



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

ANTTI OJANSIVU

# **Aurinkoenergian hyödyntäminen toimistorakennuksen sähköntuo- tannossa**

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN  
TUTKINTO-OHJELMA  
2024

## TIIVISTELMÄ

Ojansivu, Antti: Aurinkoenergian hyödyntäminen toimistorakennuksen sähkötuotannossa  
Opinnäytetyö, AMK  
Energia-ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma  
Helmikuu 2024  
Sivumäärä: 51

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella aurinkosähköjärjestelmä ja arvioida sen toteuttamisen kannattavuutta kokonaisvaltaisesti. Kohteena on Forchem Oyj:n mäntyöljytislaamon toimistorakennus Rauman metsäteollisuuspuiston kupeessa. Lähtökohta työlle oli alustavasti suunnitella ja kartoittaa sopiva aurinkosähköjärjestelmä tehdasalueelle.

Työn tarkoitus on antaa yritykselle tietoa, millaiset edellytykset tontilla on aurinkosähköjärjestelmän toteuttamiselle, ja kuinka kannattavaa sen rakentaminen olisi yrityksen näkökulmasta. Työssä käydään läpi aurinkoenergian perusteoriaa, aurinkojärjestelmien teknologiaa sekä järjestelmän suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Työ sisältää myös suunnitelman sopivasta järjestelmästä ja arvion sen tuotoista ja kuluista.

Kyseinen laitos on erinomainen kohde aurinkoenergian tuotannon kannalta, koska laitoksen pohjakuorma kattaa suurenkin järjestelmän tuoton, jolloin ylimäänsähkön sijoituksesta ei tarvitse huolehtia. Tehdasalueella on runsaasti varjostavia rakennuksia ja tasaista kattopinta-alaa verrattain vähän, mikä asettaa suunnitellun järjestelmän sijainnille tietyt rajoitteet. Viime vuosina tapahtunut komponenttien hinnan reilu aleneminen mahdollistaa kannattavan aurinkosähköjärjestelmän rakentamisen. Hyvin suunniteltu ja asennettu järjestelmä on hyvä sijoitus, niin ympäristön, kuin myös yrityksen kannalta.

Avainsanat: Aurinkosähköjärjestelmät, aurinkoenergia, aurinkopaneeli, uusiutuva energia

## ABSTRACT

Ojansivu, Antti: Utilization of solar energy in the electricity production of office building

Bachelor's thesis

Energy and environmental engineering degree program

February 2024

Number of pages: 51

The purpose of this thesis was to design a solar electricity system and evaluate the profitability of its implementation as a whole. As a case study was chosen Forchem Oyj:s office building at its tall oil refinery in Rauma next to the forest industry park. The starting point for the work was to make an initial plan and map a suitable solar electricity system for the factory site.

The purpose of the work was to provide the company with information on what kind of conditions the site has for the implementation of a solar power system, and how profitable its construction would be from the company's point of view. In the work, the basic theory of solar energy, the technology of solar systems and the influencing factors of system design are reviewed. The work also includes a plan for a suitable system and an estimate of its revenues and costs.

The plant in question is an excellent target in terms of solar energy production, because the base load of the plant covers the output of even a large system, so surplus electricity is not a concern. In the factory area, there are buildings that shade the run-dirt and relatively little suitable roof area, which places certain restrictions on the location of the planned system. The considerable reduction in the price of components during the last year makes it possible to build a profitable solar power system. A well-designed and installed system is a good investment, both for the environment and for the company.

Keywords: Photovoltaic systems, solar energy, solar panel, renewable energy

## ALKUSANAT

Vuonna 2020 hain SAMKiin opiskelemaan energia- ja ympäristötekniikkaa, koska halusin oppia lisää uusituvasta energiasta ja saada itselleni tutkinnon, jonka avulla voisin hyödyntää opittuja taitoja.

Pääsin keväällä 2022 kesätöihin Raumalle Forchem Oyj:n mäntyöljyjalostamolle ja lähes pari vuotta myöhemmin työt operaattorina jatkuvat edelleen. Koin että yrityksessä arvostettiin kestävän kehityksen periaatteita ja päädyin ehdottamaan aurinkoenergian mahdollista hyödyntämistä laitoksella. Projektista innostuttiin ja aloin valmistella suunnitelmaa työn ja koulun ohella.

Haluan osoittaa kiitokset Harri Määtälle, sekä Fredrik Sandelinille mahdollisuudesta ja avusta opinnäytetyön eri vaiheissa. Kiitos kuuluu myös Petri Lähteelle, joka toimi opinnäytetyöni ohjaajana ja opasti läpi tämän lopputyön.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	8
2 AURINKOENERGIA .....	9
2.1 Maapalloon kohdistuva säteily.....	9
2.2 Aurinkovakio.....	10
2.3 Suomen ilmasto.....	11
2.4 Aurinkopaneelien suuntaus .....	12
3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT .....	14
3.1 Aurinkosähkön markkinakehitys .....	14
3.1.1 Aurinkosähkön tulevaisuus .....	15
3.2 Järjestelmän pääkomponentit.....	15
3.3 Kaapeloinnit.....	17
3.4 Invertteri .....	18
3.4.1 Invertterin mitoitus .....	19
3.5 Maksimipisteen tehonseuranta.....	19
3.6 Aurinkopaneelin toimintaperiaate .....	20
3.6.1 Half-cut paneelit.....	21
3.6.2 Ohitus- ja estodioidi .....	22
3.7 Aurinkopaneelien tekniset ominaisuudet .....	22
4 KOHTEEN ESITTELY.....	27
4.1 Toimistorakennus .....	28
4.1.1 Sähkönkulutus .....	28
5 AURINKOSÄHKÖÄ YRITYKSILLE .....	30
5.1 Luvat ja tuet.....	30
6 MALLINNUS JA MITOITUS .....	32
6.1 Järjestelmän mitoitus.....	32
6.2 Paneelien kiinnitys.....	33
6.3 Varjostukset.....	34
6.3.1 Varjostusten mallinnus.....	35
7 AURINKOJÄRJESTELMÄN TUOTTO .....	37
8 KANNATTAVUUS.....	40
8.1 Järjestelmän hinta .....	40
8.2 Sähkön hinta .....	41
8.3 Tuotosta saatava taloudellinen hyöty .....	42
9 YHTEENVETO.....	45
LÄHTEET.....	46

LIITTEET .....	50
----------------	----

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

kWp	Kilowattipiikki. Aurinkopaneelin nimellistehon yksikkö.
AC	Vaihtovirta. Sähkövirta, jonka suunta muuttuu funktiona.
DC	Tasavirta. Sähkövirta, jonka suunta ei muutu.
kWh	Kilowattitunti. Energian yksikkö.
MW	Megawatti. Tehon yksikkö
V	Voltti. Jännitteen yksikkö
Voc	Avoimen piirin jännite. Sähköpotentiaalinen ero elektronisen laitteen kahden navan välillä, kun se on irrotettu piiristä
Isc	Oikosulkuvirta. Suurin mahdollinen sähkövirta, jonka paneeli pystyy tuottamaan

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä alustava suunnitelma Rauman metsäteollisuuspuiston kupeessa sijaitsevan Forchem Oyj:n tehdasalueelle sopivasta aurinkosähköjärjestelmästä. Yhä useampi yritys pyrkii suunnittelemaan toimintaansa ympäristölliset näkökulmat huomioon ottaen ja vähentämään toiminnan luonnolle aiheutuvaa päästökuormaa. Aurinkoenergia on monelle yritykselle kustannustehokas tapa vähentää omaa ilmastovaikutustaan. Tämän työn pohjalta voidaan arvioida olisiko kohteeseen kaavailtu aurinkosähköjärjestelmä toimiva kyseisessä kohteessa, sekä saada käsitys järjestelmän taloudellisesta kannattavuudesta takaisinmaksuaika huomioon ottaen. Opinnäytetyössä perehdytään aurinkoenergian perusteisiin ja aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentteihin. Lisäksi perehdytään aurinkojärjestelmän mallintamiseen ja pohditaan mitkä tekijät vaikuttavat järjestelmän kokoon ja taloudelliseen kannattavuuteen.

Aurinkosähköjärjestelmien määrä ja suosio niin yritysten kuin kotitalouksienkin käytössä on merkittävästi yleistynyt viimeisen vuosikymmenen aikana. Järjestelmien kehityksen myötä yhä useammat yritykset ovat kiinnostuneita kattaamaan energiankulutustaan aurinkosähköllä. Edellä mainittu ajatus oli myös tämän opinnäytetyön lähtökohtainen alullepanija. Työn lähtökohtana oli kartoittaa järjestelmä tietyn yrityksen käyttöön ja suunnitella se tiettyyn kiinteistöön. Vastaavanlaisia selvityksiä ja töitä aurinkosähköjärjestelmistä erinäisiin kohteisiin on saatavilla jonkin verran, mutta kyseistä tietoa ei voi suoraan hyödyntää tähän selvitystarpeeseen, koska järjestelmän suunnitteluun vaikuttavat niin monet paikalliset, ympäristölliset, maantieteelliset ja kulutukselliset aspektit.



## 2 AURINKOENERGIA

Auringon säteilyenergia perustuu fuusioreaktioon, jossa Auringon ytimessä kaksi vetyatomia yhdistyy heliumatomiksi. Pelkästään yhden heliumion muodostaminen vedystä fuusion seurauksena vapauttaa noin 180 miljoonan kilowattitunnin edestä energiaa, joka vastaa 27 000 kivihiihtonnin energiasisältöä. Fuusion seurauksena tapahtuva massamuutos antaa Auringolle  $3,8 \times 10^{23}$  kilowatin kokonaistehon, josta maapallolle päätyvä osuus on  $1,7 \times 10^{14}$  kilowattia. (Tahkokorpi ym., 2026, s. 11–12.)

