa myös paneelien kannattavuutta, sillä paneelien tuottaman sähkön omakustanne-hinta pysyy samana.

Sähkön ylituoton varastointiin ja netotukseen on joillakin sähköyhtiöillä olemassa virtuaaliakkuja, joihin ylituotettua sähköä on mahdollista varastoida. Tällaiset palvelut ovat yhtiökohtaisia ja voivat sisältää erilaisia toisistaan poikkeavia ehtoja, joissa on hyvä olla tarkkana. (Kuinka valitsen oikean määrän aurinkopaneeleita 2020)

Mitoituksen lisäksi on hyvä olla tieto myös erilaisista pientuotantoa ohjaavista laki- ja lupa-asi-oista. Luvat ja ohjeistavat standardit eivät koske ainoastaan aurinkosähköjärjestelmän kokoa tai asentamista, vaan lainsäädäntö ohjaa rakentamista, turvallisuutta sekä laitteiston verkkoon liittämistä. Näiden lisäksi tuotantoon on omat raamit myös verottajan puolelta. (Lupa-asiat 2021)

## **5.1 Lainsäädäntö sekä ohjaus**

Kaikissa toteutettavissa aurinkosähköjärjestelmissä pitää huolehtia siitä, että erinäisiä säädettyjä lakeja, standardeja ja ohjeistuksia noudatetaan määräysten mukaisesti. Aurinkosähköjärjestelmien rakentamista koskee ja ohjaa sähkömarkkinalaki (588/2013), sähköverolaki (1260/1996 sekä 480/2016), Valtioneuvoston asetus sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (66/2009) sekä painoarvoltaan suurimpana sähköturvallisuuslaki (1135/2016). (Lehto ym. 2021, 31–33.) Sähköturvallisuuslaki velvoittaa, ettei sähkölaitteet saa aiheuttaa vaaraa terveydelle, hengelle tai omaisuudelle. Sähkölaitteita saa käyttää ja tuoda maahan vain, jos noudattaa tätä lakia. (Turvallisuus 2021)

### **5.1.1 Standardit**

Sähköturvallisuusviranomaisen (TUKES) pitää yllä luetteloa (S10) sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähköturvallisuutta koskevista standardeista, joita laki velvoittaa käyttämään. Alla on esitelty muutamia tärkeimpiä aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen liittyviä standardeja. (Lehto ym. 2021, 31.)

SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Tämä standardisarja sisältää yhteensä 39 erillistä standardia, jotka käsittelevät sähköasennuksia, joissa nimellisjännite on enintään 1000 V vaihtojännitettä (AC) ja 1500 V tasajännitettä (DC). (SFS 6000 standardi) Tärkeimpänä asiana standardisarjasta on

turvallisuuteen vaikuttavat osiot, joissa käsitellään suojauksia, johdinmitoituksia, laitevalintoja ja järjestelmien rakennetta. (Lehto ym. 2021, 31.) SFS 6000 standardisarja sisältää myös yhden osastandardin aurinkovoimaan liittyen SFS 6000-7-712. Tämä standardi käsittelee muun muassa aurinkosähkögeneraattorin sähköasennuksia, sen valintaa ja käyttöä. (SFS 6000-7-712:217 Pienjännitesähköasennukset 2017)

SFS-EN 50438 standardi koskee jakeluverkon rinnalle kytkettävän teholähteen turvallista toimintaa, ja sillä asetetaan vaatimuksia pienjänniteverkon suojaukselle, syötettävän teholähteellä tuotetun sähkön laadulle ja teholähteestä annettaville tiedoille. Lisäksi Energiateollisuus asettaa tässä standardissa suositukset jakeluverkon liitännäisiin käytettäville suojalaitteille, kuten yli- ja alijännitesuojaukselle ja verkon jännitteen katoamisen suojaukselle. Yhdessä SFS 6000 standardisarjan kanssa nämä kaksi turvaavat asennusta ja käyttöä. Standardien lisäksi teholähdettä jakeluverkkoon liitettäessä, pitää noudattaa aina myös verkkoyhtiöltä saatuja ehtoja. (Turvallisuus 2021)

SFS 607 -käsikirja sisältää muutaman keskeisen standardointijärjestön standardin, jotka käsittelevät yksityiskohtaisemmin juuri aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä vaatimuksia. Käsikirjan sisältö neuvoo suunnittelun, toteutuksen, käyttöönoton, dokumentoinnin, käytön ja ylläpidon määrittelyssä. (Lehto ym. 2021, 31.)

Käsikirja SFS 607 sisältää seuraavat standardit:

IEC 62548:2016:fi, Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset. Suunnitteluvaatimukset koskevat tasasähkökaapelointia, sähkötekniisiä suojalaitteita ja kytkentää sekä maadoitusjärjestelyjä. (IEC 62548:2016:fi 2018)

SFS-EN 62446-1:2016 + A1:2018, Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, joka luovutetaan asiakkaalle. Määrittelee käyttöönoton- sekä määräaikaistarkastusten testit ja dokumentaation, jolla todennetaan järjestelmän turvallinen ja tarkoituksenmukainen toiminta. (SFS-EN 62446-1:2016 + A1:2018 2018)

SFS-EN 61724-1:2017, Aurinkosähköjärjestelmän suorituskyky. Standardi määrittelee aurinkosähköjärjestelmän suorituskykyä mittaavien laitteiden, antureiden, asennuksen ja menetelmien tarkkuutta, laatua ja perustaa kerättävälle datalle. (SFS-EN 61724-1:2017 2018)

SFS-EN 61829:2016, Aurinkosähköpaneelisto. Virta-jännite ominaisuuksien mittauksen standardilla paneeleilta mitattuja arvoja voidaan verrata laboratorio- tai tehdasmittauksiin ja suunnittelun- tai käyttöönoton tietoihin, ja näin havaita mahdollinen poikkeama järjestelmän toiminnassa. (SFS-EN 61829:2016 2017)

SFS-EN 50380:2017, Aurinkosähköpaneelien merkintä- ja dokumentointivaatimukset. Tässä standardissa kuvataan merkintä-, dokumentointi- ja nimikilpivaatimukset, eli kaikki pakollinen tieto, mitä täytyy sisällyttää tuotedokumentaatioon ja kiinnittää tuotteeseen, jotta tuotetta voidaan käyttää turvallisesti ja vältetään virheet. (SFS-EN 50380:2017 2018)

### **5.1.2 Sähkövero**

Sähköverovelvollisuutta tarkasteltaessa voidaan todeta, että käytännössä kaikki sähköverkon haltijat sekä sähköntuottajat ovat sähköverovelvollisia. Jos sähköntuottaja siirtää tuottamansa sähkön verkkoon, ei tuottaja ole tässä tapauksessa velvoitettu maksamaan sähköveroa eikä veroa sähkönsiirrosta, vaan sähköverkkoyhtiö maksaa aina veron. Vero maksetaan aina silloin kun sähkö siirtyy verkkoyhtiöltä kulutukseen, eli sähköverkkoluvattomaan verkkoon. Verkkoyhtiö veloittaa veron kulutuksen loppukäyttäjältä. (Energiaverotus 2021)

Kun sähköntuottajan sähkövoimala on niin suuri, että sen koko on yli 100kVA, tai voimalan sähköntuotanto on vuodessa yli 800 000 kWh, luokitellaan tuottaja sähköverovelvolliseksi. Sen on annettava veroilmoitus kuukausittain ja maksettava veroja tuotantokohteessa kuluttamansa sähkön osalta. Jos rajat voimalan koosta ja tuotannosta eivät ylity, katsotaan sähköntuottajan olevan pientuottaja. (Energiaverotus 2021)

Jos voimalan järjestelmäkoko ei ylitä 100kVA tehoa tai vuosituotanto ei ylitä 800 000 kWh ei pientuottajalla ole muuta verovelvollisuutta, kuin ilmoittaa verottajalle vuosittain tuotetun sähkön määrä. Aurinkosähkövoimalan koko voi myös olla suurempi kuin 100 kVA, mutta silloin vuosituo-

tannon tulee jäädä alle 800 000 kWh, jotta vapaus sähköverovelvollisuudesta on edelleen verottajan näkökulmasta voimassa. Omatuotetun sähkön käyttö on verovapaata, kun tuotanto kestää edellä mainittujen rajojen sisällä tai sitä ei siirrellä liikuteltavalla sähkökemiallisella varastolla. (Energiaverotus 2021)

Sähkön varastoiminen akkuihin tai vastaaviin sähkövarastoihin katsotaan verovapaaksi, kun sähkövarasto on asennettu kiinteästi lähelle tuotantojärjestelmää. Sähkövaraston pitäjän on mahdollista hakea sähkövaraston pitäjän lupaa verottajalta, ja lupa on saatavissa silloin, kun varaston sähkö menee suoraan kulutukseen. Kun sähkövarasto on voimalan yhteyteen asennettu, se tulkitaan osaksi voimalaa ja näin ollen sähkövarastoon verkosta ladattu tai sinne syötetty sähkö ilmoitetaan verottajalle yhdessä voimalan oman tuotannon kanssa. (Energiaverotus 2021)

## **5.2 Rakennustekninen suunnittelu ja lupa-asiat**

Ennen kuin aurinkosähköjärjestelmän hankintaa ja suunnittelua kannattaa lähteä toteuttamaan on välttämättömät lupa-asiat ja sopimukset hoidettava kuntoon. Esimerkiksi sähköverkkoyhtiöön kannattaa olla yhteydessä hyvissä ajoin ennen hankintapäätöstä, jotta varmistetaan aurinkosähköjärjestelmän soveltuvuus kyseiseen paikkaan ja annetaan sähköyhtiölle sen tarvitsema aika muutostöihin verkon tai mittalaitteiden osalta. (Lupa-asiat 2021)

Verkkoyhtiöstä saa myös tiedon sähköverkkoliitännän ja ominaisuuksien teknisistä vaatimuksista sekä muun muassa suurimmasta sallitusta invertteritehosta (Luvat ja sopimukset 2021). Pientuotantoa varten tarvitaan lupa sähköyhtiöltä, tämän lisäksi sähköyhtiö tarkistaa ja muokkaa verkko- palvelusopimuksen ja yhtiön kanssa tehdään yhdessä sähkönmyyntiä koskeva sopimus. (Lehto ym. 2021, 75–76.) Verkonhaltija tekee tapauskohtaisesti liittymissopimuksen sähköntuottajan kanssa uudesta tuotantolaitoksesta (Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon 2021). Sähkömarkkinalaki velvoittaa, että sähköverkon haltijan on liitettävä vaatimukset täyttävät pienvoimalat sekä sähkönkäyttöpaikat sähköverkkoonsa omalla toiminta-alueellaan. (Lupa-asiat 2021)

Riippuen kohdekiinteistöstä ja sijainnista, voi aurinkosähköjärjestelmän asentaminen olla luvanvaraista ja rakennusvalvonta voi vaatia toimenpideluvan, ilmoituksen tai kaupunkikuva-arkkitehdin hyväksynnän. Vaatimukset ja käytännöt on syytä tarkistaa aina ennen hankintaa paikalliselta rakennustarkastajalta. (Lupa-asiat 2021)

Lupa-asioiden lisäksi suunnittelussa on tarpeen tarkistaa rakennustekniset asiat ennen hankintaa, varsinkin jos suunnitelmana on aurinkosähköjärjestelmän asentaminen kiinteistön katolle. Tähän on syytä käyttää rakennesuunnittelijaa, joka selvittää, laskee lujuuslaskelmat ja antaa lausunnon siitä, että katon rakenteet kestävät koko aurinkosähköjärjestelmän tuoman rasituksen, eivätkä heikennä katon kosteudenkestävyyttä. (Oulun kaupunki. Rakennusvalvonta. Määräykset ja ohjeet. Aurinkopaneelit 2020) Osa rakennesuunnittelusta vaatii katselmuksen, josta selviää esimerkiksi katteen kunto ja vedeneristys, mahdollinen käyttöikä, katon pehmeys ja materiaali, telineiden suuntaaminen, huolto ja asennukseen vaikuttavat asiat. (Kestääkö katto aurinkovoimalan? – Katso tarkistuslista 2017) Lisäksi paikan päällä on hyvä tehdä työmaakatselmus, koska olemassa oleva dokumentointi saattaa olla puutteellinen tai katselmuksessa voidaan huomata jotakin poikkeavaa tai muuta olennaista, joka rakennusteknisessä suunnittelussa on tärkeää huomioida.

### 5.3 Aurinkovoimalan mitoittaminen

Aurinkosähköjärjestelmän tuotosta suurin osa pitäisi aina mennä kiinteistön omaan sähkönkulutukseen. Kun tuotanto ohjataan omaan kulutukseen, silloin järjestelmästä saadaan paras taloudellinen hyöty, sillä sähkön hankintakustannukset jäävät oman tuotannon myötä huomattavasti pienemmiksi. Ylimääräiseksi jäävän omatuotetun sähkön myynti sähköyhtiölle ei ole ainakaan toistaiseksi kovinkaan kannattavaa. Pienehköissä alle 10 kWp järjestelmissä on järkevää mitoittaa tuottoteho vähintään kiinteistön sähkönkulutuksen pohjakuorman mukaan. Pohjakuormaa on hyvä tarkastella kesäajalta, sillä aurinkovoimalat tuottavat juuri kesäaikaan suurimman tehon. (Aurinkosähköjärjestelmän kannattava mitoitus 2015) Toisaalta vähänkin suuremmissa järjestelmissä parhaaseen taloudelliseen järjestelmäkokoön päästään, kun mitoittettava aurinkosähköjärjestelmän nimellistuottoa tutkitaan tuntitasolla sähkönkulutuksen ja tuottokyvyn osalta. Tässäkin tapauksessa hyvään mitoitusarkkuuteen pääsemiseksi riittää, kun tarkastelee auringon säteilyä valoisimpana ajanjaksona, eli maalisi-syyskuun ajalta. (Mitoitusmenetelmiä 2021)

Järjestelmäkoosta riippumatta sähkönkulutuksen ajallinen jakautuminen päivällä on parasta kannattavuuden näkökulmasta saada osumaan juuri keskipäivän jälkeen, jolloin auringon säteily on suurinta ja aurinkosähköjärjestelmän tuotanto tehokkainta. (Tahkokorpi ym. 2016, 178.)

Mitoittamiseen on myös olemassa useita valmiita ohjelmistoja, joilla on mahdollista mallintaa auringon säteilytehoa, tuottoa tai kannattavuutta tietyllä alueella. Esimerkiksi PVGIS on yleispätevä



suunnittelun työkalu, joka arvioi auringon säteilytehoa ja suunniteltavan aurinkosähköjärjestelmän tuottoa asennuspaikan sijainnin, järjestelmäkoon sekä asennustavan mukaan. (Photovoltaic Geographical Information System 2019)

#### 5.4 Sääolosuhteet ja tuottavuus

Aurinkosähköjärjestelmien tuotantoon vaikuttaa suuresti myös ulkona vallitsevat sääolosuhteet. Keväällä pitkään katolla olevat lumikerrostumat tai kuura, kesäaikaan pöly, lika tai ilman epäpuhtaudet voivat peittää paneelien pintaa ja estää parhaan sähkön tuoton. Lisäksi lämpötilalla ja jopa pilvien liikkeellä on suuri vaikutus aurinkopaneelin tuottoon. Säteilivoimakkuus ja sen esteetön pääsy paneelin pinnalle on kuitenkin suuremmassa roolissa paneelin tuotannon kannalta, sillä paras teho paneeleista saadaan, kun säteilivoimakkuus on suurta ja sää on kirkas ja kylmä. (Aurinkokennoista saadaan paras tuotto kylmällä säällä 2014)

Lämpötila voi kesähelteillä nousta aurinkopaneelin pinnalla helposti useisiin kymmeneen asteisiin, jopa lähelle 100 °C. Lämpötilan nousu yli 25 °C asteen STC-olosuhteiden, alkaa heikentää paneelin tehontuottoa 0,5 % jokaista nousutta astetta kohden. Jos tuuli ei pääse viilentämään paneeleita, voi koko järjestelmän energiantuotanto tippua hellesäällä jopa 30 %. (Lehto ym. 2021, 22–23.) Kun ulkolämpötila nousee, alkaa kennon tuottama jännite laskea, ja vastaavasti samalla virta kasvaa. Koska jännitteen laskeminen on suurempaa, kennon tehontuotto pienenee. (Aurinkodemo 2016)

Aurinkopaneelien tausta tulee aina olla mahdollisimman hyvin tuuletettu. Katolla olevien paneeliasennusten paneelin ja katteen väliin tulee jättää noin 10 senttimetriä rakoja, jotta riittävä tuuletus toteutuu. Riittävän hyvällä tuuletuksella korkean lämpötilan aiheuttamat tehohäviöt vuosituoton laskussa voivat jäädä vain noin kahteen prosenttiin. (Tahkokorpi ym. 2016, 182.)

Kun aurinkopaneelit asennetaan kiinteästi, on tärkeää, ettei paneelien päälle tule varjoja. Varjojen vaikutusta sähköntuottoon ei pidä aliarvioida, sillä juuri varjot aiheuttavat suurimmat jättämät sähköntuotannossa verrattuna ennusteisiin ja tuottolaskelmiin. Pienelläkin varjolla on suhteessa suuri negatiivinen vaikutus sekä yksittäisen paneelin tuottoon, että käyttökään, kuin myös koko ketjuun kytketyn paneeliston sähköntuottokykyyn. (Tahkokorpi ym. 2016, 181–182.) Pienistä varjoista käytetään myös termiä osittaisvarjostus, jossa voimalan eri kennot ottavat vastaan eri määrän säteilyä. Varjoja voivat aiheuttaa esimerkiksi tuuletuskanavat tai muut katon rakenteet, puiden

oksat, samaan suuntaan liikkuvat pilvet tai likaiset paneelit. (Aurinkokennoista saadaan paras tuotto kylmällä säällä 2014)

Yhden kennon varjostuminen yhdellä aurinkopaneelilla voi pudottaa koko paneelin tuottoa 50 % ja paneeliketjussa yksi varjostunut paneeli voi vaikuttaa koko ketjun tuottoon negatiivisesti yli 10 prosenttia. (Tahkokorpi ym. 2016, 181–182.) Tämä johtuu siitä, että sarjaan kytketyissä paneelissa kulkee sama virta. Jos huonon säteilytehon voimakkuudesta johtuen yhden paneelin kennon oikosulkuvirta on pienempi kuin koko paneeliketjussa, alkaa tämä kenno rajoittaa koko paneeliketjun virtaa. Siinä vaiheessa, kun sarjaan kytkettyjen paneelien virta ylittää varjostuneen yksittäisen kennon oikosulkuvirran, se ei enää tuotakaan tehoa, vaan alkaa kuluttaa osan muiden kennojen tuottamasta tehosta. (Aurinkokennoista saadaan paras tuotto kylmällä säällä 2014) Jos varjostus jatkuu koko kesän, on selvää, että järjestelmän tuotanto jää huomattavasti jälkeen ennusteesta. (Tahkokorpi ym. 2016, 181–182.)

## 5.5 Sähköntuotannon ennustaminen

On olemassa useita kaupallisia sovelluksia ja sivuja, jotka tarjoavat apua suunnitteluun ja aurinkosähköjärjestelmän mitoittamiseen. Euroopan komissio tarjoaa Joint Research Centren sivustolla usealla kielellä ohjelman PVGIS, jolla on mahdollista tutkia auringonsäteilyn määrää ja kuvitteellista tuottoa maantieteellisesti laajasti ja jopa osoitteen perusteella.

Lähtötietoihin syötetään muun muassa suunnitellun järjestelmän nimellisteho, paneelin kennotyyppi, kiinnitys, suuntaus ja asennuskulma. Syötettyjen ja olemassa olevien tietojen perusteella ohjelmisto osaa laskea kuukausikohtaisesti ennusteen kuvitellun järjestelmän sähköntuotannosta auringon säteilemästä energiasta. (Photovoltaic Geographical Information System 2019) PVGIS perustuu pitkäaikaisiin mittaustuloksiin ja keskiarvoihin auringon lämpötilan ja säteilymäärien osalta (PVGIS Photovoltaic Geographical Information System N.d.)

## 5.6 Laaduntarkkailu

Kun asennetaan usean valmistajan aurinkopaneeleja, joita kuljetetaan pitkiä matkoja, on mahdollista, että paneelien laatu ja ominaisuudet voivat vaihdella. Laaduntarkkailuun on aiheellista kiinnittää huomiota varsinkin tilattaessa suuria määriä uuden paneelivalmistajan tuotteita, jolloin

tuotteen kestävyys ja laadun tasaisuus on merkittävässä asemassa sähkön tuoton ja kannattavuuden näkökulmasta.

Esimerkiksi Turun ammattikorkeakoulu tarjoaa palveluna erilaisten aurinkopaneelien riippumattomia laatutestauksia tutkimusryhmänsä Mobile SOLAR Lab- laiteinvestointinsa kautta. Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) tukeman hankkeen avulla hankittu Mobile SOLAR Lab on liikuteltava testauslaboratorio, jolla voidaan tutkia laatupoikkeamia ja vertailla laitevalmistajan lupaamia ominaisuuksia ja mitattua sähköntuottokykyä standardiolosuhteissa. Mobile SOLAR Labissa on led-valoin sisäänrakennettu auringonvaloa jäljittelevä valonlähde, jolla saadaan heijastettua testattavalle aurinkopaneelille auringonsäteitä vastaava säteilyteho. Myös lämpötila pidetään standardiolosuhteissa +25 °C lämpötilassa. Analyysissä saadaan mitattua paneelin sähköntuottokyky sekä elektroluminenssi-kuvista nähdään mahdolliset kennoauriot, eli halkeamat. (Luvassa aurinkoa ja tuulta 2020) Myös kennoissa olevat oikosulut, passiiviset alueet tai tarpeeton kuumeneminen havaitaan testin aikana (<https://nerc.turkuamk.fi/services-pv-module-power-and-integrity-testing/>). Laboratoriotestien perusteella on mahdollista tehdä laatuarvio ja laatuluokitus aurinkopaneelien valmistajasta tai valmistuserästä. (Luvassa aurinkoa ja tuulta 2020)

## **5.7 Aurinkopaneelien asennus**

Aurinkopaneelien kiinnitykseen löytyy useita kaupallisia järjestelmiä ja vaihtoehtoja, oli kyse sitten maa-, seinä- tai kattoasennuksesta. Näille vaihtoehdoillekin on monta laitetoimittajaa ja kiinnitysovelluksia. Tuottavuuden kannalta tärkeintä on oikea ilmansuunta, kallistus ja tuotantoa häiritsevien tekijöiden, kuten varjostusten, välttäminen. Asennuksessa huomioitavaa on jo aiemmin mainittu paneelien jäähtytys ja riittävän tukevat kiinnitystelineet. Rakennusten seinissä tai katolla voi olla tarpeen tarkastella, että sopivatko paneelit yhteen rakennuksen visuaalisen ilmeen kanssa tai voisiko niillä mahdollisesti jopa korvata jonkin julkisivuelementin. (Aurinkopaneelin asentaminen 2021)

### **5.7.1 Asennustavat**

Aurinkopaneeleita asennetaan Suomessa jonkin verran seinälle ja maa-asennuksin, mutta tois-  
laiseksi kuitenkin yleisimmin kiinteistöjen katoille. Kattoasennuksen suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon nykyinen katemateriaali, sen ikä, kunto ja vaihtotarve. Jos kate on jo vanha ja se on

tarkoitus vaihtaa lähitulevaisuudessa, ei välttämättä ole järkevää asentaa paneeleja ennen uuden katon asennusta, sillä hieman katemateriaalista riippuen aurinkopaneelit pitää kiinnittää katolle kiinteästi, eikä niiden siirtäminen ole kannattavaa. Aurinkopaneelit eivät sovellu katemateriaaliksi, eivätkä paranna katteen vedenpitävyyttä. Aurinkopaneelit tulee asentaa lähtökohtaisesti katon lappeen suuntaisesti ja räystästä ylöspäin pitää jättää noin yhden paneelin verran tilaa lumiesteitä varten. (Aurinkopaneelin asentaminen 2021)

Paneelien kiinnikkeiden ja asennuskiskojen määrällä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka korkea ja hyvin olosuhteita kestävä järjestelmästä tulee. Katolle ja seinälle asennettaessa paneelit on myös hyvä saada vähintään 10 cm irti asennuspinnasta, jotta paneelit viilenevät kesäkuumalla tuulen kiertäessä paneelien alta, sekä sateella, että kevättalvella vesi ja sulava lumi pääsee kulkemaan esteettä. Toisaalta mitä korkeampi telineen asennuksesta tulee, sitä paremmin tuuli pääsee paneelien alle ja kasvattaa tuulikuormaa, joka taas kasvattaa telinekustannuksia. (Lehto ym. 2021, 148–149.)

Tasa-katoille asennettavat aurinkosähköjärjestelmät ovat vaativimpia, koska tuulikuormien lisäksi, pitää ottaa huomioon useasti huopapeitteisten kattojen kantavuus ja katteen vaurioiden välttäminen. Yleisesti tasakatoille tehdään painolastein toteutettuja kelluvia asennuksia, osakelluvia asennuksia, kiinnityksiä liimaamalla tai kiinteitä asennuksia kattopollareilla. (Aurinko-energiaa Suomesta s.179) Tasa-katoilla rakennustekniset laskelmat ja asennustelineen valinta pitää tehdä huolellisesti, sillä huopakaton kestävä pistekuorma on pienempi verrattuna esimerkiksi peltikattoon. Huopakattoon liimattava teline ei rasita kattoa niin paljoa painon puolesta, mutta siinä telineiden painokuorma kohdistuu pistemäisesti usealle pienelle alueelle. Lisäpainoin toteutettavassa asennustavassa paino jakaantuu suuremmalle alueelle, mutta kokonaisuutena katolle asennettava paneelijärjestelmä painaa huomattavasti enemmän. (Blogisarja osa 3: Aurinkovoimala -mitä komponenttien hankinnassa on hyvä ottaa huomioon? 2020)

Maa-asennukset ovat kustannuksiltaan järkeviä lähinnä suurille paneelijärjestelmille, jotka tarvitsevat myös aidatun alueen. Maahan asennettavat telineet ovat suurempia kuin katto- asennuksissa, ja myös asennukset kokonais- kustannuksiltaan kalliimpia. (Tahkokorpi ym. 2016, 181.) Maan pinnalle asennettavassa järjestelmässä huomioitavaa on tutkia maaperän soveltuvuutta käyttö-

alustaksi, sillä tuulen vaikutuksesta maaperä voi antaa periksi ja liikkua, jolloin se vaikuttaa paneelien ja telineiden kiinnitykseen ja suuntaukseen. Telineiden kiinnitys tehdään yleensä porattavalla tai painokuormalla toteutettavalla mekaniikalla (Lehto ym. 2021, 151.)

Aurinkopaneelien asennuksen toteutustavasta riippumatta tulee huomioida aina asennusolosuhteet sekä kiinnitystelien ja paneelien kestävä tuuli- ja lumikuorma. Tuulikuormaa laskettaessa pitää ottaa huomioon maastoluokka ja korkeus. Jos asennuspaikka on katto, niin huomioitavaa on kattorakenteet ja kallistus. Lumikuorman laskemiseen saa paneelivalmistajalta sekä telinevalmistajalta painorajat mitä laitteet kestävät ja joita pitää noudattaa. Asennuksissa käytettävät telineet ovat usein eloksoitua tai anodisoitua alumiinia ja kiinnitysruuvit ruostumatonta terästä, eli ne kestävät hyvin korroosiota. (Lehto ym. 2021, 148–149.)



Kuvio 8. Aurinkopaneeli asennus bitumikatolle lisäpainoilla

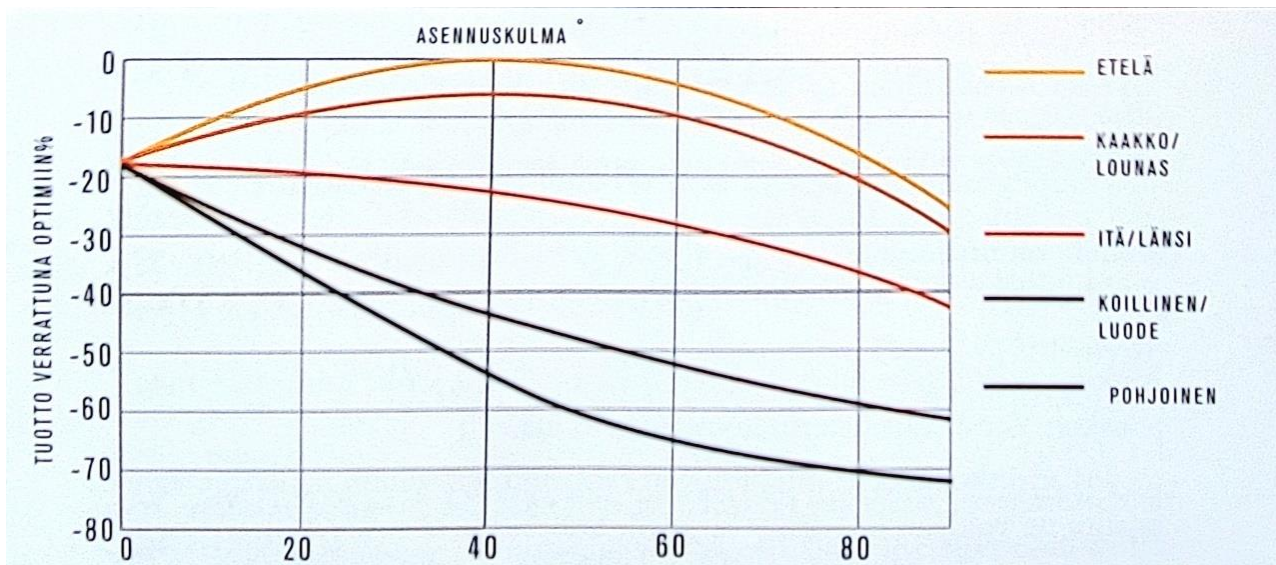
### 5.7.2 Asennuskulmat ja suuntaus

Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotannon tehokkuuden optimointiin Suomessa liittyy vahvasti aurinkopaneelien asennuskulma ja mihin ilmansuuntaan paneelit on suunnattu. Tämä perustuu siihen, että maantieteellisen sijainnin vuoksi auringon suora säteily tulee asennuspaikan sijainnista riippuen eri kulmassa kohti aurinkopaneelia eri vuodenaikoina. Vuodenaikojen lisäksi aurinko nou-

see idästä aamulla ja laskee länteen illalla. Näiden kahden asian ymmärtäminen ja huomioon ottaminen on suunniteltaessa ja asentaessa äärimmäisen tärkeää, jotta päästään hyvään tulokseen vuosituotannon osalta. (Lehto ym. 2021, 19–21.)