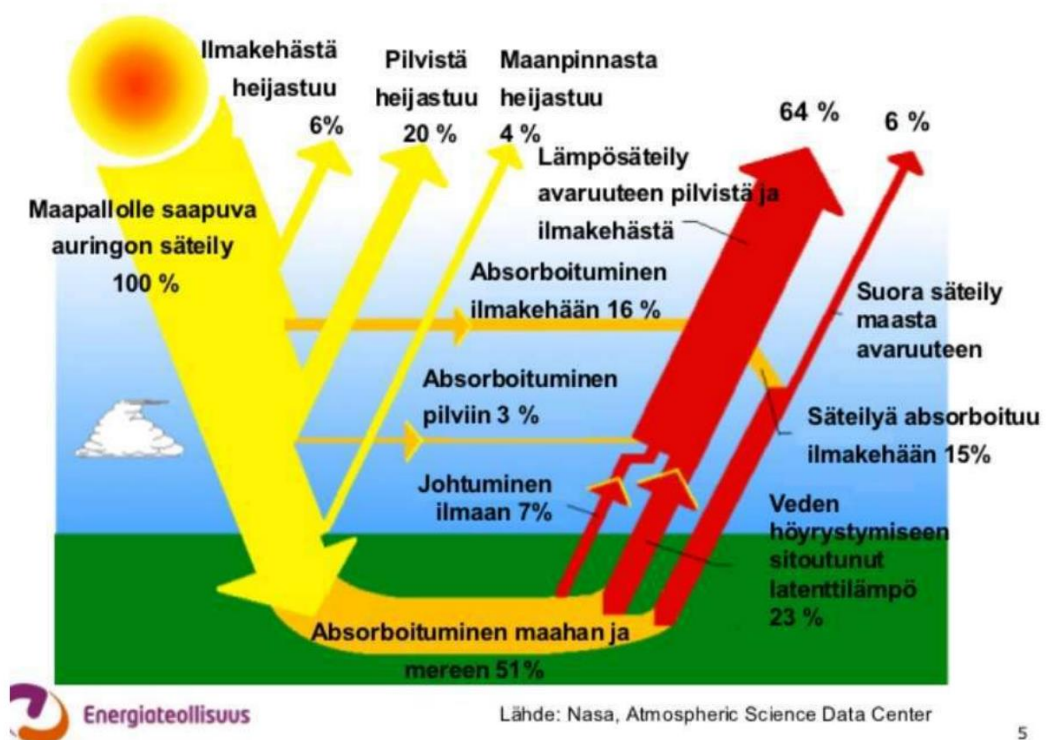
### 2.1 Maapalloon kohdistuva säteily

Maan ilmakehä koostuu erilaisista kaasumolekyyleistä, vesihöyrystä ja erilaisista epäpuhtauksista, jotka kaikki omalta osaltaan heikentävät auringonsäteilyn päätymistä maanpinnalle. Säteilyn määrä riippuu myös sen taittamasta matkasta ilmakehän läpi, siksi säteilyteho on suurimmillaan keskipäivällä ja kesällä. Ilmakehän vaikutuksesta maanpinnalle päätyy kolmenlaista säteilyä, suoraa auringonsäteilyä ( $I_A$ ), joka tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi saapuvaa säteilyä, haja-auringsäteilyä ( $I_D$ ) eli diffuusiivista säteilyä, joka on maasta heijastunutta hajasäteilyä, sekä ilmakehän pilvien ja molekyylien heijastamaa säteilyä. Kolmas säteilymuoto on ilmakehän vastasäteily ( $I_V$ ), jonka aiheuttavat ilmakehän otsoni, hiilidioksidi, sekä vesihöyry heijastamalla lämpöä takaisin maanpinnalle. Vastasäteilystä käytetään myös nimitystä kasvihuoneilmiö. Pilvisenä päivänä voi jopa 80 prosenttia maanpinnalle päätyvästä valosta olla hajasäteilyä. Näiden kolmen summasta lasketaan maanpinnalle päätyvä kokonaissäteilyenergia, josta tulee vähentää vielä kaavan 1 mukaisesti takaisin avaruuteen heijastuva pitkäaaltonen säteily ( $I_U$ ), jotta saadaan pinnan hyväksi jäävä teho ( $I$ ). (Tahkokorpi ym., 2026, s. 13–14.)

$$I = I_A + I_D + I_V - I_U \quad (1)$$

## 2.2 Aurinkovakio

Ilmakehän ulkopuolella auringon tuottama säteilyteho yhdelle neliömetrille kohtisuoraan auringosta on noin 1,35–1,39 kW. Tämä arvo saadaan määritettyä aurinkovakion avulla. Aurinkovakiolla tarkoitetaan sitä energiamäärää, jonka aurinko tuottaa yhdessä sekunnissa yhdelle neliömetrin suuruiselle alueen pinnalle ilmakehän rajalla. Maapallon etäisyys auringosta vaikuttaa säteilyn määrään ja säteilyn vaihteluväli on +- 3,5 prosenttia. Ilmakehän vaikutus pudottaa tehon noin 60 prosenttiin. Kuvassa 1 on havainnollistettu häviöitä, joita ilmakehä aiheuttaa. Maanpinnalle päätyvä säteilyteho on noin 0,8–1,0 kW/m<sup>2</sup> kirkkaana päivänä. Auringosta lähtöisin oleva energiamäärä kohtaa maapinnan tietyllä neliömetrialueella, tätä kutsutaan välittömäksi aurinkovakioksi. Jos esimerkiksi säteilyteho on tunnin ajan 1 kW, on saatu energiamäärä maanpinnalla 1 kWh. (Ilmatieteenlaitos, n.d.)

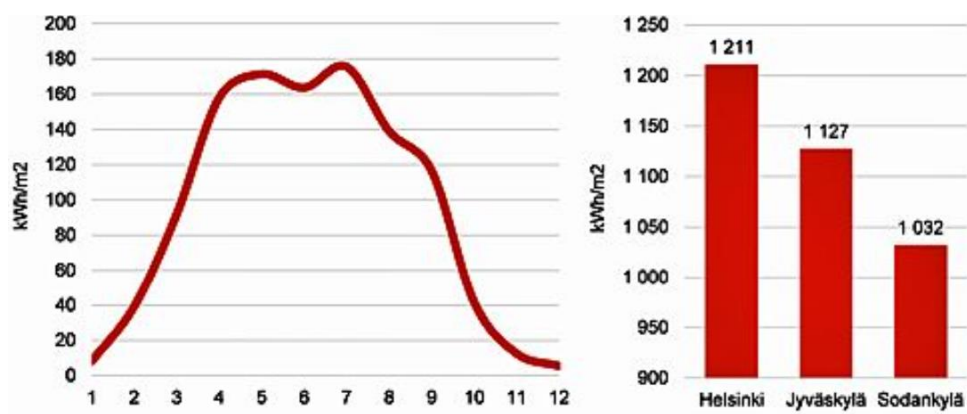


Kuva 1 Maapallolle saapuva säteily (Energioteollisuus, 2008, s. 5)

### 2.3 Suomen ilmasto

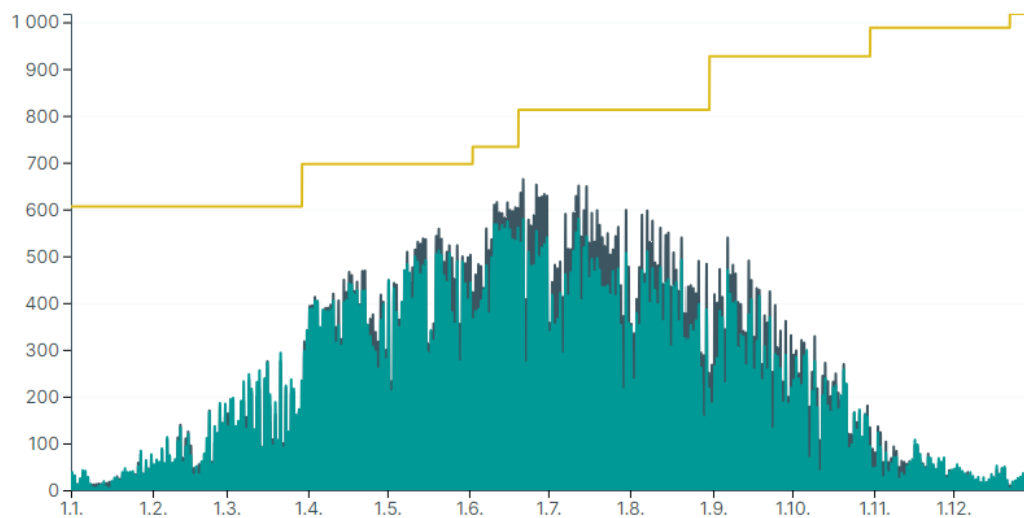
Maan vino pyörimisakseli, sekä maan kierto auringon ympäri muuttavat auringonpaisteen määrää maapallolla jatkuvasti. Vuodenajat koetaan näin ollen sitä suurempana, mitä kauempana päiväntasaajasta alueen sijainti on. Helsingin korkeudella vuoden pimeimpänä ajanjaksona 20.11.–6.1. aurinko näyttäytyy keskimäärin vain alle tunnin päivässä. Vuoden maksimi on noin kymmenen tuntia päivässä ja se saavutetaan Helsingissä toukokuun lopulla. Tämä ajanjakso kestää noin kesä-heinäkuun taitteeseen asti. (Tahkokorpi ym., 2026, s. 25–26.)