Asennuskulman suunnittelussa merkitsevää on suunniteltavan asennuksen maantieteellinen sijainti. Asennuskulman suunnittelulla pyritään siihen, että aurinkopaneelin pinnalle saadaan kerättyä mahdollisimman paljon suoraa säteilyä. Tammikuussa aurinko paistaa alhaalta 10 asteen kulmassa eikä nouse päivälläkään vielä kovin korkealle. Jos halutaan saada tammikuun auringonsäteily osumaan suoraan aurinkopaneeleihin, pitäisi asennuskulma paneeleilla olla lähes tulkoon pystysuorassa 90 asteen kulmassa. Maaliskuussa aurinko paistaa 30 asteen kulmassa ja keskipäivällä paistekulma on yli 50 astetta. Keskipäivällä optimaalinen kulma aurinkopaneelille on noin 30 astetta ja keväällä 60 astetta (Lehto ym. 2021, 19–21.). Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä on myös hieman eroa, joka on syytä huomioida suunnittelussa, sillä pohjoisessa aurinko paistaa alemmalla kuin etelässä, eikä nouse kesäpäiväkään aivan yhtä ylös kuin etelässä. (Erat ym. 2008, 32.)

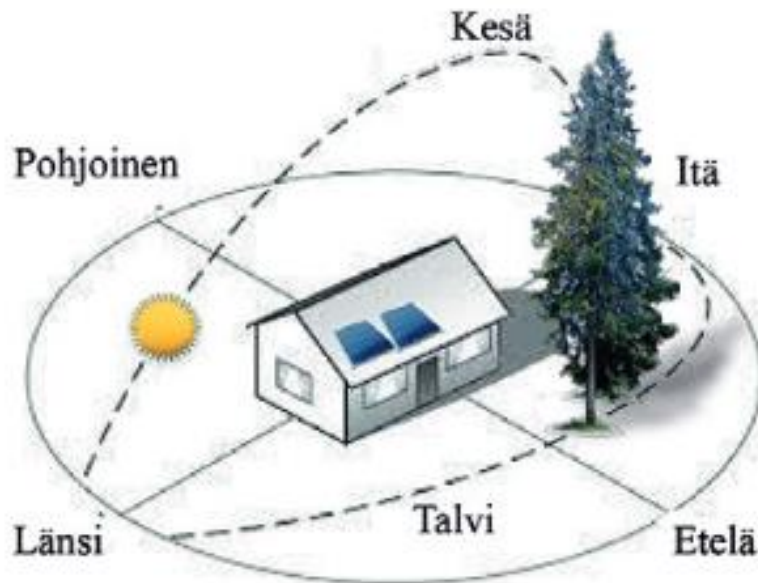
Jos aurinkopaneelit asennetaan toimimaan tehokkaimmin kevätauringossa, ne eivät tuota asennuskulmansa takia niin hyvin keskipäivällä ja jos asennuskulma määritetään keskipäivän optimaalisen tuoton mukaan, jäädään keväällä tuotannosta jälkeen vuositasolla. Jotta päästään mahdollisimman korkeaan sähkön vuosituottoon, on aurinkopaneelien asennuskulma optimaalisen tuoton kannalta silloin kun se suunnitellaan noin 40 asteen kulmaan, tällöin myös sähköntuotanto on melko tasainen aurinkoisten kuukausien aikana. (Tahkokorpi ym. 2016, 180–181.)



Kuvio 9. Aurinkopaneelin asennuskulman vaikutus sähköntuottoon. (Tahkokorpi ym. 2016, 180.)

Aurinkopaneelien suuntauksella tarkoitetaan suuntausta asteina ilmansuuntien mukaan. Suuntauskulmasta puhutaan myös atsimuuttina (azimuth). 0 astetta tarkoittaa suoraa suuntausta etelään, jota pidetään pääasiassa parhaana suuntauksena paneeleille, mutta koska kiinteistöt harvoin ovat rakennettu niin, että atsimuutti on optimaalisesti 0 astetta, on tämä kulma suunnittelussa ja mitoituksessa tarpeen huomioida. Idän suunta on -90 astetta ja länsi +90 astetta. Aurinko nousee idästä ja laskee länteen, joten vuorokauden paras auringon säteilyteho keskipäivällä osuu etelän suuntaan 0 astetta. Jos aurinkopaneelit pystytään suuntaamaan noin 40 asteen kulmassa etelään päin, on mahdollista saada vuositasona 20–30 prosenttia enemmän talteen auringon säteilyä verrattuna muunlaiseen asennukseen. (Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2021)





Kuvio 10. Auringon kulkeman radan vaihtelu vuoden aikana. (Lehto ym. 2021, 19.)

Aurinkosähköjärjestelmiä on olemassa asennustelineillä, jotka seuraavat auringon liikettä ja optimoivat kulman ja suuntauksen aina parhaalla mahdollisella tavalla auringon säteilyä kohti, jolloin järjestelmälle saadaan paras mahdollinen sähkön tuotto. Aurinkoa seuraavat asennustelineet ovat kuitenkin suhteessa kiinteästi asennettuihin paneeleihin niin paljon kalliimpia, että ne nostavat investoinnin kustannuksia ja eivät pärjää panos/tuotto -suhteen vertailussa kiinteästi asennetuille paneeleille.

Aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelussa ei ole välttämättä yhtä ainoaa oikeaa tapaa valita asennuskulmaa ja suuntausta, vaan tärkeintä on, että aurinkopaneelit ovat paikassa, jonne tulee parhaiten auringon valo. Pienillä suunnittelussa huomioitavilla säädöillä on silti suuri vaikutus tuotantoon ja järjestelmän toimintaan. Pohjakuorman mukaan mitoitettun järjestelmän tarvittavaan sähköntuottoon on mahdollista vaikuttaa suuntaamalla paneeleita hieman aamuaurinkoon tai iltaurinkoon päin, jos sähkönkulutuksen tiedetään olevan tiettyyn aikaan vuorokaudesta suurempaa. Toisaalta jos tarkoitus on pyrkiä vain mahdollisimman suureen vuosituotantoon, niin silloin optimointi on syytä tehdä suuntaamalla paneelit etelään noin 40 asteen kulmassa. (Tahkokorpi ym. 2016, 180–181.)

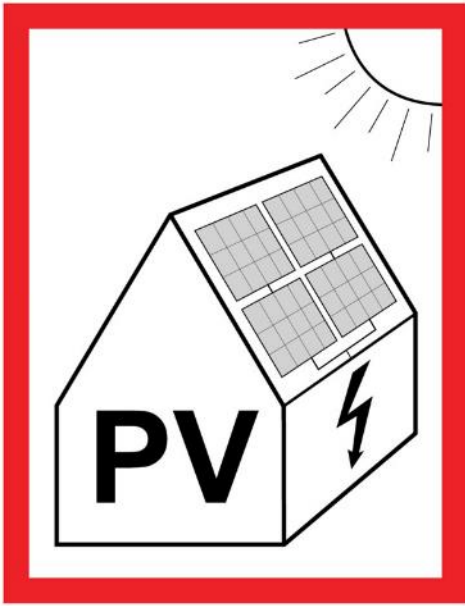
## 5.8 Dokumentointi

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöaika on vuosikymmeniä ja tälle ajanjaksolle sisältyy ainakin kunnossapitoa, mutta myös mahdollisia muutostöitä. Tästä syystä järjestelmän suorituskyky ja ensisijaisesti käyttäjien turvallisuus täytyy ottaa huomioon ja maksimoida riittävällä dokumentaatiolla, jota säilytetään järjestelmän lähellä sekä myös sähköisenä tarkoituksenmukaisessa paikassa. SFS-EN 62446-1:2016 standardissa määritellään käyttöönottotestit, tarkistuskriteerit ja tarvittava dokumentaatio, jolla todistetaan, että järjestelmän asennus on turvallinen ja toiminta on testattu. (SFS-EN 62446-1:2016)

Dokumentaation perustiedot sisältävät muun muassa tietoa rakennuttajasta ja projektista tai hankkeesta, siinä listataan käytetyt komponentit ja laitevalmistajat sekä kuvataan suoritettujen projektin sähkötyöt ja takuuasiat. Lisäksi loppudokumentaatiosta käy ilmi kaikki projektiin osallistuneet urakoitsijat ja vastuuhenkilöt yhteystietoineen. (SFS-EN 62446-1:2016)

Sähkötoista tasasähkön (DC) osalta tärkeintä on dokumentoida datalehdet, kytkennät, kaaviot ja suojalaitteet sekä kaapelointi. Lisäksi paneelimäärät, paneeliketjut ja tyypit sijainteineen on syytä olla dokumentoituna. Vaihtosähköpuolen (AC) osalta täytyy päivittää keskuskaavio, nousujohdot, tasokuvat sekä muun muassa ilmoittaa invertterin sijainti. Myös ohjeet aurinkosähköjärjestelmän erottamiseksi pitää olla ohjeistettu. Käyttöönottopöytäkirjaan merkitään mittaustulokset ja tarkastukset tasasähkölaitteiden ja vaihtosähköpuolen osalta, jotka todentavat kytkentöjen oikeellisuuden ja toimivuuden. (SFS-EN 62446-1:2016)

Edellä mainittu dokumentaatio on paras säilyttää yhdessä sovitussa paikassa sähköisesti sekä paperisena kohteella, sillä hyvin toteutettu dokumentaatio ja ohjeistus on ensiarvoisen tärkeää tietoa esimerkiksi huolto ja tai onnettomuustilanteissa. Esimerkiksi järjestelmän tietokorttiin on tiivistetty hyvin kuvaus järjestelmästä, sijainnista ja komponenteista, ja se on suositeltavaa säilyttää sähköpääkeskuksen läheisyydessä, sillä se sisältää turvallisuustiedot, jotka ovat nopeasti saatavilla. Tarvittavat varoitukset ja kyltit aurinkosähköjärjestelmästä, suojaerotuslaitteista ja niiden sijainnista kuuluvat myös vaadittavaan dokumentointiin. (Aurinkosähkön paloturvallisuus 2021)



Kuvio 11. Merkki, joka ilmoittaa rakennuksessa sijaitsevasta aurinkosähköjärjestelmästä. (Aurinkosähkön paloturvallisuus 2021)

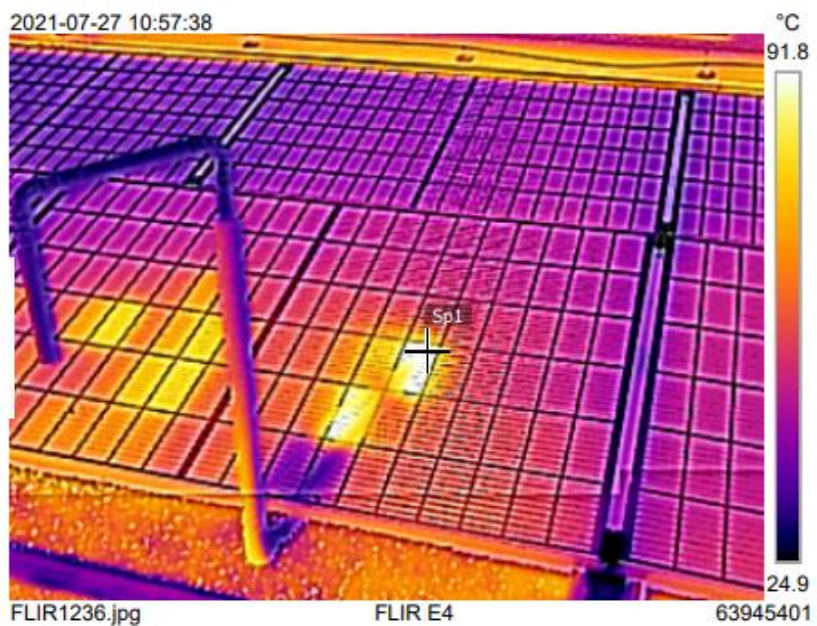
## 5.9 Ylläpito

Ylläpito ja huoltotoimenpiteet aurinkosähköjärjestelmän kanssa ovat melko yksinkertaisia, sillä järjestelmä ei ole rakenteeltaan kovinkaan monimutkainen ja ei siksi vaadi jatkuvaa huoltoa ja seuranta. Suurin ja kallein huolto tulee järjestelmän elinkaaren aikana eteen, kunhan invertterin tehoelektronikka alkaa vanheta ja koko invertteri joudutaan tämän myötä vaihtamaan uuteen. Tämä huoltotoimenpide alkaa olla ajankohtainen, kun aurinkosähköjärjestelmän invertteri on noin 10–15 vuoden ikäinen. (Lehto ym. 2021, 159.)

Aurinkopaneelit ovat kestäviä ja käytännössä huoltovapaita, kunhan niihin ei kohdistu valmistajan lupaamaa kestävyyttä suurempia pistekuormia tai painavan esineen putoamista, joka voisi rikkoa paneelin. Jos aurinkopaneeliin tulee vaurioita, on se korjattava valmistajan ohjeistamalla tavalla tai vaihdettava uuteen, ettei esimerkiksi kosteus pääse paneelin sisäpinnalle aiheuttamaan hapettumia tai oikosulkua. Vaurioituneet paneelit voivat aiheuttaa sähköiskun tai tulipalon vaaran. Vaurioituneessa paneelissa ei aina ole silminnähten mitään poikkeavaa, mutta lämpökamera on hyvä työkalu selvittämään mahdollisia vikoja. Vioittunut paneeli tai paneelin kenno lämpenee usein muuta paneelia enemmän ja tämä on helposti havaittavissa lämpökameran avulla. (Lehto ym. 2021, 159–161.)

Measurements	
Sp1	103.6 °C

Parameters	
Distance	6 m
Atmospheric temp.	20 °C



Kuvio 12. Lämpökamerakuva aurinkopaneelin pinnalta, jossa varjo nostaa yksittäisen kennon lämpötilaa. (SOLERAS)

Aurinkopaneelien pinnalle kertyy ajoittain likaa tai epäpuhtauksia, jotka on hyvä tarkastaa ainakin kerran vuodessa. Kesäisin pinnalle kertyneet epäpuhtaudet puhdistuvat pääasiassa sateen aikana, mutta joskus pitkän poutajakson jälkeen esimerkiksi linnunjätökset voivat vaatia pesua tai vähintään pidempiaikaisen sateen puhdistuakseen. (Aurinkosähköjärjestelmät. Toimintaperiaate ja järjestelmätyypit N.d.)