Jopa 90 prosenttia Etelä-Suomen säteilystä saadaan maaliskuun ja syyskuun välisenä ajanjaksona. Suomessa energiansäteily määrä on silti energiatuotannon kannalta hyvällä tasolla ja hyvin lähellä esimerkiksi Pohjois-Saksan säteilyarvoja. Säteily määrä ilmatieteenlaitoksen testivuoden perusteella oli keskimäärin 980 kWh/m<sup>2</sup> ja Sodankylässä vastaava arvo oli 790 kWh/m<sup>2</sup> vaakasuoralle pinnalle. Jos mitattava pinta asetetaan 45 asteen kulmaan etelään päin, voidaan vuotuisesta säteilystä saada vuositason hyödyksi 20–30 prosenttia enemmän verrattuna vaakasuoraan asennukseen. Alla olevasta kuvasta voidaan nähdä keskimääräisiä kuukausittaisia säteilymääriä 45 asteen kulmaan etelään päin suunnatuille pinnoille Suomessa, sekä miten vuotuinen säteily vaihtelee eri kaupunkien välillä. (Motiva, 2022.)



Kuva 2 Keskimääräinen säteily Suomessa (Ilmatieteenlaitos, 2022)

Suomalaista sähköverkkoa ylläpitävän Fingridin sivuilta löytyy laskuri, jonka avulla voi tarkastella aurinkovoimaennusteita. Sivuilta löytyy kuluneen viikon, kuukauden ja vuoden tilastoja, sekä aurinkovoimaennusteita, jotka perustuvat sääennusteisiin ja arvioihin Suomeen asennettujen aurinkopaneelien kokonaistuotantotehosta megawattitunteina. Alla nähdään kuva vuoden 2023 tuotantoennusteista. Vihreä kuvaaja kertoo aurinkovoiman tuotantoennusteen ja keltainen kuvaaja aurinkovoiman kokonaiskapasiteettiennusteen. (Motiva, 2022.)



Kuvaaja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
● Aurinkovoiman tuotantoennuste tunneittain	0	664	95 MWh/h
● Aurinkovoiman tuotantoennuste vrk	0	580	88 MWh/h
● Aurinkovoimaennusteessa käytetty kokonaiskapasiteetti	606	1018	789 MWh/h

Kuva 3 Aurinkovoiman kokonaistuotto Suomessa (Fingrid, 2023)

## 2.4 Aurinkopaneelien suuntaus

Etelä-Suomessa optimiasentoon asetetun aurinkopaneelin neliömetrituotto on noin 1 100 kilowattia vuodessa. Säteilyn määrään vaikuttavat väistämättä sääolosuhteet, mutta kohtuullisen luotettavia arvioita voidaan esittää keskimääräisten säätietojen perusteella. Säteilyn määrään vaikuttaa merkittävästi myös

paneelin suuntaus. Tähän liittyy kaksi tarkasteltavaa kulmaa: kallistuskulma eli deklinaatio, sekä atsimuuttikulma eli poikkeama Etelä-Pohjois- akselista. Kallistuskulma on vaakatason ja aurinkopaneelin välinen kulma. (Tahkokorpi ym., 2026, s. 14–18.)

Aurinkosähköpaneelien sijoittelussa on tärkeää, että koko keräinlaite saa säteilyä mahdollisimman tasaisesti ja varjostuksia tulisi mahdollisimman vähän. Talvella varjojen pituudet kasvavat merkittävästi, kun aurinko on alhaalla. Yleisesti voidaan pitää järkevänä, että kiinteästi asennettavat paneelit pyritään suuntaamaan etelään eli kohti päiväntasaajaa. Mikäli tämä ei ole mahdollista, voidaan tilanteesta riippuen asennusta suunnitella idän ja lännen väliselle alueelle. Suuntausta suunnitellessa, täytyy myös huomioida, milloin on tarkasteltavan kohteen kuormitushuippu. Jos kuormitushuippu on aamupäivällä, eli energiaa kuluu runsaimmin aamupäivän aikana, voidaan järjestelmä suunnata enemmän itään, ja taas enemmän länteen, mikäli kulutushuippu sijoittuu iltaan. (Tahkokorpi ym., 2026, s. 17–20).

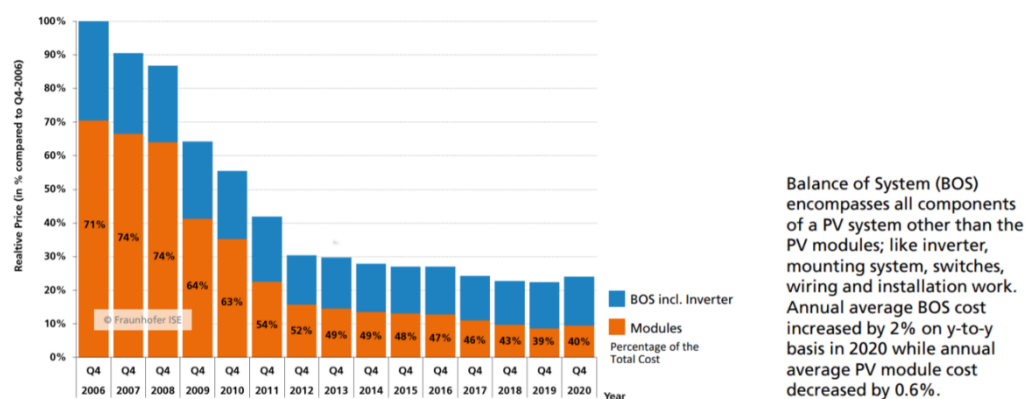
## 3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

### 3.1 Aurinkosähkön markkinakehitys

Markkinakehitys aurinkoenergiasektorilla on ollut huimaa viimeisen parinkymmenen vuoden aikana. Vuonna 2001 aurinkosähkön kumulatiivinen asennuskanta oli maailmalaajuisesti alle 2000 megawattia, kun se vuonna 2020 oli 760 000 megawattia eli lähes neljäsataa kertainen määrä. (IEA, 2021, s. 8).

Kiinnostuksen lisääntyminen ja sen myötä kasvanut tarjonta on johtanut järjestelmien hintojen selkeään laskuun. Alla näkyvästä kuvaajasta voidaan nähdä aurinkosähköjärjestelmien hintakehitystä Saksassa vuodesta 2006 lähtien. Kuvassa 4 nähdään hintakehitystä paneelien osalta oranssilla merkityissä pylväissä ja muiden komponenttien osalta sinisissä pylväissä. Erityisesti aurinkopaneelien hintojen lasku on ollut voimakasta. Saksassa Fraunhofer instituutin Photovoltaics Report- selvityksen mukaan loppuvuonna 2020 katolle asennettujen 10–100 kWp järjestelmien keskihinta oli 1040 €/kWp. (Motiva, 2022.) Suomessakin niin sanottu verkkopariteetti on saavutettu, kun aurinkosähkön tuotantokustannus on alittanut verkosta ostettavan sähkön hinnan.

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

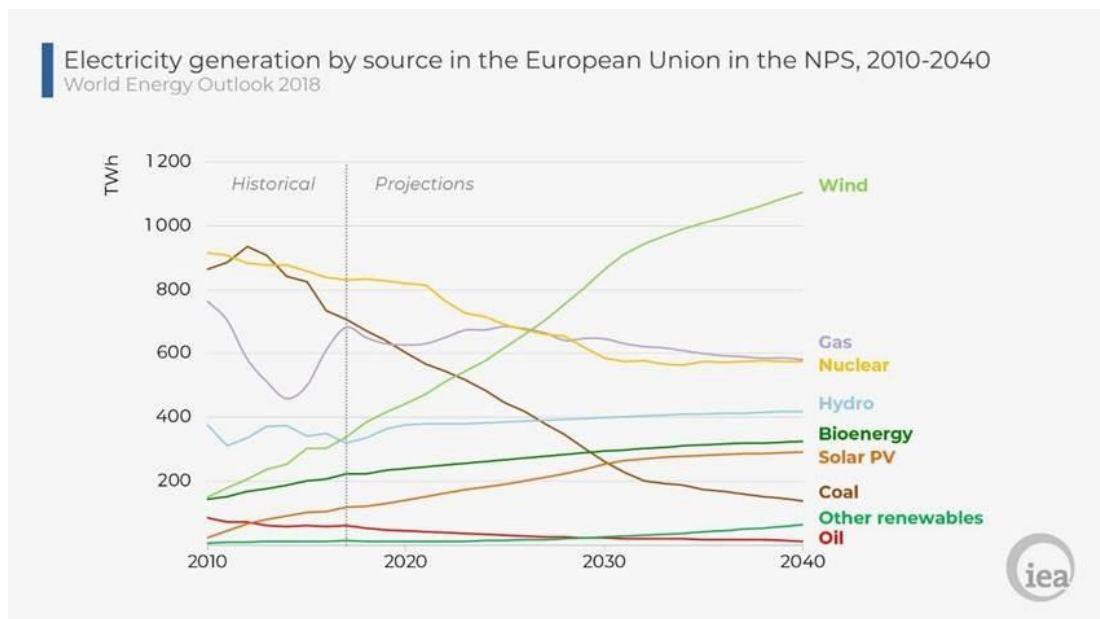


Data: BSW-Solar, Graph: PSE 2021

Kuva 4 Aurinkosähköjärjestelmän hintakehitystä Saksassa (Motiva.fi,2020)

### 3.1.1 Aurinkosähkön tulevaisuus

Aurinkoenergian osuus sähköntuotannosta oli Suomessa vuonna 2022 0,6 prosenttia, jota voidaan pitää melko vähäisenä. Aurinkoenergian osuus on kuitenkin selvässä nousussa, ja merkittäviä aurinkovoimaloita on aloitettu tai vähintään suunnitteilla eripuolille Suomea. Alla olevasta kansainvälisen energiajärjestö IEA:n kuvasta voidaan nähdä eri energiamuotojen tuotantoennustetta lähivuosikymmenille. 2030 aurinkoenergian osuus tuotannosta on jo melko merkittävä.