Säännöllinen tarkistus aurinkosähköjärjestelmälle takaa järjestelmälle vakaan toiminnan, jossa mahdollisia tulevaisuuden huoltoja voidaan etukäteen ennakoida ja huomioida. Tarkistus voidaan tehdä esimerkiksi kattomateriaalin ja rännien puhdistuksen yhteydessä. Tarkistuksessa on tarpeen huomioida vähintään paneelien ja invertterin kunto ja kiinnitys, tarkistaa kaapeleiden ja liittimien eheys esimerkiksi ylikuumentumisen varalta sekä testata suojalaitteiston toiminta. Lisäksi on hyvä seurata ajoittain aurinkosähköjärjestelmän tuotannon kehitystä esimerkiksi suoraan invertteriltä tai etänä selaimen kautta, jos invertteri on liitetty verkkoon. Jos tuotanto alkaa heiketä oleellisesti

vertailuajankohtaan verrattuna, on syytä selvittää mistä tuoton alenema johtuu. Talven lumikuorimien sulamisen jälkeen tai poikkeuksellisen kovan tuulen tai myrskyn jälkeen on myös kannattavaa tehdä laitteiston toiminnan ja kunnon tarkistus. (Lehto ym. 2021, 159–160.)

## **6 Senaatti-kiinteistöjen toteutettuja voimalaprojekteja vuonna 2020**

Tämän opinnäytetyön tarkastelussa ja kannattavuuden laskennassa on käytetty esimerkkikohteina vuoden 2020 aikana asennettuja aurinkosähkövoimaloita, jotka ovat olleet liitettynä jakeluverkkoon voimassa olevin sopimusehdoin, ja joiden sähköntuotanto on ollut toiminnassa vuoden 2021 alusta lähtien. Lisäksi esimerkkeinä käytetyiksi voimaloiksi on valikoitunut kohteet, joiden invertteireihin on ollut etäyhteys tuotantodatan lataamista varten.

Aurinkosähkövoimaloiden investointien kannattavuuslaskentaa varten on projektikohtaisesti kerätty kaikki suunnitelmien jälkeen toteutuneet tiedot järjestelmäasennuksista ja niiden laitemäärästä sekä projektille kohdennetuista kustannuksista. Investoinnin rahoittamisen kulut on niinkään huomioitu. Lisäksi laitetoimittajan suunnitteluvaiheessa arvioimat tuottoennusteet sekä vuoden 2021 aikana toteutunut kuukausittainen voimalakohtainen sähköntuotto vuoden alusta heinäkuun loppuun on kerätty myös tarkasteltavaksi ja taulukoitavaksi materiaaliksi. Ostettavan sähkön sekä mahdollisen myytävän sähkön sopimushinta ja verkkoyhtiön sähkönsiirtohinnot on koottu myös vuodelta 2021 tuottolaskelmia varten.

Kaiken kerätyn datan analysointia varten opinnäytetyön käytännön osuudessa rakennettiin Excel-  
taulukkolaskentaohjelmaan investointilaskuri, jonne kerätty data syötettiin. Syötetyn datan avulla laskurilla on mahdollista laskea investoinnille sisäinen korko, nykyarvo sekä takaisinmaksuaika. Näiden lisäksi investointilaskuriin on koottu jälkitarkastelua varten kuukausikohtaiset tuottoennusteet ja toteutuneet tuotot, joita voidaan vertailla keskenään ja saada todennettua investointi- ja kannattavuuslaskelmien tarkkuutta.

Opinnäytetyössä esitellään kuuden esimerkkivoimalan osalta edellä mainittuja kannattavuuslaskelmia sekä ennustettuja että toteutuneita tuottoja Excel-taulukkolaskentaan kerätyn datan pohjalta muodostettujen kuvaajien avulla. Lisäksi arvioidaan voimaloiden tuottojen yhdenmukaisuutta ja mahdollisia eroavaisuuksia sekä syitä ennustetun ja toteutuneen tuoton välillä.

## 6.1 Senaatti-kiinteistöjen sähköhankinta

Senaatti-kiinteistöjen sähköenergian hankinta toteutetaan keskitetysti valtion yhteishankinnan kautta. Yhteishankintaa hoitaa Hansel Oy. Yhteishankinnan kautta kilpailutetaan sähköhankinta sekä toimituspalvelu. Kilpailutus hankinnalle tehdään ennakoivasti seuraaville kahdelle vuodelle eteenpäin, jotta tarvittavan ostosähkön hintataso suojataan. Kilpailutetun sähköntoimittajan vastuulla on sähköhankinta ja asiakkaiden sähköntarpeen ennustaminen. Sähköntoimittaja hankkii toimitettavan sähkön pohjoismaisilta sähkömarkkinoilta ja mitoittaa sähköhankinnan asiakkaan tuntikohtaisen kulutuksen mukaan. (Toimintakertomus ja tilinpäätös 2021) Kilpailutetun sähköhankinnan sähkön tulee olla 100 % uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua. Periaatteen toteutumisen kannalta hankitaan myös alkuperäistakuita, joiden avulla varmistutaan siitä, että uusiutuvana markkinoitu ja ostettu energia on tuotettu myös uusiutuvilla energianlähteillä. (Energian alkuperätakuulla voi varmistaa, että ostettu energia on uusiutuvaa 2021)

Sähköenergian myynnistä on olemassa hankintahintasopimuksen lailla myyntihinta, joka on kilpailutettu Hansel Oy:n toimesta määräajaksi. Jos sähköä tulee myyntiin asti, se tarkoittaa sitä, että sähkönkäyttöpaikalla on tuotettu enemmän sähköä kuin on kulutettu. Sähkönkulutuksen laskutuksesta poiketen sähkömyynnistä sähköyhtiö toimittaa puolivuositain koostetun hyvityslaskun. Sähköyhtiö mittaa kulutusta nykyisellään tuntikohtaisesti, eli kulutuksen ja myynnin taseus tehdään tunnin välein. Sähkönsiirron osalta Senaatti-kiinteistöt on kuluttajan asemassa velvollinen hankkimaan sähkön sen verkkoyhtiön kautta, minkä alueella sähkön käyttöpaikka sijaitsee. Sähkönsiirtoa ei ole mahdollista kilpailuttaa. Taulukossa 1 esitetään valtion yhteishankinnan sähköenergian hankintahinnat.

Taulukko 1. Yhteishankinnan hintatiedot sähkölle 2021

Tuote	Hinta snt/kWh alv.0 %
Sähköenergia, osto	4,048
Sähköenergia, myynti	3,678
Sähkönsiirto Caruna, Helsinki	4,162
Sähkönsiirto Caruna, Joensuu	3,842
Sähkönsiirto Helen, Helsinki	4,094
Sähkönsiirto Helen, Helsinki	4,162
Sähkönsiirto Kuopion sähköverkko	5,022
Sähkönsiirto Lappeenrannan energiaverkot, Lappeenranta	4,352
Sähkönsiirto LE-Sähköverkko, Lahti	5,265

## 6.2 Vuonna 2020 käyttöönotettuja aurinkosähkövoimaloita

Taulukossa 2 on listattu vuoden 2020 aikana valmistuneita aurinkosähkövoimaloita, jotka ovat olleet toiminnassa viimeistään vuoden 2021 alusta lähtien. Taulukosta selviää muun muassa aurinkosähkövoimaloiden perustiedot sekä voimalainvestoinnin kokonaiskustannukset. Kokonaiskustannukset sisältävät aurinkovoimalaitoksen kokonaistoimituksen lisäksi kaikki rakennustekniset muutostyöt, kuten voimalan liitospisteen muutostyöt sähkökeskukseen, syöttökaapeloinnit sekä rakennusaputyöt. Lisäksi hintaan sisältyy rakennusvalvonnasta ja suunnittelusta aiheutuneet kustannukset.

Taulukko on järjestetty voimalan koon perusteella. Suurin voimala on hieman alle 100 kWp, jolloin se luetaan verotuksellisesti vielä pientuotannoksi eli mikrovoimalaksi. Jokainen taulukon voimala on toteutettu kattoasennuksena, mutta ne ovat kooltaan sekä kustannuksiltaan vertailussa erilaisia. Myös katoille asennettujen paneelien järjestelmäkoko ja aurinkopaneelien asentamiseen soveltuvien kiinteistöjen maantieteellinen sijainti vaihtelee jonkin verran. Taulukossa esiintyvä Oopperatalo jätettiin pois tuotanto- ja investointilaskelmista vertailukelpoisuutensa vuoksi, sillä kyseisessä kiinteistössä suoritettiin tarkastelujakson aikana mittavia saneeraustöitä sähköpääkeskukselle, jonka johdosta myös aurinkosähköjärjestelmä oli suurimman osan ajasta pois käytöstä.

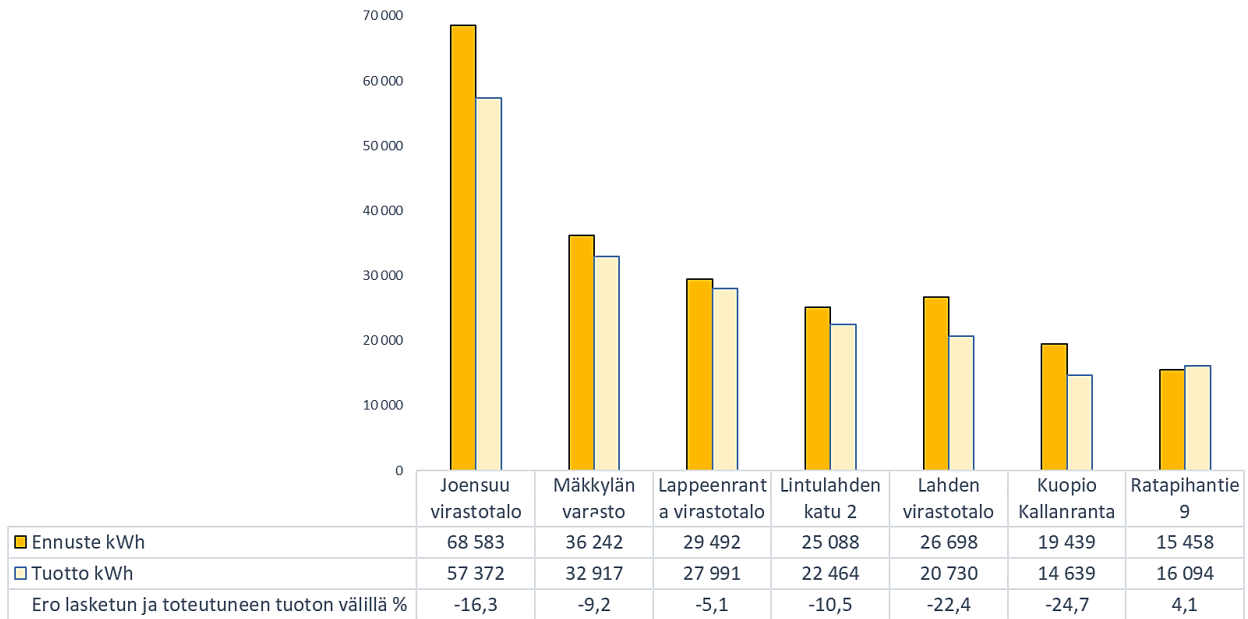
Taulukko 2. Aurinkovoimaloiden perustiedot

Kohde	Voimailan koko kWp	Pinta-ala m <sup>2</sup>	Kustannukset € alv. 0 %	€/Wp
Joensuun virastotalo	99,83	508,02	74 877,40	0,75
Mäkkylän varasto	55,61	282,99	49 978,16	0,90
Lappeenrannan virastotalo	47,91	243,78	60 052,58	1,25
Lintulahdenkuja 2	40,87	207,98	35 440,56	0,87
Oopperatalo	40,87	207,98	39 791,93	0,97
Lahden virastotalo	40,20	204,57	35 404,47	0,88
Kuopion kalkanranta virastotalo	31,49	160,25	27 710,36	0,88
Ratapihantie 9	29,48	150,02	23 780,33	0,81

### 6.3 Tuottoennuste ja toteuma

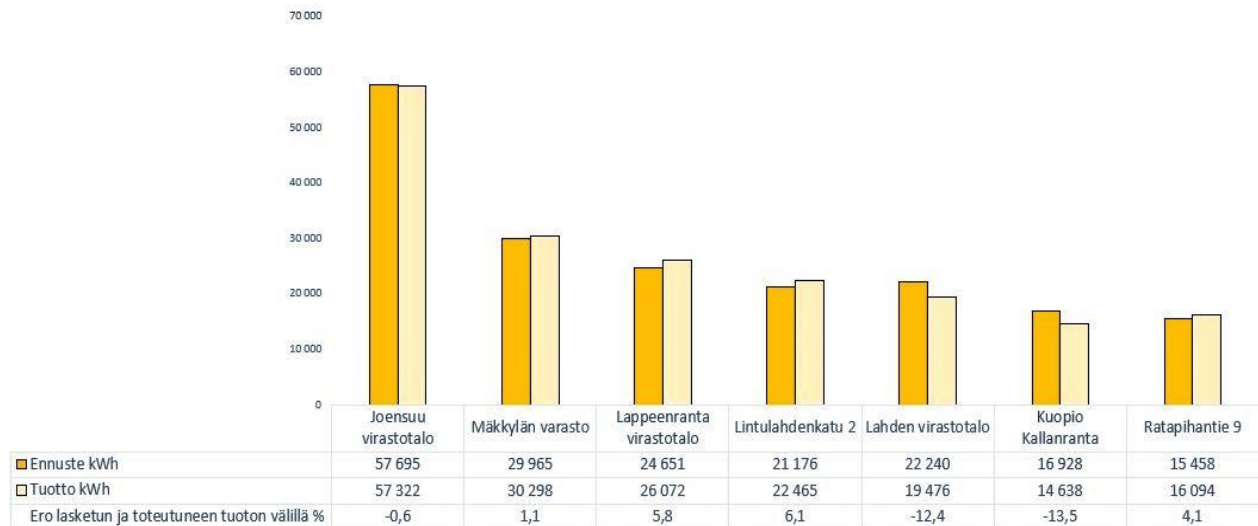
Aurinkosähkövoimaloiden laitetoimittajien suunnitelmien tuottoennusteet sekä vuoden 2021 toteutuneet sähköntuotantolukemat on kerättyjen tietojen pohjalta koostettu Excel-taulukoiksi ja edelleen kuvaajaksi. Kuvaaja on nähtävissä kuviosta 13. Kuvaajassa tummempi keltainen väri kuvaa suunnitelmien ennusteen tuottoa ja vaaleampi vertailuajan toteutunutta tuottoa. Sekä ennusteen että toteuman luvut on esitetty kuvaajassa tammikuun ja heinäkuun väliseltä ajalta. Huomionarvoista on, että vertailujaksolla laitetoimittajien tuottoennusteesta on jääty jälkeen lähes jokaisen aurinkovoimalan kohdalla. Suhteellinen ero ennustetun- ja toteutuneen tuotannon välillä on keskimäärin noin 12 %.





Kuvio 13. Tuottoennusteet ja toteuma tammikuu – heinäkuu 2021

Kuviossa 14 esitetään voimaloiden sähköntuotannon ennusteen- ja toteuman kuvaaja neljän kuukauden ajalta (huhti-heinäkuu), jolloin auringon säteilyteho on vuodenaikaan nähden voimakkainta. Kuvaajasta voidaan todeta, että aurinkosähkövoimaloiden kokonaisvertailussa ero ennustetun- ja toteutuneen tuoton välillä on kadonnut lähes kokonaan ja osassa voimaloita ero on muuttunut toteutuneen tuoton hyväksi. Etelä-Suomessa sijaitsevat aurinkovoimalat ovat tuottaneet sähköä osaltaan paremmin kuin maantieteellisesti pohjoisempina sijaitsevat voimalat. Parhaimpaan tulokseen yltänyt Lintulahdenkadun aurinkovoimala on tuottanut jopa yli 6 % laitetoimittajan laskeman ennusteen.



Kuvio 14. Tuottoennusteet ja toteuma huhtikuu - heinäkuu 2021

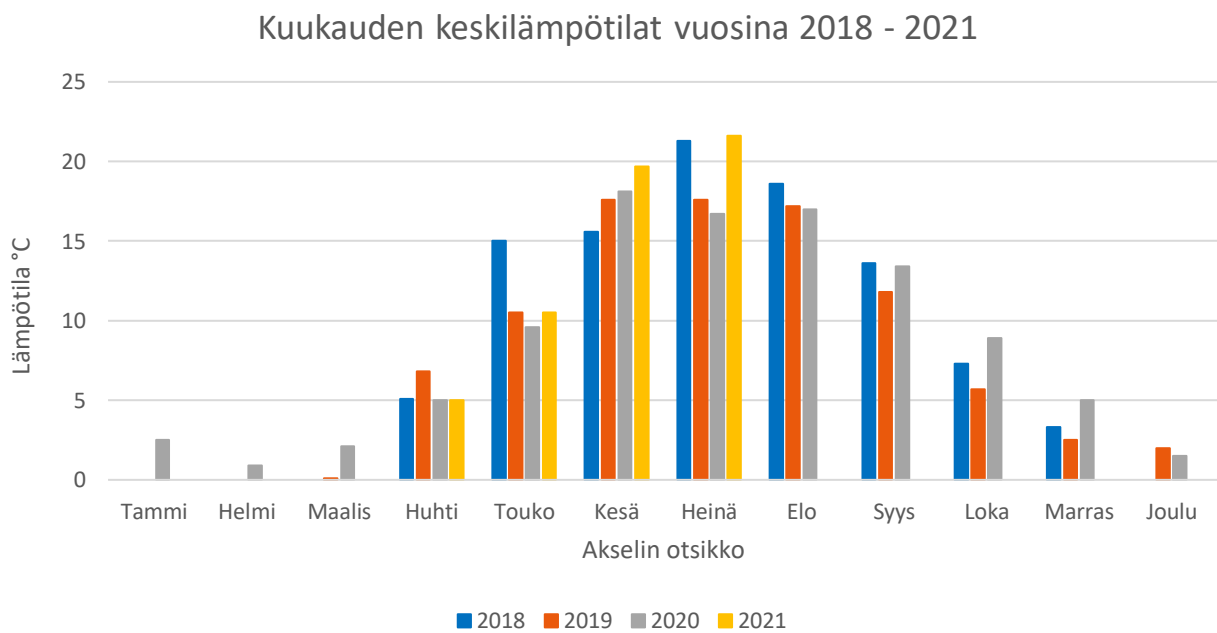
### 6.3.1 Tuottoanalyysi

Kun tarkastellaan aurinkovoimaloiden energiantuottoa, se ei ole aivan tasaista ja helposti ennustettavaa ympäri vuoden. Tuottoon vaikuttavia tekijöitä voidaan ennustaa, mutta se perustuu lähinnä vain todennäköisyyksiin ja aiempien vuosien toteumaan. Sähkön tuotantoa parantavia ja heikentäviä tekijöitä on olemassa useita. Talviaikaan yleisin tuottoa heikentävä tekijä on lumipeite ja kesäisin suurin vastaava vaikutus on korkealla lämpötilalla. Ympäri vuoden paneelin sähköntuottoon vaikuttaa oleellisesti aina mitä enemmän auringon säteilyä pääsee paneelin pinnalle.

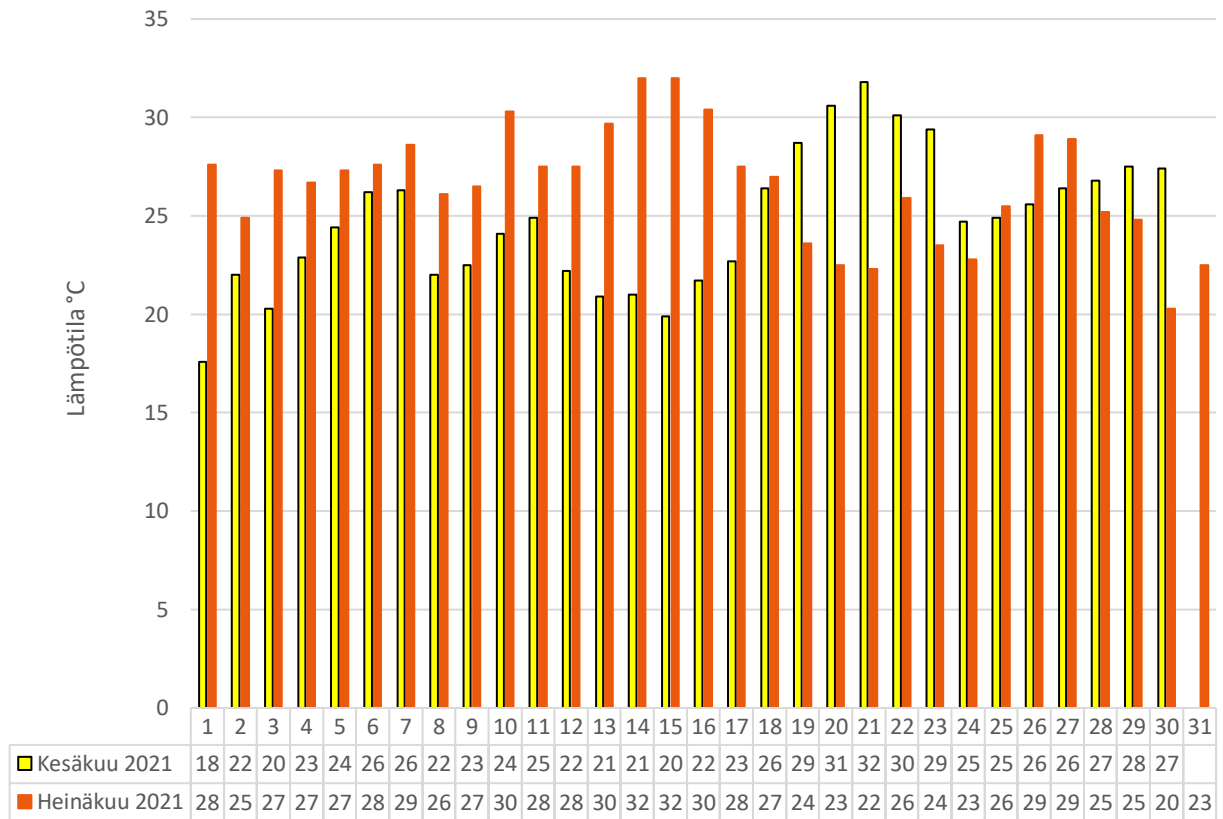
Analysoitaessa laitetoimittajan arvioimia sähköntuottoennusteita ja todellista tuottototeumaa voidaan todeta, että ennusteesta on jääty jälkeen alkuvuoden aikana juuri talvikausien aikana. Kun asiaa tutkitaan kuukausitasolla ja verrataan tuotantolukuja auringon säteilyn voimakkaampaan ajanjaksoon huhti-heinäkuun ajalla, on negatiivinen jättämä tuotossa käytännössä hävinnyt. Edellä mainittu selittyy sillä, että tuottoennuste on laskettu koko vuodelle niin, että myös talvikausina saataisiin pieni määrä säteilyä, vaikka todellisuudessa vuonna 2021 aurinkopaneelit olivat lumen peitossa pitkälle kevääseen saakka. Vaikka lumet sulaisivatkin jo aikaisin alkuvuodesta, ei kiinteästi tiettyyn kulmaan asennetun aurinkopaneelin suuntaus ole vielä alkuvuonna optimaalisen auringon lähettämään suoraan säteilyyn nähden, koska aurinko paistaa vuoden alussa melkein vaakatasosta ja ei nouse päivälläkään vielä kovin korkealle. Vaikkakin alkuvuoden suhteellinen ero ennusteen ja todellisen tuoton välillä on suuri, on jättämä kuitenkin energiamäärältään pienehkö

verrattuna suuremman auringon säteilyn ajanjaksoon huhti- heinäkuussa tai koko vuoden odotettuun tuottoon. Tästä johtuen pitkälle kevääseen kestävä talvi ja lumipeite, tai heikko auringonsäteily alkuvuonna voidaan hyvin vielä paikata koko vuoden sähköntuottoa ajatellen aurinkoisella kevät- ja kesäjaksolla, jolloin auringon säteilyn intensiteetti on korkea.

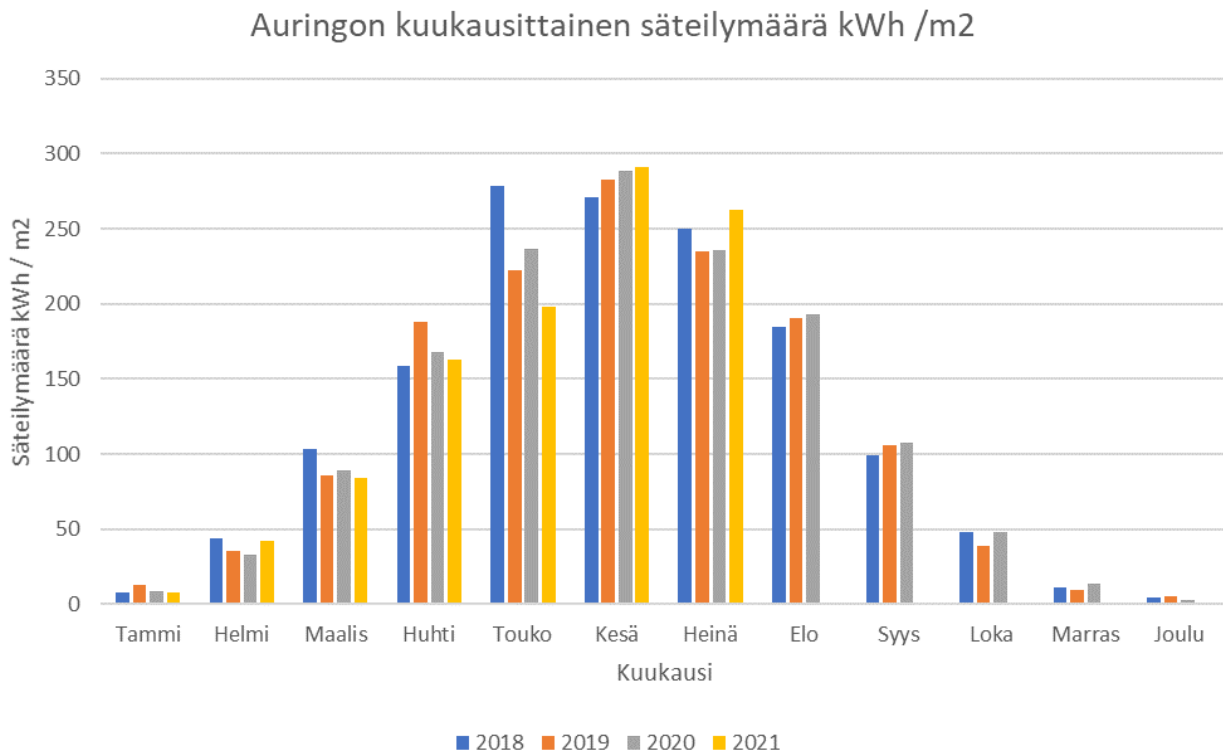
Huhtikuun ja heinäkuun väliseltä aikajaksolta aurinkovoimaloiden tuotto on ollut hyvin lähellä ennustettua teoreettista tuottomäärää. Kun lisäksi tarkastellaan Ilmatieteenlaitoksen keräämää dataa vertailtavan aikajakson toteutuneista lämpötiloista kuviosta 15, hellepäivien lukumäärästä kuviosta 16, sekä kertyneestä auringon säteilymäärästä kuviosta 17, voidaan voimaloiden tuottolukujen valossa todeta, että aurinkovoimaloiden tuotossa on mahdollista päästä vieläkin korkeampiin tuottolukuihin.



Kuvio 15. Kuukauden keskilämpötilat (Ilmatieteenlaitos)



Kuvio 16. Kesän 2021 toteutuneita lämpötiloja Helsingissä (Ilmatieteenlaitos)



Kuvio 17. Auringon säteilymäärät (Ilmatieteenlaitos)

Aurinkopaneelin tuotantoa merkittävästi alentava paneelin pintalämpötila voi lämpimänä hellepäivänä olla yli +60 °C. Näin korkea pintalämpötila yksinomaan heikentää paneelin tuotantoa jopa yli 20 %. Yli +25 °C lämpötiloja oli pelkästään vuoden 2021 kesä- ja heinäkuun aikana Suomessa 49 päivää (Helletilastot N.d.). Vaikka kesäaika oli poikkeuksellisen aurinkoinen, niin myös auringon säteilymäärät jäivät silti kokonaisuutena hieman vertailujakson tammikuu - heinäkuu välistä aikaa pienemmäksi. Näiden lisäksi pitkät pouta- ja hellejaksot eivät tuo mukanaan sateita, jotka pitäisivät aurinkopaneelien pinnat puhtaana, vaan ne keräävät normaalia enemmän likaa ja pölyä, joka myös osaltaan alentaa paneelin tuottoa aiheuttamalla paneelin näkökulmasta varjoja pinnalle. Kuvio 18 havaitaan, että paneeleita varjostavat esineet, kuten esimerkiksi paneelikenttien reunoja havainnollistavat auraukset, voivat suunnitelmista poiketen aiheuttaa useita varjostuksia. Aurinkopaneelien reunoista ilmoittavat auraukset on hyvä muuttaa kesäajaksi sivulle tai alas taittaviksi, jolloin ne eivät tarpeettomasti heikennä paneelien sähköntuottoa.



Kuvio 18. Lintulahdenkuja 2 (SOLERAS)

Aurinkovoimaloiden alueellisen sijainnin merkitys paneelien tuottoon nähden on todennettavasti kaksiosainen. Tämä on havaittavissa siinä, että eteläisemmän sijainnin aurinkovoimalat paitsi alkavat tuottaa sähköä aikaisemmin koska lumet sulavat aiemmin paneelien päältä, ne myös tuottavat optimaalisemman paneelin asennuskulman takia aikaisemmin enemmän sähköä verrattuna maantieteellisesti pohjoisempaan olevaan voimalaan. Alueellisen sijainnin vaikutus tasoittuu kuitenkin melko nopeasti, kun aurinko alkaa päivisin nousta korkeammalle, ja suora säteilyä kohdistuu entistä enemmän suoraan paneelin pinnalle.