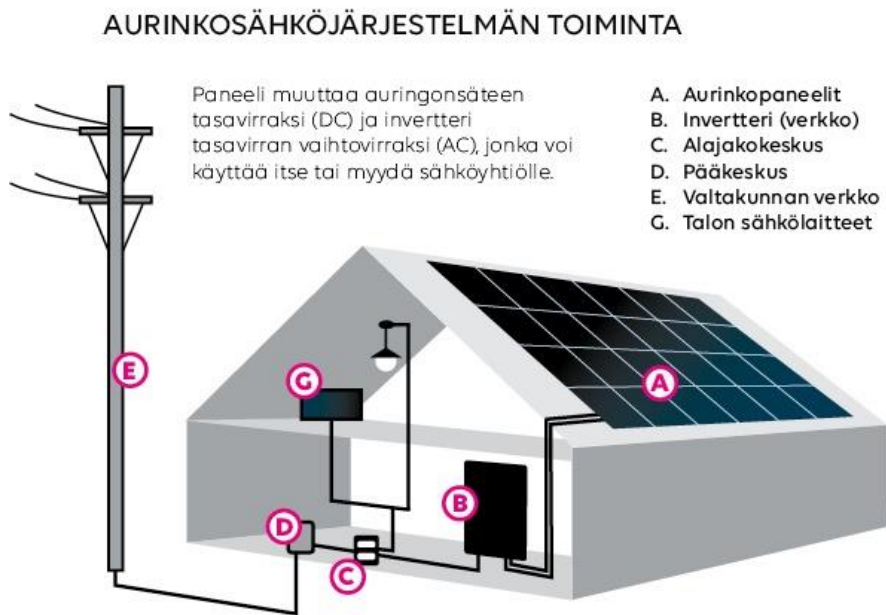


Kuva 5 Sähkön tuotanto eri energialähteittäin Euroopassa. (Windeurope.org, 2024)

### 3.2 Järjestelmän pääkomponentit

Aurinkojärjestelmän pääkomponentteja ovat aurinkopaneelit, vaihtosuuntaaja, tasa- ja vaihtosähkökaapeloinnit, erotuskytkimet (AC ja DC), sähkökeskus, sekä kaksisuuntaiseen mittaukseen pystyvä sähkömittari. Kuvassa 6 on havainnollistettu yksikertaista aurinkojärjestelmää. Järjestelmät voivat olla

verkkoon kytkettyjä (on-grid), tai itsenäisesti ilman sähköverkon kytkentää toimivia off-grid järjestelmiä. (Tukes, n.d.)



Kuva 6 Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit. (Spinea, 2023)

Rinnakkain sähköverkon kanssa toimiva järjestelmä liitetään kiinteistön 230/400 voltin sähköverkkoon. Sähköntoimittajan jakeluverkon kanssa rinnan toimivassa järjestelmässä on aina vaihtosuuntaaja eli invertteri, joka muuttaa paneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi. Paneeleilta tuleva energia kulkeutuu näin vaihtosuuntaajan kautta kiinteistön sähköverkkoon ja myös jakeluverkkoon. Vaihtosuuntaajan kaapeli liitetään ryhmä/pääkeskukseen sulakkein varustettuna. Vaihtosuuntaajan tulee myös sisältää automatiikka, joka sähkökatkon sattuessa estää sitä syöttämästä sähköä verkkoon päin. (Tukes, n.d.)

Aurinkopaneelit asennetaan yleensä katolle tai seinäpintoihin mahdollisimman aurinkoiselle paikalle. Pienemmissä järjestelmissä aurinkopaneelit kytketään aina sarjaan, jotta järjestelmän jännitettä saadaan korotettua. Tämä parantaa invertterin toimintaa ja vähentää järjestelmästä aiheutuvia häviöitä. Suuremmissa järjestelmissä voidaan sarjoitettuja paneeliketjuja kytkeä myös rinnan, jottei virta kasva liian suureksi.



Invertteri voidaan asentaa joko ulos tai sisälle tekniseen tilaan, jossa on koneellinen ilmanvaihto. Nykysäännösten mukaan invertteri kuuluu asentaa palamattomalle alustalle ja ympäristön lämpötilan on pysyttävä  $-40$  ja  $+60$  asteen välillä. Invertterille tulevan AC-kaapelin vähimmäis- poikkipinta-ala on  $2,5 \text{ mm}^2$  ja suurin sallittu on  $16 \text{ mm}^2$ . DC-kaapelien poikkipinta-ala puolestaan saa olla  $2,5$  ja  $6 \text{ mm}^2$  välissä. DC-kytkinliittimeen kohdistuva ampeerikuormitus saa olla enimmillään 33A. (Fronius, 2023 s.9–23.)

### 3.3 Kaapeloinnit

Aurinkosähköjärjestelmissä käytetään tasa- ja vaihtovirtakaapeleita. Näiden kaapeleiden ominaisuuden eroavat monelta osin toisistaan. Tässä kappaleessa perehdytään kaapeloinnin ominaisuuksiin ja siihen, mitä olisi hyvä ottaa huomioon mitoituksessa.

Tasavirtakaapelit sijaitsevat suurelta osin paneelikentän läheisyydessä ja ovat alttiita auringon säteilylle. Tasasähkökaapelit tulee valita siten, että maasulkujen ja oikosulkujen riskit ovat mahdollisimman pienet. Asennuksessa tulee käyttää yksijohtimisia kaapeleita tai eristettyjä johtimia, jotka on asennettu johdotkanaviin tai asennusputkiin. Kaapeleita ei saa myöskään asentaa suoraan katon pintaa vasten. Kaapeleiden ja muiden järjestelmän komponenttien virran mitoittamiseen käytetään invertterin valmistajan ilmoittamaa maksimi virtaa ( $IDCU_{MAX}$ ). Mitoitusjännitteenä käytetään invertterin valmistajan ilmoittamaa suurinta sallittua jännitettä ( $UDCU_{MAX}$ ), joka tyypillisesti on 1000V. (SFS 6000-7-712:2022. s. 18.)

Järjestelmän kaapeloinnissa on oleellista huomioida, että eri järjestelmien kaapelit erotetaan selkeästi toisistaan. SFS-standardin 62446–2 mukaan aurinkojärjestelmän kaapeloinnin tulee olla merkattu niin, että merkinnästä selviää kaapelien kuuluvan aurinkosähköjärjestelmään. Merkinnät täytyy suoralle kaapelille olla 10 metrin välein ja mutkittelevassa kaapelissa 5 metrin välein. Merkinnät tulee tehdä värillisillä lapuilla, jotka ovat helposti tulkittavissa. (SFS

62446-2 s. 55.) Johtojen liittimen tulee olla samaa tyyppiä ja samalta valmistajalta, kuin johdotusten, jotta voidaan varmistua komponenttien sopivuudesta, niin mekaanisesti, kuin myös sähköisesti.

Vaihtovirtakaapelia tarvitaan invertterin ja sähkökeskuksen välillä. Tämän syöttökaapelin kuormitukseen vaikuttavat sen pituus, ympäristön lämpötila, asennustapa, kaapelien materiaalit, sekä tärkeimpänä kaapelin poikkipinta-alaan vaikuttava kuormitusvirta.

### 3.4 Invertteri

Vaihtosuuntaaja eli invertteri muuttaa aurinkopaneelin tuottaman tasasähkön sähköverkon käyttämäksi vaihtosähköksi. Invertteri säätelee sille saapuvaa jännitettä, siten että invertteriltä lähtevä jännite on aaltomuodoltaan ja taajuudeltaan sopivaa sähköverkkoon. Aurinkopaneelien tuottama tasasähköinen tulojännite on 150-1000V välillä riippuen paneelien määrästä. Vaihtosuuntaaja muuttaa tämän tulojännitteen 110 V tai 240 V vaihtojännitteeksi. Kun invertteriä kuormitetaan 25–100 prosentin teholla saadaan sen hyötysuhteeksi noin 80–90 prosenttia. (Aurinkovirta.fi, 2023.)