## 6.4 Investointilaskelmat

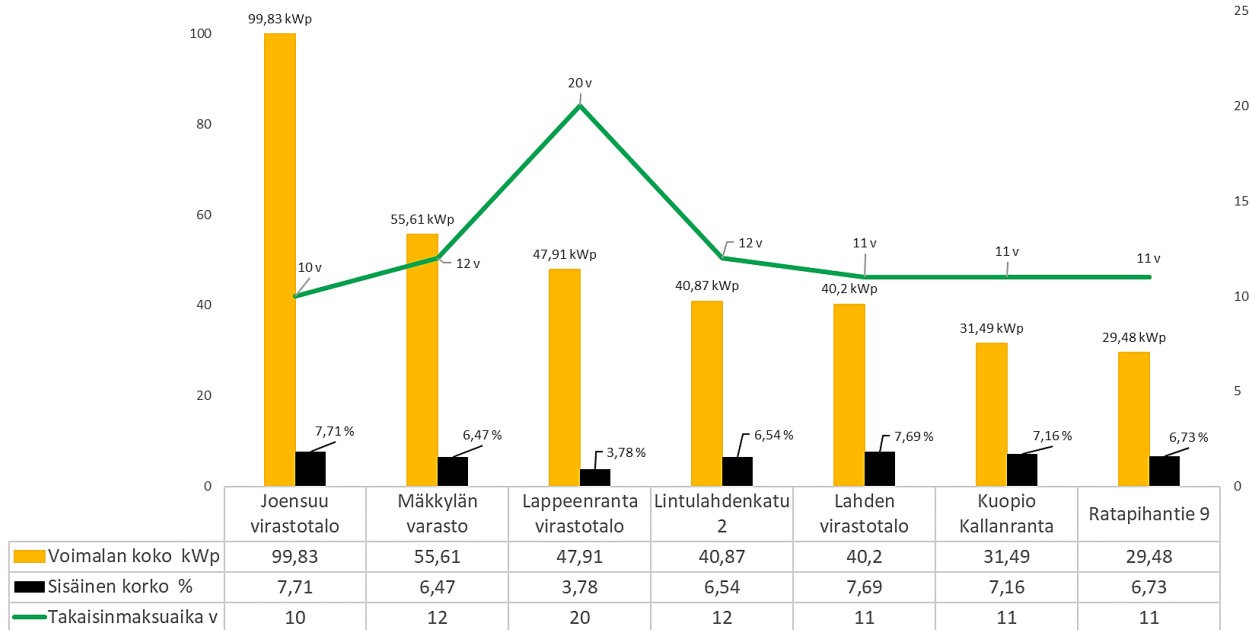
Seitsemän aurinkosähkövoimalan osalta laskettujen investointien kannattavuuslaskelmien tulokset on esitetty taulukossa 3 ja kuviossa 19. Tulokset on koostettu Excel-tiedostoon kerätyn datan perusteella.

Taulukossa 3 on esitetty nykyarvomenetelmään perustuvat laskelmien kohdekohtaiset tulokset suurimmasta aurinkovoimalasta pienempään. Kuvaajassa on esitetty investoinnin kustannukset kertamaksuna, investoinnin laskettu nykyarvo ja erotus. Investoinnin nykyarvo sisältää sekä laitteen jännösarvon, että tuottolaskelmat seuraaville kolmellekymmenelle vuodelle. Erotus on saatu vähentämällä investoinnin nykyarvosta investoinnin kustannukset.

Taulukko 3. Investointien nykyarvo

Kohdevoimala	Voimalan koko kWp	Investointikustannukset € alv. 0 %	Investoinnin nykyarvo € alv. 0 %	Nykyarvon ja kustannusten erotus € alv. 0 %
Joensuun virastotalo	99,83	74 877,40	168 810,95	93 933,55
Mäkkylän varasto	55,61	49 978,16	101 062,97	51 084,81
Lappeenrannan virastotalo	47,91	60 052,58	90 930,18	30 877,60
Lintulahdenkuja 2	40,87	35 440,56	71 931,09	36 490,53
Lahden virastotalo	40,2	35 404,47	79 776,91	44 372,44
Kuopion kallanranta virastotalo	31,49	27 710,36	59 357,76	31 647,40
Ratapihantie 9	29,48	23 780,33	48 878,08	25 097,75

Kuvio 19 esittää kuvaajan muodossa voimalakohtaisen investoinnin sisäisen koron sekä takaisinmaksuajan. Keltaisella värillä pylväskaaviona on merkitty aurinkosähkövoimalan koko, voimalan vieressä mustana pylväskaaviona on kyseisen voimalainvestoinnin laskettu sisäinen korko ja takaisinmaksuaika on merkitty vihreällä viivadiagrammilla. Vasemmanpuoleisessa asteikossa on voimalakoko ja takaisinmaksuajan asteikko on kuvaajan oikeassa reunassa.



Kuvio 19. Investointien kannattavuus

#### 6.4.1 Investointianalyysi

Senaatin aurinkosähkövoimaloihin tekemien investointien kustannuksista kolmannes rahoitetaan lainarahalla. Tämä Senaatti-kiinteistöjen lainaraha on valtion kilpailuttamaa lainaa, jonka rahoituskorko on 3 %. Opinnäytetyön kirjoitushetkellä kilpailutetun lainan hinta on kuitenkin 1,5 %, joten sitä on käytetty myös tässä opinnäytetyössä esiteltävissä investointilaskelmissa laskentakorkokantana. Sisäisen koron, eli tuottotavoitteen arvona investoinnille voidaan pitää 5 % tuottotasoa.

Nykyarvomenetelmällä laskettaessa yksittäisiä investointeja, päästiin jokaisen aurinkovoimalan kohdalla kannattavaan lopputulokseen, kun laskennan nettotuottojen nykyarvo ylitti selkeästi kustannusten nykyarvon tuoden mukanaan arvonnlisäystä. Nykyarvoa laskettaessa on tuottojen nykyarvoon laskettu mukaan laitteiston oletetun jäännösarvon nykyarvo. Jäännösarvosta arvioidaan olevan jäljellä tarkasteluajan lopussa 50 % hankintahinnasta. Euromääräistä tuottoa tarkasteltaessa voidaan todeta, että voimalakokoa kasvattamalla päästään myös suurempaan rahassa mitattavaan tuottoon. Suurin euromääräinen tuotto saatiin kustannuksiltaan suurimmasta aurinkovoimalainvestoinnista ja sama investointi tuottaa myös parhaimman sisäisen koron tuloksen. Koska tarkastelun voimalainvestoinnit ovat eri kokoisia, ei vertailua voida tehdä pelkästään investointien nykyarvon ja kustannusten välistä erotusta vertailemalla, vaan on perusteltua tarkastella investointien sisäistä korkoa.



Aurinkovoimalainvestointien sisäinen korko on keskimäärin noin 6,6 %. Kuuden voimalan osalta sisäinen korko on 6,47 % - 7,71 % välillä. Keskiarvoa laskee yksi aurinkosähkövoimala, jossa investoinnin sisäinen korko on jäänyt muista poiketen 3,78 %. Tämän voimalan kannattavuuteen vaikuttaa kustannuksiltaan alkuperäistä suurempi hankintahinta, joka aiheutui pääasiassa korkeammista suunnittelukuluista sekä lisäksi sähkö- ja rakennusteknisistä töistä, jotka nostivat osaltaan suunniteltua hankintahintaa. Investointien tavoitteena pidetty riittävä 5 % sisäinen korko ylittyi muiden voimaloiden kohdalla reilusti, joten kannattavuuden voidaan todeta olevan hyvä tai erittäin hyvä. Suurimman voimalan 7,71 % sisäinen korko on vertailussa erinomainen.

Takaisinmaksuajat aurinkovoimalainvestoinneilla ovat laskelmissa käytettyjen sähkönhintojen välillä 10–12 vuotta. Lappeenrannan virastotalon aurinkovoimalainvestointi tekee kuitenkin kannattavuuden tasaisuuden suhteen poikkeuksen verrattaessa muiden vastaavien investointien takaisinmaksuajaksi. Takaisinmaksu aika muodostuu siitä, kun aurinkosähkövoimalan sähköntuoton kumulatiivinen euromääräinen tuotto kattaa hankintakustannukset. Paras kannattavuus investoinnille on saatu myös takaisinmaksuajan laskelmien perusteella suurimmalla 99,83 kWp aurinkosähkövoimalalla.

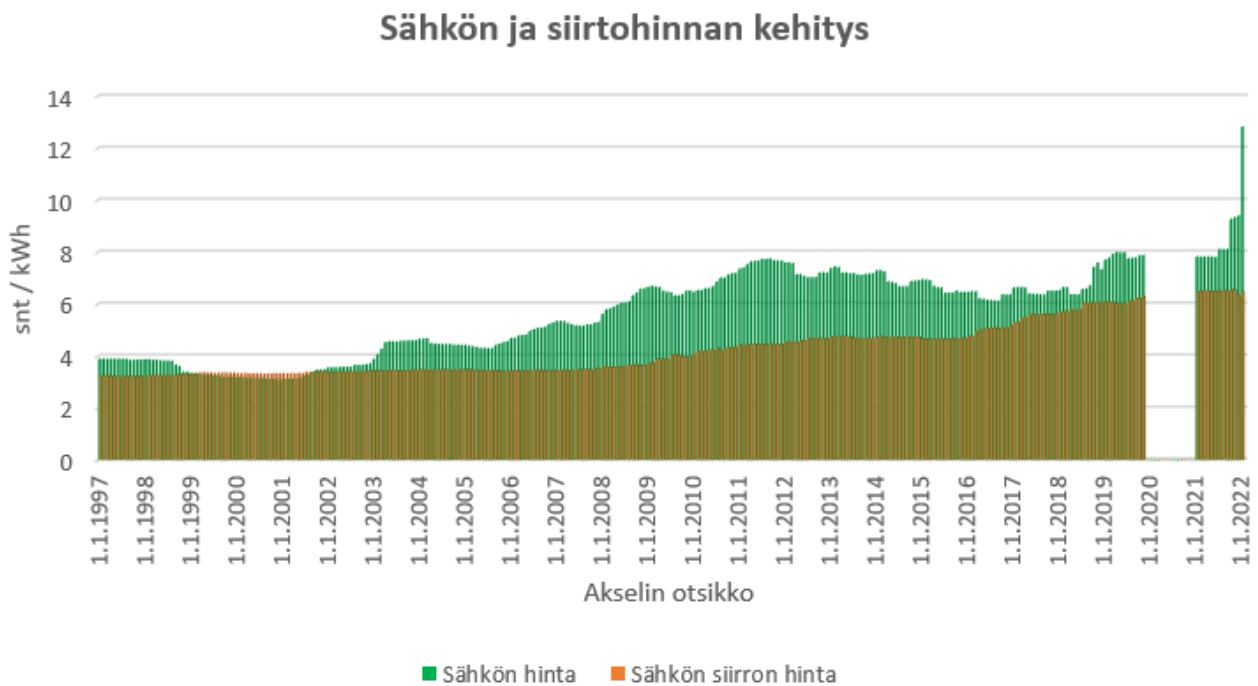
Aurinkosähkövoimalan asentaminen kiinteistön sähkönkulutuksen rinnalle on aina investointi. Kuten laskelmista ja analyysistä voidaan todeta, on tärkeää, että vastaavaa investointia tehdessä arvioidaan kannattavuutta useammalla laskentamenetelmällä. Takaisinmaksumenetelmä, jota yleisesti aurinkosähkövoimaloiden suunnittelussa käytetään, ei kerro investoinnin kannattavuutta ja todellista tuottoa niin kuin nykyarvomenetelmä tekee. Takaisinmaksumenetelmä on kuitenkin selkeä menetelmä, joka sopii hyvin kannattavuuden arviointiin, kun käytetään useampaa menetelmää yhdessä, sillä silloin useampi käytettävä menetelmä tukee toisiaan.

## **6.5 Sähkön hintakehitys**

Opinnäytetyön investointilaskelmien tekoajanaan kesällä 2021 sähkön hinta oli ennätysellisen korkealla aiempaan verrattuna. Sähkön keskihinta kesällä 2021 oli miltei samalla tasolla kuin aiempina vuosina talviaikaan. Sähköenergian hintahuiput tuntikohtaisissa spot-hinnoissa ajoittuivat kesällä kuumimpaan ajankohtaan, jolloin muun muassa viilentämiseen tarvittavan sähköenergian määrä oli myös suuri. Investointilaskelmien lisäksi Senaatti-kiinteistöille tehtiin tulevaisuutta ennakoiva

skenaario mahdollisesta sähkön- ja sähkönsiirtohintojen noususta ja sen vaikutuksesta aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuteen. Kannattavuuden herkkyytarkastelua tehtiin 10 ja 20 prosentin yhteenlasketulla hinnannousulla.

Kesällä 2021 tehdyn ennusteen mukaan 20 % yhteenlaskettu hinnannousu sähköenergiassa ja sähkönsiirrossa olisi parantanut tutkittavien aurinkosähkövoimaloiden osalta investoinnin sisäistä korkoa keskimäärin 1–2 % ja vähentänyt takaisinmaksuaikaa noin 1–2 vuotta. 20 % hinnannousun arvioitiin realisoituvan noin 2–3 vuoden sisällä. Arvio hinnannoususta perustui Energiaviraston tilastotietoihin sähkön hintakehityksestä, joka nähdään kuvioista 20. Kuviossa 20 on esitetty sähkön toimitusvelvollisuushinnan ja sähkön siirron painotettu keskiarvo ja hinnan kehittyminen viimeisten 25 vuoden ajalta. Hintakehitys on vuoteen 2021 asti ollut ajanjaksolle suhteutettuna keskimäärin +10 % vuodessa. Vuoden 2020 osalta hintatietoa ei Energiaviraston tilastosta tuntemattomasta syystä löytynyt. (Sähkön hintatilastot N.d.)



Kuvio 20. Tilastotietoa sähkön ja sähkönsiirron hintakehityksestä (Sähkön hintatilastot N.d.)