Laadukkaan verkkoinvertterin käyttöikä Suomessa on todennäköisesti yli 20 vuotta. Aurinkopaneelit kytketään invertterin kautta kiinteistön sähköjärjestelmään. Aurinkojärjestelmissä suositellaan käytettäväksi kolmivaiheista invertteriä. Kolmivaiheinen invertteri palvelee verkon kaikkia kolmea vaihetta. Kolmivaiheinvertterin avulla saadaan aurinkosähköjärjestelmästä paras hyöty irti, koska saatu sähköenergia voidaan syöttää kaikkiin kiinteistön sähkölaitteisiin. Pienkohteissa voidaan myös käyttää mikroinverttereitä, jotka asennetaan suoraan katolle. Mikroinverttereiden avulla varjostuksiin on helpompi vaikuttaa, koska paneelit ovat jaettu pienempi yksiköihin, jolloin varjostus ei vaikuta koko paneelikenttään. Tällaisissa järjestelmissä vältetään myös korkeiden tasajännitteiden kaapeloinneilta. Mikroinvertterijärjestelmä on kuitenkin

kustannuksiltaan merkittävästi kalliimpi, kuin muut järjestelmät. Lisäksi huoltovarmuus heikkenee lisääntyvien komponenttien takia. (Tahkokorpi ym., 2016, s. 161.)

#### 3.4.1 Invertterin mitoitus

Komponenttien mitoituksessa käytetään paneelien datalehdessä ilmoitettuja arvoja  $U_{oc\ MAX}$  eli maksimijännite ilman kuormaa, sekä  $I_{sc\ MAX}$  eli maksimi oikosulkuvirta. Järjestelmää mitoittaessa, näitä käytetään nimellisjännitteenä ja virtana. Komponenttien jännitteen ja virran kestossa käytetään turvakertoimenä SFS-standardin 6000–7–712:2022 mukaan 1,25 tai vaihtoehtoisesti matalimman ympäristön lämpötilan mukaan.

Mitoittaminen suoritetaan järjestelmän huippuarvoilla, vaikka todellisuudessa niitä ei tulla saavuttamaan normaalissa käytössä. Aurinkojärjestelmä tuottaa hyvin harvoin maksimitehoaan, joten invertteriä ei ole järkevää mitoittaa paneelien maksimitehon mukaan. Froniuksen inverttereitä voi kuormittaa 1,5 kertaaisesti niiden ilmoitettuun tehoon nähden, eli esimerkiksi 25 kWp invertteriin voisi liittää 37,5 kWp aurinkojärjestelmän. (Fronius, 2023.) Invertterin mitoituksessa tulee tietää asennettavan järjestelmän kokonaisteho (kWp). Esimerkiksi 30 kWp kokonaistehon omaavaan järjestelmään voitaisiin valita Froniuksen Eco 25.0–3-S kolmivaiheinen verkkoinvertteri. Luku 25.0 tarkoittaa invertterin tehoa 25 kW ja numero 3 kolmivaiheisuutta. (Fronius, 2023.)

#### 3.5 Maksimipisteen tehonseuranta

Maksimitehopisteellä tarkoitetaan sitä kennon toimintapistettä, jossa jännitteen ja virran tulo on suurimmillaan. Sääolosuhteiden vaihdellessa myös aurinkokennon maksimitehopiste heittelee ilman erillistä säädintä. Maksimitehopisteen saavuttamiseen sääolosuhteista riippumatta hyödynnetään MPPT (maximum power point tracking) -menetelmää. MPPT voi sisältyä invertteriin

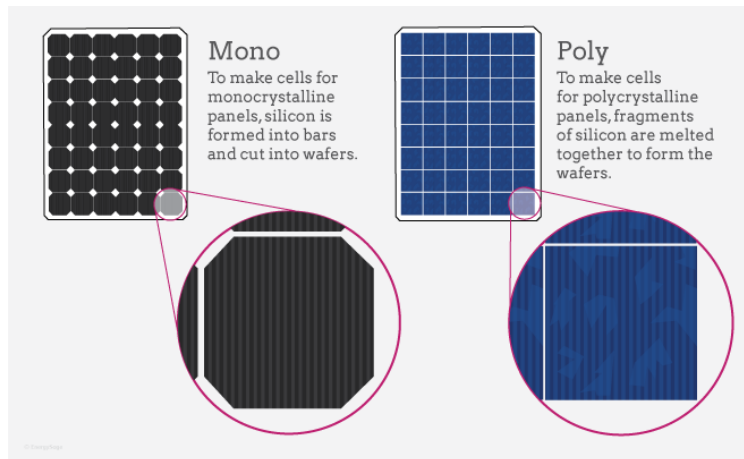
tai se voidaan asentaa erikseen järjestelmään. MPPT hyödyntää toiminnassaan algoritmeja ja monilla laitevalmistajilla nämä ovat salaista tietoa. (Faranda, R. 2008, s. 448.)

### 3.6 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Pääasiallisesti markkinoilla on yksi- ja monikiteisiä paneeleita. Seuraavaksi merkittävin paneelimuoto on ohutkalvopaneelit, joista toimivin on CdTe-materiaaliyhdistelmään perustuva. Hinnat, kestävyys, ja materiaalit vaihtelevat erilaisten paneelityyppien välillä. Tässä luvussa pyritään selventämään erilaisten paneelityyppien toimintaa ja ominaisuuksia.

Aurinkopaneeli muodostuu pienemmistä aurinkokennoista, joita kytketään sarjaan siten, että niistä muodostuu paneeli, jonka nimellisteho on yleensä 200–500 piikkiwatin välillä. Tämä kennosto päällystetään lasilla ja kapseloidaan yleensä alumiini kehyksin, jotta paneelista tulee säänkestävä. Yhden aurinkopaneelin pinta-ala on noin  $1,8\text{m}^2$  (Tahkokorpi ym., 2026, s. 137–138.)

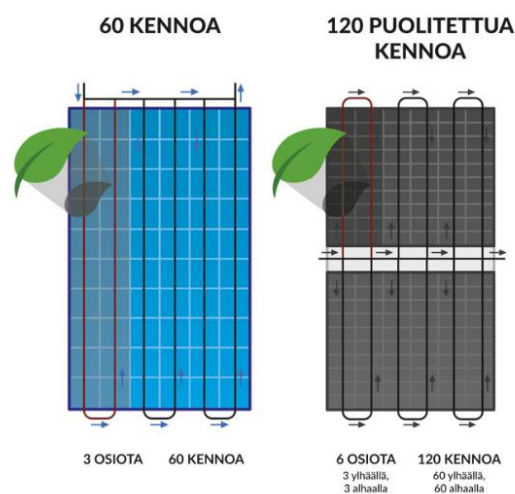
Noin 90 prosenttia markkinoilta löytyvistä paneeleista on piikenno-pohjaisia aurinkopaneeleita. Piikenno on puolijohdemateriaali, joka tuottaa sähköä fyysikaalisen valosähköilmiön avulla, jossa sähkömagneettinen säteily synnyttää sähkövarauksen kennoon, josta se voidaan ulkoisen virtapiirin avulla hyödyntää sähköverkossa. Piikennot voidaan jaotella yksi- ja monikiteisiksi kennoiksi, kuva 7. Yksikidekennojen valmistuksessa on käytetty puhdasta piitä ja nimensä mukaisesti kennon rakenne on yhtä kokonaista kidettä. Monikidekenno puolestaan koostuu useammasta eri kiteestä. Monikidekennoja voidaan valmistaa esimerkiksi yksikidepaneelien tuotannossa syntyvästä ylijäämästä sulattamalla se haluttuun muotoon. Valmistusprosessi aiheuttaa paneeliin kidevirheitä, jolloin hyötysuhde hieman heikkenee. Yksikidepaneelien hyötysuhde on lievästi parempi. (Motiva.fi, 2022.)



Kuva 7 Yksi- ja monikidepaneeli (Solar Choice, 2023)

### 3.6.1 Half-cut paneelit

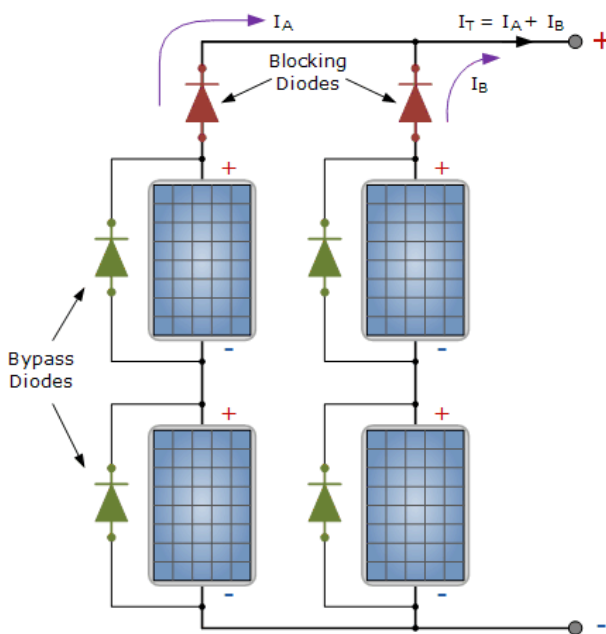
Half-cut paneelin kennot on jaettu kahteen eri kenttään. Kuvasta 8 nähdään perinteinen paneeli ja puolitetty paneeli. Perinteisessä aurinkopaneelissa on 54–72 kennoa, kun taas half-cut paneelissa näitä kennoja on 108–144. Paneeli on rakennettu kahdesta moduulista, jolloin varjostusten aiheuttamat haitat vähenevät. Perinteisen paneelin tuotto loppuu, jos esimerkiksi paneelin toinen pääty jää kokonaan varjoon. Tällä paneelityypillä puolet paneelista tuottaisi edelleen normaalisti. Lisäksi kennoston puolittaminen puolittaa myös virran, jolloin hukkalämmön osuus pienenee ja hyötysuhde paranee. (Finnwind, 2024.)



Kuva 8 tavallinen paneeli ja puolitetty paneeli (Lumme-energia.fi, n.d.)

### 3.6.2 Ohitus- ja estodioidi

Esto- ja ohitusdiodeja käytetään aurinkopaneeleissa hyötysuhteen parantamiseksi ja järjestelmän turvallisen toiminnan varmistamiseksi. PN-liitosdiodi eli estodioidi toimii samaan tyyliin, kuin takaiskuventtiili eli sähkövirta pääsee kuvan 9 mukaisesti kulkemaan vain yhteen suuntaan. Näin sähkövirtaus pääsee liikkumaan vain haluttua reittiä paneelilta invertterille. Ohitusdiodin tehtävä on ohittaa kyseinen paneeli tilanteessa, jossa paneeli ei tuota sähköä, esimerkiksi paneelin vaurioituttua tai varjostuksen takia. Saman tyyppisiä ohitusdiodeja hyödynnetään myös aurinkopaneelin sisällä, jolloin voidaan ohittaa esimerkiksi varjossa oleva paneelin reuna ja muu kennosta jatkaa edelleen tuottoa. (Electronics-tutorials, 2023.)



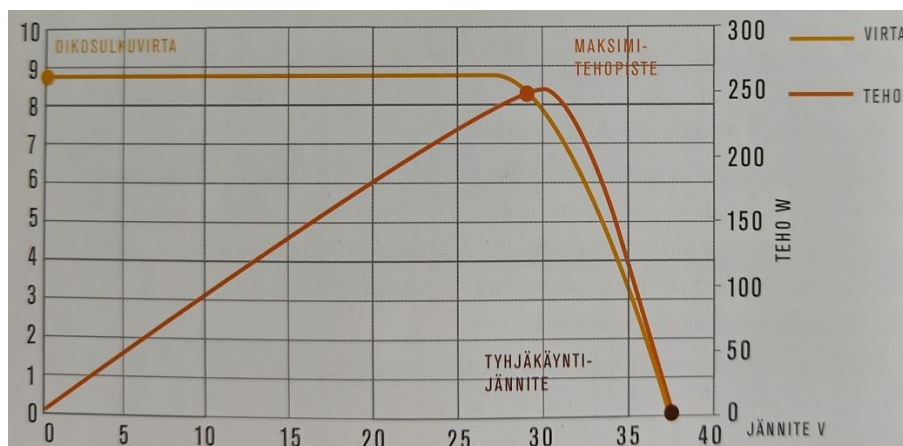
Kuva 9 Ohitus- ja estodioidien havainnekuva (Electronics-tutorials, 2023)

### 3.7 Aurinkopaneelien tekniset ominaisuudet

Aurinkopaneelin virtajännitekäyrä tai ominaisjännitekäyrä ilmoittaa, millä jännitteen ja virran arvoilla paneeli voi toimia. Tyhjäkäyntijännite, oikosulkuvirta, sekä maksimitehopiste ovat pisteitä ominaiskäyrällä. Paneeliin kytketty kuorma määrittää paneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta

hakeutuu kulloistakin säteilyä vastaavalla ominaiskäyrällä. (Tahkokorpi ym., 2016, s. 137.)

Kuvassa 10 voidaan nähdä 250 piikkiwattisen paneelin ominaiskäyrä standardiolosuhteissa. Vajaan 30 voltin ja kuvan vasemmasta reunasta löytyvän ampeeritaulukon kohdasta 8,3 löytyy kyseisen paneelin maksimitehopiste. Kuvassa 10 näkyvällä tyhjäkäyntijännitteellä tarkoitetaan paneelin jännitettä silloin, kun siihen ei ole kytketty lainkaan kuormaa. (Tahkokorpi ym., 2016, s. 137–138.)



Kuva 10 50 piikkiwatin paneelin ominaiskäyrä (Tahkokorpi ym., 2016, s. 138).

Paneelin tuottama teho riippuu merkittävästi sen toimintaympäristöstä eli olosuhteista. Valmistajan ilmoittamat paneelin tiedot ovat yleensä mitattu standardiolosuhteissa (STC). Paneelin tuottama nimellisteho ilmoitetaan aina piikkiwatteina ( $W_p$ ), joka ilmaisee paneelin tuottokyvyn juuri STC-olosuhteissa. Säteilyintensiteetti määrittelee suurelta osin paneelin tuottaman tehon. Mitä suurempi intensiteetti on, sitä enemmän fotoneja on valmiina virittämään elektroneja. Lämpötilan nousu aiheuttaa tyhjäkäyntijännitteen alenemisen, joka heikentää aurinkokennon suorituskykyä. Tuoton maksimoinnin kannalta siis optimaaliset olosuhteet ovat sellaiset, joissa lämpötila on mahdollisimman matala, säteilyintensiteetti mahdollisimman korkea ja ilmassakerroin lähellä yhtä. Paneeli voi siis tietyissä olosuhteissa tuottaa nimellistehoaan suuremman arvon, joka voi olla jopa 120 prosenttia nimellistehosta. (Tahkokorpi ym., 2016, s. 138.)

Alla olevasta Taulukosta 1 voidaan nähdä mittauksissa käytettävien standardiolosuhteiden arvoja. Ilmamassalla tarkoitetaan kerrointa, joka ilmaisee auringonsäteilyn matkan ilmakehässä suhteutettuna ilmakehän paksuuteen.

Taulukko 1 Mittauksen standardiolosuhteet (Tahkokorpi ym., 2016 s. 139)

Ilmamassa	1.5	AM
Säteilyintensiteetti	1000	W/m <sup>2</sup>
Kennolämpötila	25	°C

Aurinkopaneelin hyötysuhteella tarkoitetaan sitä auringosta saatavan säteilyenergian osuutta, joka voidaan muuttaa paneelin avulla sähköksi. Paneelien hyötysuhde on noin 15-20 prosenttia. Hyötysuhteeseen vaikuttavat paneelin kennoston ja etulasin laatu ja muut paneelin mekaaniset ominaisuudet. Paneelin hyötysuhde saadaan määritettyä jakamalla nimellisteho paneelin pinta-alalla ja STC-olosuhteiden säteily määrällä. Esimerkiksi Longin 410 W pinta-alaltaan 1,95 neliöisen aurinkopaneelin hyötysuhde saadaan seuraavanlaisesti:

$$410 \text{ Wp} \div (1,95 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2) \approx 21 \% \quad (2)$$

Pohjoisessa lämpötilan vaihtelu on hyvä ottaa huomioon, koska lämpötila voi hyvinkin vaihdella yli 30 °C ja -40 °C välillä. Ketjutetut paneelit on hyvä mitoittaa niin, ettei järjestelmän maksimijännite ylitä edes alhaisimmissa lämpötiloissa. Paneelien datalehdessä on aina merkintä, kuinka paljon paneelin arvot nousevat tai laskevat lämpötilan muuttuessa standardiolosuhteista. Kertoimet voivat vaihdella paneelityypistä ja valmistajasta riippuen, mutta kaikkiin pätee kuitenkin sama sääntö; teho, jännite ja virta nousevat lämpötilan laskiessa. Jos taas lämpötila nousee teho, jännite ja virta laskevat.

Esimerkiksi kuvasta 11 voidaan havaita, miten LONGi HI-MO5 505W paneelin teho  $P_{max}$  (505 W) nousee 0,34 prosenttia jokaista astetta kohden, kun lämpötila laskee alle testiolosuhteen, eli 25 °C:n alle. Jos ajatellaan, että lämpötila



tippuisi talvella  $-40\text{ °C}$  olisi muutos jo huomattavat 20,4 % ja tällöin uusi Pmax saadaan yhteiskertoimella

$$505\text{ W} \times 1,208 = 608\text{ W} \quad (3)$$

Aurinkopaneelin jännite ja virta samassa  $-40\text{ °C}$ :n lämpötilassa voidaan selvittää SFS 6000-7-712:2022 standardin mukaisesti käyttämällä paneelin maksimi oikosulkuvirtaa ( $I_{sc}$ ), sekä oikosulkujännitettä ( $V_{oc}$ ).

$$V_{oc} = 45,70\text{ V}$$

$$\text{Lämpötilakerroin} = 0,265\text{ \%/°C} \rightarrow 17,225\text{ \%}$$

$$(-40\text{ °C})45,70\text{ V} \times 1,17225 = 53,57\text{ V} \quad (4)$$

$$I_{sc} = 13,97\text{ A}$$

$$\text{Lämpötilakerroin} = 0,05\text{ \%/°C} \rightarrow 3,25\text{ \%}$$

$$(-40\text{ °C})13,97\text{ A} \times 1,325 = 14,42\text{ A} \quad (5)$$

Electrical Characteristics	STC : AM1.5 1000W/m <sup>2</sup> 25°C		NOCT : AM1.5 800W/m <sup>2</sup> 20°C 1m/s		Test uncertainty for Pmax: ±3%					
	LR5-66HPH-495M	LR5-66HPH-500M	LR5-66HPH-505M	LR5-66HPH-510M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M
Module Type	LR5-66HPH-495M	LR5-66HPH-500M	LR5-66HPH-505M	LR5-66HPH-510M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M	LR5-66HPH-515M
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	495	370.0	500	373.7	505	377.5	510	381.2	515	384.9
Open Circuit Voltage (Voc/V)	45.40	42.69	45.55	42.83	45.70	42.97	45.85	43.11	46.00	43.25
Short Circuit Current (Isc/A)	13.82	11.17	13.90	11.24	13.97	11.30	14.05	11.36	14.13	11.42
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	38.23	35.51	38.38	35.65	38.53	35.79	38.68	35.93	38.83	36.07
Current at Maximum Power (Imp/A)	12.95	10.42	13.03	10.48	13.11	10.55	13.19	10.61	13.27	10.67
Module Efficiency(%)	20.9		21.1		21.3		21.5		21.7	