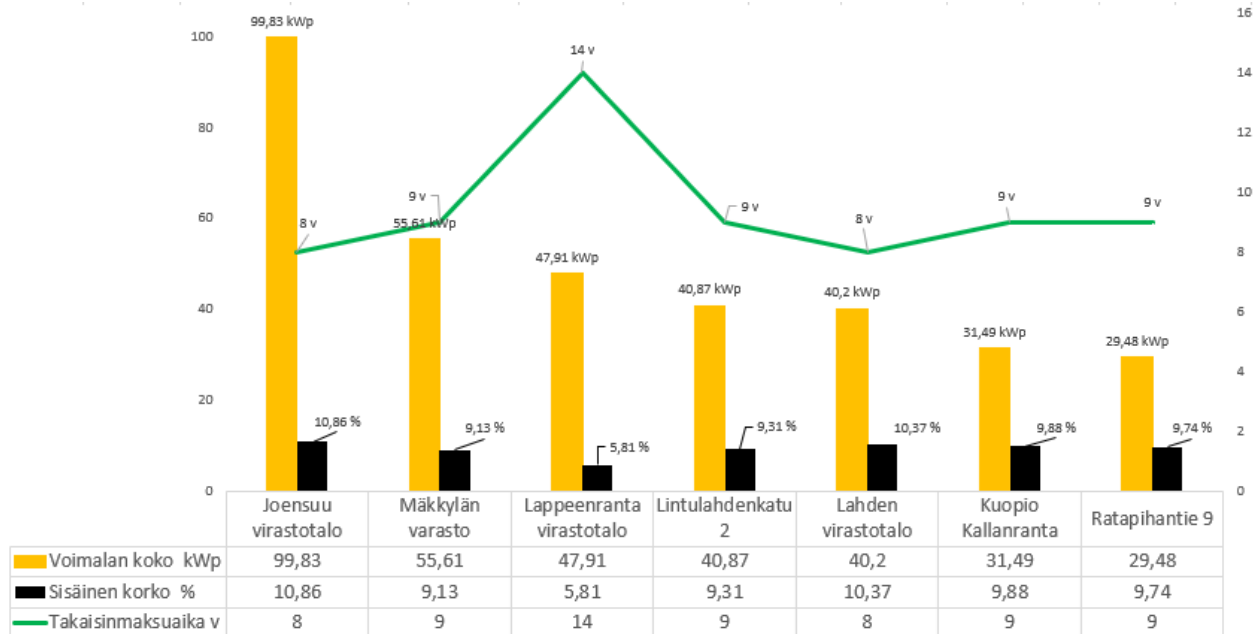
Kuten kuvioista 20 havaitaan, on sähköenergian hinnannousu pelkästään vuoden 2021 kesän ja 2022 alkupuolen välillä ollut ennätysellisen suuri. Sähkönsiirtohintaa ei ole muuttunut edellisvuodesta. Tilastotiedosta selviää, että sähkönsiirron sekä sähköenergian yhteenlaskettu veroton hinta

alkuvuonna 2022 on ollut noin 19,3 snt/kWh. Tästä sähköenergian osuus on ollut 66 % ja 34 % on sähkönsiirtoa. Vielä vuosi sitten energian ja siirron yhteenlasketusta hinnasta energian osuus oli noin 55 % ja sähkönsiirron 45 %. (Sähkön hintatilastot N.d.)

Korkeaan sähköenergian hinnanmuutokseen vuosien 2021 ja 2022 välillä ei ole yhtä selkeää syytä, vaan se on seurausta useamman samanaikaisen osasyyn summasta. Jo vuonna 2020 alkanut koronapandemia aiheutti laajoja tuotanto- ja toimitusvaikeuksia, jotka johtivat energian kysynnän ja tarjonnan epätasaisuuteen sekä heittelyyn. Sähkönhinnan viimeaikaiseen korkeaan nousuun on syynä Euroopan muuttunut turvallisuuspoliittinen tilanne Ukrainan ja Venäjän välisen sotatilan vuoksi. Se on johtanut epävarmuuteen energian saatavuudesta Venäjältä. Lisäksi osa Venäjältä tuotavasta energiasta kulkee Ukrainan kautta, mikä luo osaltaan epävarmuutta energiatoimitusten jatkuvuuteen. Lisäksi korkeaksi noussut inflaatio voimakkaan elvyttävän rahapolitiikan seurauksena on nostanut myös sähköenergian hintaa. Viime vuosia kylmempi talvi lisäsi lämmitykseen tarvittavaa energiaa kuten sähköä, mikä myös osaltaan johti suuremman äkillisen energiakysynnän vuoksi korkeampiin hintoihin.

Tämän opinnäytetyön kirjoitushetkellä keväällä 2022 epävarma globaali taloudellinen tilanne on edelleen läsnä ja myös sähköenergian hinta on pysytellyt korkealla tasolla. Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuden näkökulmasta on syytä tarkastella vertailun vuoksi hintaherkkyttä ja suhteuttaa kesän 2021 aikaiset laskelmien kannattavuudet tähän hetkeen. Sähköenergian painotettu keskiarvohinta on noussut Energiaviraston tilastotiedon mukaan 58 % viime kesästä. Senaatti-kiinteistöillä on kahden vuoden ajalle kilpailutettu yhteiskäytön sähköenergian hinta, mutta nopeasti noussut sähkönhinta tulee vaikuttamaan myös tähän hintaan pidemmällä aikavälillä.

Kuviossa 19 esitettiin aurinkosähkövoimalainvestointien kannattavuus voimassa olevan hankintasopimuksen sähkön hinnan mukaan. Kuviossa 21 esitetään aurinkosähkövoimaloiden kannattavuuden suhteen skenaario, jossa sähköntuotanto määrällisesti ja sähkönsiirtohinna kestää samalla tasolla kuin edellisenä vuonna ja ainoastaan valtion yhteiskäyttöön hankittavan sähköenergian kilpailutetun sopimuksen sähköenergian hinta nousee nykyisestä 58 %. Kuvaajassa nähdään sähkönhinnan nousun vaikutus Senaatti-kiinteistöjen aurinkovoimaloiden taloudelliseen kannattavuuteen, jos nykyisen sähköenergian sopimushinta 4,048 sentistä/kWh nousee tulevaisuudessa 6,396 senttiin/kWh.



Kuvio 21. Aurinkovoimaloiden kannattavuus sähköhinnan noustessa

Kesän 2021 aikana tehtyjen kannattavuuslaskelmien mukaan investoinneille toteutui keskimäärin 6,6 % sisäinen korko ja takaisinmaksuajat olivat noin 10–12 vuotta. Verrattaessa edellisen kesän kannattavuuden tuloksia kuviossa 21 esiteltyyn kuvaajaan, voidaan todeta mahdollisen sähköhinnan nousun vaikuttavan positiivisesti aurinkovoimaloiden kannattavuuteen. 58 % sähköenergian nousu parantaa vertailun aurinkovoimaloiden investointien kannattavuutta sisäisen koron osalta jopa 3 % voimalaa kohden ja takaisinmaksuajat pienenevät 2–3 vuotta. Keskimääräinen sisäinen korko hintamuutoksen jälkeen on 8,83 % ja takaisinmaksuajassa päästään useiden voimaloiden osalta reilusti alle kymmeneen vuoteen. Suurimman voimalan parhaan panos/tuotto -suhteen ansiosta sähkön hinnannousu näkyy myös parantuneena kannattavuutena tässä voimalassa selkeimmin. Mahdollisessa sähköhinnan noususkenaariossa suurimman aurinkovoimalainvestoinnin sisäinen korko nousee jopa lähelle 11 % ja takaisinmaksuaika pienenee 8 vuoteen.

## 7 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Senaatti-kiinteistöille vuoden 2020 aikana valmistuneiden ja käyttöönotettujen aurinkosähköjärjestelmien toteutunut sähköntuotanto verraten sitä tuottoennusteisiin sekä laskea näiden investointeina tehtyjen aurinkovoimaloiden kannattavuus. Työssä tarkastellut voimat on asennettu kattoasennuksina, ja kohdekiinteistöt ovat pääasiassa

toimistokäyttöön tarkoitettuja virastotaloja. Kohteiden maantieteelliset sijainnit ovat Etelä- ja Itä-Suomessa. Pohjoisimmat voimalat sijaitsevat Kuopiossa ja Joensuussa. Joensuussa sijaitseva aurinkosähkövoimala on teholtaan suurin 99,83 kWp ja vertailun pienin 29,48 kWp voimala on asennettu Helsinkiin.

Aurinkosähköjärjestelmien todellinen sähköntuotto selvitettiin keräämällä vuoden 2021 tammi-heinäkuun- väliseltä ajanjaksolta voimalakohtainen sähköntuotantodata kahdeksasta tutkittavasta Senaatti-kiinteistöjen kohdekiinteistöstä. Sähköntuotantodata luettiin voimaloiden inverttereiltä etäkäytön avulla. Tiedon keräämisen ja koostamisen jälkeen aurinkosähkövoimaloiden toteutunutta kuukausikohtaista sähköntuotantodataa verrattiin ennalta tehtyihin suunnitelmiin ja laitetoimittajan antamiin vastaavan ajanjakson tuottoennusteisiin.

Sähköntuotantodatan, toteutuman ja ennusteiden lisäksi toinen päätavoitteista opinnäytetyölle oli kerätä kohdekohtaisesti kaikkien aurinkosähkövoimaloiden projekteille kohdistuneet kokonaishankinnan toteutuneet kulut ja laskea näiden sekä sähköntuotantotiedon avulla voimalainvestointien todellinen kannattavuus. Investointien kannattavuuslaskennassa käytettiin nykyarvomenetelmää sekä sisäisen korkokannan menetelmää ja lisäksi laskettiin investointien takaisinmaksuaika. Kohdekohtaisten eroavaisuuksien, kuten järjestelmäkoon ja investointien euromääräisen suuruusluokan vaihtelevuuden vuoksi, käytettiin perustellusti sisäisen korkokannan menetelmää vertailtaessa kannattavuuden paremmuutta eri investointien välillä.

Saatujen tutkimustulosten perusteella voidaan todeta Senaatti-kiinteistöjen aurinkosähkövoimalainvestointien olleen erittäin kannattavia. Toteutunut sähköntuotanto verrattuna laitetoimittajan kuukausiennusteisiin oli hyvin lähellä ennako-oletuksia ja ennusteita. Aurinkosähkövoimaloihin tehtyjen investointien taloudellinen kannattavuus sisäisen koron mittarilla oli keskimäärin 6,6 % investointia kohden, mikä on todella hyvä ja toivotunlainen tulos, kun 5 % tuottoa pidetään tässä tapauksessa riittävän hyvänä. Nykyarvon laskennassa netto nykyarvo ylitti reilusti alkuinvestointimenon jokaisen yksittäisen voimalainvestoinnin kohdalla, joka todentaa myöskin investoinnin olleen kannattava.

Voimaloiden sähköntuotannon seurannan ja tarkastelun ajanjaksolla tuotanto jäi alkuvuodesta hieman ennustetta alemmalle tasolle, mutta lämpimämmän ja auringonsäteilyltään intensiivisemmän huhti-heinäkuun välisenä aikana tuotantolukemat jopa ylittivät laitevalmistajan ennusteet. Voimaloiden tuottamasta sähköstä lähes kaikki meni kohteen omaan kulutukseen, mikä vähensi siltä osin suhteessa kalliin ostosähkön tarvetta. Sähköntuotanto oli voimalakohtaisesti hyvällä tasolla.

Senaatti-kiinteistöjen tekemien aurinkosähkövoimalainvestointien kannattavuus laskettiin olevan paras suurimmalla 99,83kWp voimalalla, jonka sisäinen korko oli erinomainen 7,71 % ja heikoiten vertailussa pärjäsi 47,91 kWp voimala, jonka sisäinen korko oli 3,78 % muista vertailukohteista poikkeavien korkeiden projektikohtaisen kustannusten vuoksi. Takaisinmaksuajat aurinkovoimalainvestoinneissa laskettiin olevan 10–12 vuoden välillä. Kaikki vertailut investoinnit olivat kannattavia: investoinnin nettonykyarvo ylitti kustannusten nykyarvon, takaisinmaksuaika oli odotetun kaltainen ja sisäisen koron osalta ylitettiin tuottovaatimukset.

Tuloksellisesti tärkeimpinä asioina tavoitteiden saavuttamiseksi oli, että onnistuttiin keräämään tarkat voimalakohtaiset tilastoinnit toteutuneista sähköntuotantoluvuista, joita verrattiin laitetoimittajan ennusteisiin. Investointilaskelmissa saavutettiin tarkat laskennat, sillä kaikki toteutuneet kohdekohtaiset kustannukset olivat selkeästi arkistoitu ja järjestelmästä saatavilla. Edellä mainittujen lisäksi Ilmatieteenlaitokselta saatiin luotettavat tilastotiedot ilmasto-olosuhteista tukemaan tulosanalyysia. Auringon säteilyn vaihtelevalla määrällä ja varsinkin aurinkopaneelin pinnan lämpötilalla huomattiin tutkimuksen tulosten kannalta olevan erittäin merkittävä vaikutus kokonaistuotannon kannalta. Oopperatalon aurinkovoimalan osalta ei päästy tekemään täysimittaista tarkastelua kannattavuuden suhteen, kuten alun perin oli tavoitteena. Kyseisen voimalan poisjättäminen laskuista johtui kohteella tehtävästä mittavasta saneeraustyöstä, jonka takia myös aurinkosähkövoimala oli pitkiä aikoja pois käytöstä.

Tutkimustyötä ja sähköntuotannon tarkastelua olisi hyödyllistä jatkaa pidemmälle, esimerkiksi niin, että tutkittava seuranta-ajanjakso olisi useamman vuoden mittainen. Pidempi tarkastelujakso ja tilastointi mahdollistaisi tarkemman ja laadukkaamman arvion siitä, kuinka paljon erilaiset tuotantoa heikentävät tekijät, kuten varjot, lumi, lämpötila ja erilaiset sääilmiöt vaikuttavat yksittäisen aurinkovoimalan kokonaissähköntuottoon ja esimerkiksi vuositasolla.

Edellä mainitut seikat vaikuttavat myös kannattavuuteen ja esimerkiksi tutkittujen aurinkovoimaloiden kohdalla pienien varjostumien muodostumiseen ja niiden poistoon on jatkossa syytä kiinnittää huomiota paneelien tehokkaamman toiminnan kannalta. Myös vuosittain vaihteleva lumitalanne vaikuttaa oleellisella tavalla kattoasennettujen aurinkopaneelien tuottoon. Voisi olla hyödyllistä tarkastella, olisiko mahdollista ja kannattavaa puhdistaa lunta paneelien päältä, jotta tuotannollisesti hyödyttäisiin kevään viileästä kelistä ja aurinkoisesta säästä ennen lumien luonnollista sulamista. Tällä päästäisiin vuositasolla entistä suurempaan sähköntuottoon voimalan osalta. Jatkokehityksen kannalta Ilmatieteenlaitoksen kanssa voisi myös pohtia yhteistyötä, missä ilmasto-olosuhteiden tilastointidataa ja alueellisesti saatavaa voimalakohtaista tuotantodataa voisi yhdistää pidemmältä aikaväliltä, ja näin ollen mahdollisesti jatkojalostaa jopa ennustamaan tarkasti tulevaisuuden sähköntuotantoa halutulla aikavälillä tai vertailemaan tarkemmin aluekohtaista kannattavuutta.

Aurinkosähköjärjestelmäinvestointien kannattavuuteen vaikuttaa tällä hetkellä sähköenergian nopea hinnannousu ja tulevaisuudessa hinnan kehitys. Esimerkiksi geo- ja turvallisuuspoliittisen tilanteen muutoksen vaikutuksesta aiheutuneen äkillisen sähköenergian hinnannousun vaikutus on nostanut myös aurinkovoimalainvestointien kannattavuutta, koska kiinteähintaisesti omatuotetun sähkön ja ostosähkön välinen hintaero kasvaa. Jos sähkönhinnan äkillinen hinnannousu vuosien 2021 ja 2022 aikana jää pysyväksi, on vaikutus investoinnin kannattavuuteen suhteessa erittäin merkittävä ja kannattavuus paranee huomattavasti. Vaikka sähköenergian hinnassa palattaisiin hieman maltillisempaan hintaan, on Energiaviraston tilastojen valossa odotettavaa, että sähköenergian ja siirtohintojen nousu tulee jatkumaan myös tulevaisuudessa. Kuten jo todettua, sen vaikutus on aurinkovoimaloiden kannattavuuteen positiivinen. Energiahintojen kehitys sekä energia politiikka tulee kasvattamaan aurinkosähköjärjestelmien suosiota. Isommassa mittakaavassa aurinkosähköjärjestelmien yleistyminen ja omavarainen sähköntuotanto myös kasvattaa Suomen sähköntuotannon huoltovarmuutta.