#### Operating Parameters

Operational Temperature	$-40\text{ °C} \sim +85\text{ °C}$
Power Output Tolerance	0~3%
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	$45 \pm 2\text{ °C}$
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

#### Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

#### Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.265%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.340%/°C

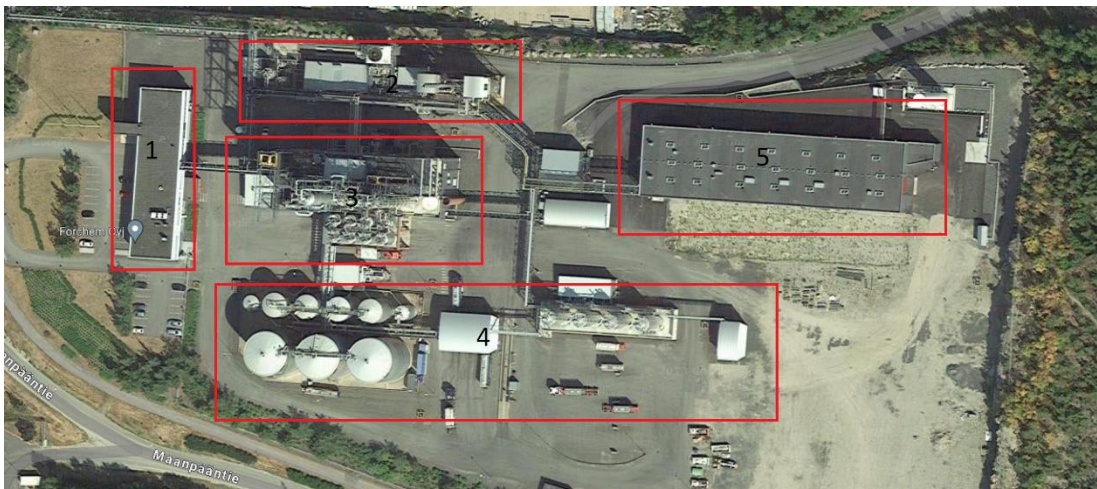
Kuva 11 Longi HI-MO5 mono 505W datalehti. (Volttikauppa.fi)

Esimerkiksi, jos kytketään 20 kyseistä paneelia ketjuun Voc jännite STC lämpötilassa  $25\text{ °C}$  olisi 914 voltia ja vastaavasti  $-40\text{ °C}$ :n lämpötilassa 1 071

voltia. Tästä syystä on tärkeää jättää komponentteihin pelivaraa, jotta ne kestäisivät pitkään pohjolan olosuhteissa.

## 4 KOHTEEN ESITTELY

Kohde on Raumalla metsäteollisuuspuiston kupeessa sijaitseva kemianteollisuuden tehdasalue. Alla olevasta kuvasta 10 voidaan nähdä tontilla sijaitsevat tehtaan pääasialliset rakennuskokonaisuudet numeroituina. 1. toimistorakennus, 2. käyttöhyödykerakennus, 3. tislaamo, 4. säiliöalue ja 5. varastorakennus. Tontilla on kuvasta poiketen lisäksi juuri valmistunut uusi säiliöalue, joka sijaitsee kuvassa oikealla alareunassa näkyvällä tyhjällä alueella. Kuten kuvasta voidaan havaita, aurinkopaneeleille soveltuvaa kattopinta-alaa löytyy parhaiten rakennuksista 1 ja 5. Aurinkojärjestelmää suunnitellessa tähän kohteeseen on myös hyvä ottaa huomioon, että kemianteollisuuden toimijana tontilla on jonkin verran rajoituksia rakentamisen suhteen. Esimerkiksi maakaasuaseman sijainti varastorakennuksen välittömässä läheisyydessä rajoittaa paneelien asennusmahdollisuuksia.



Kuva 12 Tehdasalue (Google Maps, 2023)

Alkutarkastelussa mahdollisten sijaintien ulkopuolelle rajautuivat erilaiset maasennukset, johtuen tontin rajallisesta rakennustilasta. Myös tislaamo ja varastorakennus suljettiin suunnitelmista pois, johtuen paloturvallisuus- ja rakennusteknisistä seikoista. Näiden rajausten jälkeen parhaaksi vaihtoehdoksi valikoitui toimistorakennus, johon suunnitelmaa alettiin toteuttaa.



Kuva 13: Tislaamon toimistorakennus (Forchem.com, 2023)

#### 4.1 Toimistorakennus

Raumalla sijaitseva vuonna 2002 valmistunut toimistorakennus koostuu kahdesta kerroksesta. Ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevat kojeistotila, kaksi muuntajatilaa, sähkötila, ristikytkentätila, kaksi toimistohuonetta, laboratoriotila ja sen yhteydessä oleva varasto, lämmönjakohuone, valvomo sekä väestönsuojatila. Valvomon yhteydessä on keittokomero sekä valvomon yläpuolella sijaitsee varastotilaa. Väestönsuojatilassa sijaitsevat pukuhuoneet sekä peseytymistilat. Toisessa kerroksessa on toimistohuoneita (17 kpl), kaksi neuvotteluhuonetta, pukutilat, wc-tiloja, varastohuoneita, henkilökunnan taukotila sekä ilmastointikonehuoneet. Kerroksien välillä on kaksi yhdistävää porraskäytävää.

##### 4.1.1 Sähkönkulutus

Rauman tuotantolaitoksen kokonaisenergian kulutus vuonna 2018 oli 76 292 MWh, josta sähkön osuus oli 11 573 MWh. (Forchem Oyj Energiakatselmusraportti, TF Engineers Oy, 2019.) Kohteen sähkönkulutus voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen: tislaamon käyttämään sähköenergiaan, sekä toimistorakennuksen käyttämään sähköenergiaan. Tässä työssä keskitytään

pääasiallisesti arvioimaan toimistorakennuksen kulutusta ja vertaamaan paneelien tuottoa tuohon kulutukseen. Huomioitavaa on, että sähköä kuluu laitoksella joka tunti niin merkittävä määrä, että kaikki aurinkopaneelien tuottama energia saadaan hyödynnettyä kyseisessä kohteessa mihin vuorokauden aikaan tahansa.

Toimistorakennuksen sähkönkulutusta arvioidessa on hyvä huomioida, että kiinteistö lämpenee prosessista ylijääneellä höyryllä, jolloin lämmityksen kustannuksia ei tässä kohteessa ei tarvitse ottaa huomioon. Jäähdytys tapahtuu rakennuksen katolla sijaitsevalla Carrierin 30RA-160 ilmalauhdutteisella vedenjäähdyttimellä. Kuvaajasta 1 voidaan nähdä toimistorakennuksen marraskuun 2023 ensimmäisen viikon kulutusarvoja tunti tunnilta. Keskimäärin tuntikulutus on noin 40 kWh.



Kuvaaja 1: Toimistorakennuksen sähkönkulutus marraskuussa

## 5 AURINKOSÄHKÖÄ YRITYKSILLE

Suomessa aurinkovoimalat jaotellaan kolmeen kategoriaan, teollisen mitta-kaavan hankeisiin (yli 1 000 kWh), keskikokoisiin (10–1 000 kWh), sekä pieniin alle 10 kWh järjestelmiin. Pienet järjestelmän ovat tyypillisesti omakoti- tai loma-asuntoihin asennettavia järjestelmiä. Lupaviranomainen on velvollinen käsittelemään sähköä tuottavien aurinkopaneelien rakentamisen, verkkoon liittämisen ja käyttämisen edellytyksenä olevan lupamenettelyn ja muun hallinnollisen hyväksymismenettelyn valmiiksi alle vuodessa, jos kyseessä on alle 150 kWp voimalaitos. (Ely-keskus.fi, 2023.)

### 5.1 Luvat ja tuet

Suomessa aurinkoenergian rakentamiselle ei ole vielä yhtenäistä valtakunnallista ohjeistusta, vaan hankkeen koko, vaikutus, sijainti, sekä kaavatilanne vaikuttavat lupien myöntämiseen. Raumalla aurinkopaneelien lupa-asioissa sovelletaan Rauman kaupungin rakennusjärjestyksen pykälän 6§ toimenpiteiden luvan- /ilmoituksenvaraisuus kohtaa 7, rakennuksen julkisivun olennainen muuttaminen. Aurinkopaneelien asentamiseen tarvitaan aina asemakaava-alueella vähintään toimenpideilmoitus. Suuremmat aurinkovoimalat (yli 50m<sup>2</sup>) saattavat edellyttää rakennusluvan. Rauman rakennusvalvonnasta ilmoitettiin, että katolle tulee suorittaa myös kuntotarkastus ennen luvan saantia. Rauman ohjeistuksessa mainitaan myös, että ” Asennus on suunniteltava rakennuksen luonteeseen ja kaupunkikuvaan soveltuvaksi. Aurinkokeräimen pinta ei saa aiheuttaa häiriötä tai häikäisyä esim. asuntoihin tai liikennealueille. Aurinkokeräimet kannattaa sijoittaa niin, että ne eivät nouse harjan yläpuolelle alhaalta katsottuna.”. (Rauma.fi, n.d.)