Jatkuvasti lisääntyvä kantaverkkoon liitettyjen aurinkovoimaloiden määrä vähentää aurinkoisella kelillä tarvittavan ostosähkön määrää. Kun omavaraisia sähköntuottajia on paljon ja aurinkopaneelien pinnalle tulevan auringonsäteilyn määrä vaihtelee, lisää tämä kantasähköverkon tehon ja tehohuippujen liikehdintää. Tulevaisuudessa sähköyhtiöt ovat valmiita maksamaan sähkön kysynnän

mukaan korvausta tuottajalle, jos kysyntää ja sähköverkon kuormitusta saadaan tasattua säättämällä sähkönkulutusta. Tällöin puhutaan kysynnän joustosta.

Kysynnän jousto tulee mahdollisesti kyseenalaistamaan myös yleisesti aurinkovoimaloiden mitoittamiseen periaatteena käytetyn kiinteistökohtaisen sähkönkulutuksen. Jos teoriassa aurinkosähköjärjestelmän kokoa kasvatettaisiin niin, että kulutuksen yli jäisi sähköä, joka voitaisiin varastoida akkuihin ja myydä sähköyhtiölle silloin kun sähkön kysyntä on suurta ja hinta korkeampi, voisi tällä tavoin oikein ajoitettuna parantaa ja kasvattaa aurinkosähkövoimalan kannattavuutta entisestään. Kuviteltu tilanne vaatisi toki jonkin verran automaattisesti toimivaa ajantasaista hintaseurantaa ja elektroniikkaa toimiakseen, sekä voimalakohtaisen akkujärjestelmän sähköenergian varastoimista varten.

Nämä edellä mainitut seikat tietysti kasvattavat kustannuksia, ja olisi tarpeen laskea tarkoin kannattavuus ennen vastaavan investoinnin toteuttamista. Toisaalta akkujen hintakehitys on ollut vuosia laskusuhdanteinen ja kasvava määrä Suomen sähköautokantaa sisältää myös suuren akkukapasiteetin. Tätä sähköajoneuvojen suurta akkukantaa voisi mahdollisesti ajatella hyödynnettävän omavaraisen sähkön ylituotannon varastoimisessa sekä sähkön myymisessä kysynnän joustotilanteessa, sillä sähköautot ovat lataustilanteessa suoraan liitettynä Suomen kantaverkkoon.

Tämän opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää toimeksiantajan aurinkosähköohjelman jatkon ja hankkeen kehittämisen näkökulmasta. Opinnäytetyö esittelee kattavasti tärkeimmät aurinkovoimalan suunnittelussa huomioitavat asiat tuotannon tehokkuuden ja kannattavuuden näkökulmasta, jotka ovat investointia arvioitaessa ensiarvoisen tärkeitä lopputuleman kannalta. Tämän opinnäytetyön sisältö ja saadut tulokset tukee ja edistää Senaatti-kiinteistöjen uusiutuvan energian ja hiilineutraaliuden strategisia tavoitteita sekä osoittaa myös strategian sisältämän aurinkosähköhankkeen olevan taloudellisesti erittäin kannattava. Senaatti-kiinteistöjen aurinkosähköhanke on ajoituksellisesti ollut loistava ja sähköenergian hintakehitys huomioiden tulevaisuuden näkymät aurinkovoimalainvestoinneille ovat erinomaiset.



## Lähteet

Ala-Myllymäki, E. 2016. Aurinkodemo. EAKR- hankkeen loppuraportti Merinova.fi- verkkosivuilla. Viitattu 16.2.2022. [https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo\\_loppuraportti.pdf](https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf).

Alastalo, M., Borg, S. 2010. Numerolukutaito. Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Viitattu 21.11.2021. [https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/metelmaopetus/kvanti/numerolukutaito/numerolukutaito\\_tiedonkeruu/](https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/metelmaopetus/kvanti/numerolukutaito/numerolukutaito_tiedonkeruu/).

Amanatidis, G. 2021. Ilmastonmuutoksen torjuminen. Julkaisu Euroopan parlamentin verkkosivuilla. Viitattu 27.3.2022. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/72/combating-climate-change>.

Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 6.2.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringsateilyn_maara_suomessa).

Aurinkokennoteknologiat. 2016. Tampereen ammattikorkeakoulun DIGMA- oppimisympäristön opetusvideo youtube- verkkosivustolla. Viitattu 12.1.2022 <https://www.youtube.com/watch?v=pWPzUCk7XZA>.

Aurinkopaneelin asentaminen. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 9.2.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkopaneelien\\_asentaminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen).

Aurinkopaneelit toimivat Suomessa hyvin. 2019. Artikkelit Suomelan sivustolla. Viitattu 5.1.2022. <https://www.suomela.fi/aurinkopaneelit-toimivat-suomessa-hyvin/>.

Aurinkopaneelit. N.d. Julkaisu Aurinkovirta- verkkosivuilla. Viitattu 27.1.2022. <https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/aurinkopaneelit/>.

Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 27.1.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho).

Aurinkosähköjärjestelmät. Toimintaperiaate ja järjestelmätyypit. N.d. Julkaisu Tukesin verkkosivuilla. Viitattu 28.2.2022. <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>.

Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet. N.d. Julkaisu Aurinkosähköä kotiin- verkkosivustolla. Viitattu 28.1.2022. <https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkosahko-kokoonpano/>.

Aurinkosähkön paloturvallisuus. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 28.2.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_paloturvallisuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_paloturvallisuus).

Aurinkosähköopas. N.d. Julkaisu lännenvoiman verkkosivuilla. Viitattu 6.1.2022. <https://lannenomavoima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>.

Aurinkosähköteknologiat. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 6.1.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat).

Auvinen, K. 2017. Kestääkö katto aurinkovoimalan? – Katso tarkistuslista. Artikkelin finsolar-net-verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2022. <https://finsolar.net/kestaako-katto-aurinkovoimalan/>.

Datalehti. N.d. Aurinkopaneelin datalehti Aurinkovirta- verkkosivuilla. Viitattu 27.1.2022. [https://www.aurinkovirta.fi/wp-content/uploads/2021/02/nemo\\_datalehti\\_mustat\\_kehukset\\_2021.png](https://www.aurinkovirta.fi/wp-content/uploads/2021/02/nemo_datalehti_mustat_kehukset_2021.png).

Energian alkuperätakuulla voi varmistaa, että ostettu energia on uusiutuvaa. 2021. Tiedote valtioneuvoston verkkosivuilla. Viitattu 1.4.2022. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/energian-alkuperatakuulla-voi-varmistaa-etta-ostettu-energia-on-uusiutuvaa>.

Energiaverotus. 2021. Verottajan ohjeistus vero.fi- verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2022.

<https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus2/>.

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys.

Fraile, D., Latour, M., El Gammal, A. & Annett, M. Photovoltaic energy. Electricity from the sun.

N.d. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 12.1.2022. [https://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic\\_Energy\\_Electricity\\_from\\_the\\_Sun\\_EPIA.pdf](https://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic_Energy_Electricity_from_the_Sun_EPIA.pdf).

Hautamäki, A., Martio, L., Parmanen, K., Portaankorva-Koivisto, P. & Sirviö, S. 2010. Kertoma 7!. 3. p. Keuruu: Otava.

Heikkilä, T. 2021. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Energiateollisuuden ohjeistus Energia.fi- verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2022. [https://energia.fi/files/6065/Ohje\\_tuotannon\\_liittamisesta\\_asiakasviestintaan\\_PAIVITETTY\\_20210614.pdf](https://energia.fi/files/6065/Ohje_tuotannon_liittamisesta_asiakasviestintaan_PAIVITETTY_20210614.pdf).

Helletilastot. N.d. Tilastotietoa Ilmatieteenlaitoksen sivuilla. Viitattu 14.3.2022. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot>.

IEC 62548:2016:fi. Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 1.5.2018. Viitattu 12.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Invertteri. N.d. Julkaisu Aurinkovirta- verkkosivustolla. Viitattu

9.2.2022. <https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>.

Investointilaskelmilla jalat pysyvät maassa. 2008. Artikkelit Tilisanomat- verkkosivuilla. Viitattu 25.2.2022. <https://tilisanomat.fi/yleiset/investointilaskelmilla-jalat-pysyvat-maassa>.

Jones, A. 2019. The Photoelectric Effect. Artikkelit ThoughtCo. – verkkosivuilla. Viitattu 6.1.2022.

<https://www.thoughtco.com/the-photoelectric-effect-2699352>.

Karjalainen, L. 2009. Liiketalouden matematiikka. Keuruu:PII-kirjat.

Komulainen, M. 2020. Luvassa aurinkoa ja tuulta. Artikkelit Turku AMK:n verkkosivuilla. Viitattu 1.3.2022. <https://www.turkuamk.fi/fi/artikkelit/2413/luvassa-aurinkoa-ja-tuulta/>.

Kuinka valitsen oikean määrän aurinkopaneeleita. 2020. Artikkelit Väre.fi- verkkosivuilla. Viitattu 11.2.2022. <https://vare.fi/aurinkopaneelit/kuinka-valitsen-oikean-maaran-aurinkopaneeleita/>.

Lappalainen, K. 2014. Aurinkokennoista saadaan paras tuotto kylmällä säällä. Artikkelit sähkömaailma.fi- verkkosivuilla. Viitattu 16.2.2022. <https://www.sahkomaailma.fi/aurinkokennoista-saadetaan-paras-tuotto-kylmalla-saalla/>.

Lehto, I., Orrberg, M., Ylinen, M. & Andersén, M. 2021. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Liuksiala, L. 2015. Aurinkosähköjärjestelmän kannattava mitoitus. Artikkelit finsolar.net- verkkosivuilla. Viitattu 5.2.2022. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/aurinkosahkojarjestelman-kannattava-mitoitus-2/>.

Lupa-asiat. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2022. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva-energia/aurinkosahko/ennen-jarjestelman-hankintaa/lupa-asiat>.

Luvat ja sopimukset. 2021. Julkaisu Aurinkosähköä kotiin- verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2022. <https://aurinkosahkoakotiin.fi/luvat-ja-sopimukset/>.

Mitoitusmenetelmiä. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 5.2.2022. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva-energia/aurinkosahko/hankinta-ja-asennus/aurinkosahkojarjestelman-mitoitus/mitoitukset>.

Oulun kaupunki. Rakennusvalvonta. Määräykset ja ohjeet. Aurinkopaneelit. 2020. Ohjeistus Oulun kaupungin verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2022 <https://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/aurinkopaneelit>.

Pariisin ilmastopöytäkirja. 2015. Ilmaston muutokseen liittyvän tilannetiedon julkaisu Eurooppa-neuvoston verkkosivuilla. Viitattu 27.3.2022. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/paris-agreement/>.

Perovskite Solar. 2020. Artikkelin perovskite-info- verkkosivustolla. Viitattu 28.1.2022. <https://www.perovskite-info.com/perovskite-solar>.

Photovoltaic Geographical Information System. 2019. Auringonsäteilyn ja sähköntuoton ennustamisen työkalu Euroopan komission tuottamilla verkkosivuilla. Viitattu 5.2.2022. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP).

Photovoltaics report. 2022. Julkaisu Fraunhofer instituution verkkosivuilla. Viitattu 12.1.2022. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>.

Pohtola, S. 2020. Blogisarja osa 3: Aurinkovoimala -mitä komponenttien hankinnassa on hyvä ottaa huomioon?. Blogikirjoitus Solarigon verkkosivuilla. Viitattu 9.2.2022. <https://www.solarigo.fi/post/blogisarja-osa-3-aurinkovoimala-mit%C3%A4-komponenttien-hankinnassa-on-hyv%C3%A4-ottaa-huomioon>.

PVGIS Photovoltaic Geographical Information System. N.d. Julkaisu Euroopan komission tuottamilla verkkosivuilla. Viitattu 1.3.2022. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en).

Saaranen, P., Koltola, E. & Pösö, J. 2010. Liike-elämän matematiikka. 8. p. Helsinki: Edita.

Senaatti ottaa ison harppauksen aurinkosähkön tuotannossa. 2019. Julkaisu Senaatin verkkosivuilla. Viitattu 27.3.2022. <https://www.senaatti.fi/2019/09/26/senaatti-ottaa-ison-harppauksen-aurinkosahkon-tuotannossa/>.

Senaatti pähkinänkuoressa. N.d. Julkaisu Senaatin verkkosivuilla. Viitattu 27.3.2022. <https://www.senaatti.fi/tietoa-meista/>.

SFS 6000-1-2017 Pienjännitesähköasennukset. 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 22.8.2017. Viitattu 12.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS 6000-7-712:217 Pienjännitesähköasennukset. 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 22.8.2017. Viitattu 12.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 50380:2017. Aurinkosähköpaneelien merkintä- ja dokumentointivaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 20.2.2018. Viitattu 12.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 61724-1:2017. Aurinkosähköjärjestelmän suorituskyky. Osa 1: Valvonta. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 18.12.2018. Viitattu 12.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 61829:2016. Aurinkosähköpaneelisto. Laitteiston virta-jännite-ominaisuuksien mittaus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 31.01.2017. Viitattu 12.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 62446-1:2016 + A1:2018. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottestit ja tarkastus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 27.11.2018. Viitattu 12.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 62446-1:2016. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottestit ja tarkastus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Julk. 30.8.2016. Viitattu 28.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Sisäinen korko. N.d. Julkaisu Pankkiasiat- verkkosivuilla. Viitattu 28.2.2022. <https://pankkiasiat.fi/sisainen-korko>.

ST 55.33. 2013. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähköjälkijärjestelmään. ST-ohjekortti. Sähköinfo Oy. Viitattu 28.1.2022. <https://janet.finna.fi/> , ST-kortisto.

Sähkön hintatilastot. N.d. Tilastotietoa sähkön tarjoushintojen kehityksestä Energiaviraston verkkosivuilla. Viitattu 3.4.2022. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>.

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

Toimintakertomus ja tilinpäätös. 2021. Toimintakertomus ja tilinpäätös raportti vuodelta 2020. Viitattu 1.4.2022. <https://www.senaatti.fi/app/uploads/2021/03/Senaatti-kiinteistot-toimintakertomus-ja-tilinpaatos-2020.pdf>.

Turvallisuus. 2021. Julkaisu Motiva.fi- verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/ennen\\_jarjestelman\\_hankintaa/lainsaadanto\\_ja\\_muu\\_ohjaus/turvallisuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lainsaadanto_ja_muu_ohjaus/turvallisuus).

Uusiutuva energia Suomessa. 2022. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 27.3.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/uusiutuva\\_energia\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa).

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2021. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 18.1.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma).

Yhteiskuntavastuuraportti Energia ja vesi. 2018. Raportti Senaatin verkkosivuilla. Viitattu 27.3.2022. <https://www.senaatti.fi/yhteiskuntavastuuraportti2018/vastuullisuus-senaatissa/ymparisto/energia-ja-vesi/>.