Kun aurinkojärjestelmä liitetään sähköverkkoon, tarvitaan sähköverkkoyhtiöltä liittymiseen lupa. Yleensä, jos järjestelmä toimitetaan pakettina, asentava taho on yhteydessä verkkoyhtiöön ja toimittaa tarvittavat dokumentit. Rauman seudulla verkkoa hallinnoi Rauman Energia. Sähköverkkoyhtiö ohjeistaa

aurinkosähköjärjestelmän verkkoon liittämässä ja muissa järjestelmän vaatimuksia koskevissa asioissa.

Mikrotuotantojärjestelmänä pidetään järjestelmää, jonka sähköverkkoon liitettävä kapasiteetti on alle 100 kVa:n. Tällainen järjestelmä voidaan liittää asiakkaan olemassa olevaan sähköliittymään, kunhan nykyinen liittymäteho riittää. (Raumanenergia.fi, n.d.)

Tukea uusituvan energian hankkeisiin voi hakea Business Finlandilta energiatuen muodossa. Sivuston mukaan tukea voidaan myöntää ”yrityksen investointi- ja katselmushankkeisiin, jotka edistävät uusituvan energian tuotantoa ja käyttöä, energiansäästöä, energian tuotannon tai käytön tehostamista tai muuten muokkaavat energiajärjestelmää vähähiilisemmäksi pitkällä aikavälillä”. Hankkeen investointikustannuksen pitää olla vähintään 10 000 euroa energiatehokkuutta parantavissa hankkeissa ja 30 000 euroa uusituvan energian hankkeissa. Tukea myönnetään vain hankkeille, joita ei vielä ole käynnistetty. (Businessfinland.fi, 2023.)

## 6 MALLINNUS JA MITOITUS

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöikä voi olla 30 vuotta, ja osalle aurinkopaneeleista on tarjolla jopa 25 vuoden tehontuottotakuu. On tärkeää panostaa laadukkaisiin komponentteihin, jotta investoinnista tulisi kannattava. Tähän kiinteistöön suunnitellaan on-grid-järjestelmä, jolloin järjestelmän tärkeimmät komponentit ovat aurinkopaneelit ja vaihtosuuntaaja. (Motiva, 2022).

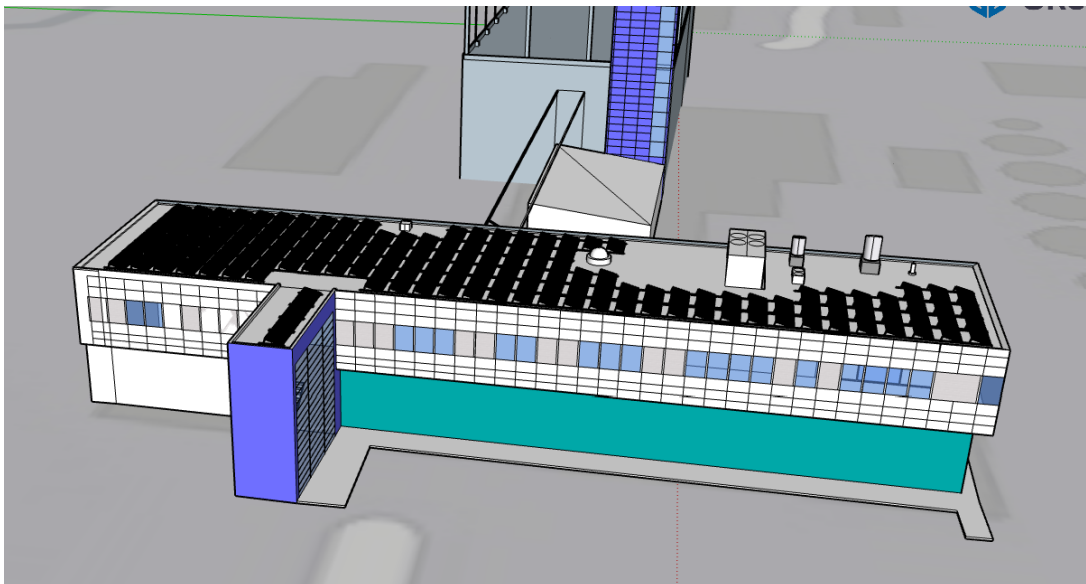
### 6.1 Järjestelmän mitoitus

Järjestelmä voidaan tässä tapauksessa mitoittaa kahdella tavalla. Ensimmäiseksi tarkastellaan toimistorakennuksen pohjakuormaa ja suunnitellaan mitoitus toimistorakennuksen kulutuksen mukaan. Pohjakuormalla tarkoitetaan energiamäärää, jonka kohde vähintään kuluttaa jokaisena tuntina, jolloin aurinkosähköä on mahdollista tuottaa. Toinen vaihtoehto on mitoittaa järjestelmä käytettävissä olevan pinta-alan mukaan ja suunnitella niin suuri järjestelmä kuin käytettävissä oleva tila mahdollistaa, jolloin saadaan suurin mahdollinen kohteeseen sopiva järjestelmä ja maksimaalinen energiantuotto. Tässä työssä tarkastellaan jälkimmäistä vaihtoehtoa, johtuen laitoksen suuresta pohjakuormasta.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen tukena voidaan käyttää 3D-mallinnusta. Tämän kohteen mallinnuksessa pyrittiin selvittämään, kuinka paljon paneelitehoa toimistorakennuksen katolle mahtuu, jos maksimaalinen asennuskapasiteetti otetaan huomioon. Paneelin mallina käytettiin Longi HI-M05 505W HC-paneelia (yhden paneelin koko 1755x1038x35 mm). Koska kiinteistön pohjakuorma on suuri ja asennus pinta-ala on suhteellisen pieni, niin tarkoituksella valittiin mahdollisimman suuren maksimitehon omaavat paneelit. Kallistuskulmana käytettiin tasakatoilla tyypillistä 15 asteen kulmaa, jolloin saadaan maksimoitua paneelien määrää. Paneelien toisilleen aiheuttaman varjostuman jäädessä pieneksi, voidaan paneelit asentaa kohtuullisen lähelle toisiaan.



SketchUp-mallinnusohjelman avulla piirrettiin rakennuksen mittoja vastaava malli, johon pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman suuri järjestelmä, huomioiden kuitenkin se, että varjostuksia syntyisi mahdollisimman vähän. Katon pinta-ala on noin 800 m<sup>2</sup>. Suunnitelman mukaan paneelit asennetaan puolen metrin päähän katon laidoista, jotta katon huoltovarmuus säilyy ja reunimmaisten paneelien tuulikuorma ei ole liian merkittävä. Kattona rakennuksessa on tasainen huopakatto vesikallistuksilla. Katolla sijaitsee muutamia toimilaitteita, joiden välittömään läheisyyteen paneeleita ei asenneta, jolloin huoltovarmuus säilyy, eikä laitteista muodostu energiantuottoa vähentäviä varjostuksia. Kaiken edellä mainitun huomioimisen jälkeen, katolle saatiin sovitettua suunnitelmassa 160 paneelia, joiden yhteenlaskettu piikkiteho on noin 80 kWp, kuva 14.



Kuva 14 Toimistorakennuksen mallinnus SketchUp-ohjelman avulla.

## 6.2 Paneelien kiinnitys

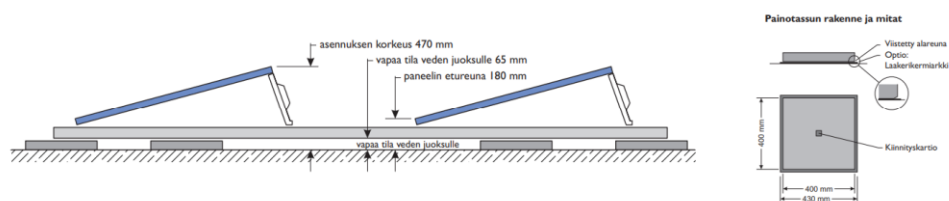
Aurinkojärjestelmiä varten on suunniteltu erikseen kiinnitysjärjestelmiä, joiden tarkoitus on taata, että aurinkopaneelit pysyvät kaikissa sääolosuhteissa kiinni alustassaan. Erilaisille kattomateriaaleille on erilaiset kiinnitysjärjestelmät ja ne on pyritty suunnittelemaan niin, etteivät ne heikennä katon käyttöikä.

Toimistorakennuksen katto on huopakatteella päällystetty tasakatto. Kohteen järjestelmän asennus voitaisiin suorittaa esimerkiksi kuvan 15 kaltaisilla Oriman Solar kiskoilla. Kyseisten kiskojen hyvä puoli on se, ettei katon huoparakennetta tarvitse rikkoa, vaan kiskot asennetaan nykyisen kattorakenteen päälle erillisesti liimattavilla huopapaloilla.



Kuva 15 Orima® Solar tasakaton kattokiinnike (Orima.fi n.d.)

Toinen vaihtoehto voisi olla modulaarinen asennusjärjestelmä, jossa järjestelmä asennetaan painotassujen päälle eli järjestelmän kiskot asennetaan kiinni painaviin tassuihin, ei itse kattoon. Finnwindin FS-M-asennusjärjestelmässä suurella pinta-alalla varustetut betonitassut on integroitu telineisiin, joihin paneelit kiinnittyvät, kuva 16.



Kuva 16 Finnwind FS-M-asennusjärjestelmä (Finnwind.fi, 2023)

### 6.3 Varjostukset

Asennuskohde eli toimistorakennuksen katto on muodoltaan tasakatto. Katto on kaukalomainen ja siellä sijaitsee muutamia toimilaitteita, kuten ilmastointikone, mutta muuten kattopinnalta löytyy suhteellisen vähän varjostavia

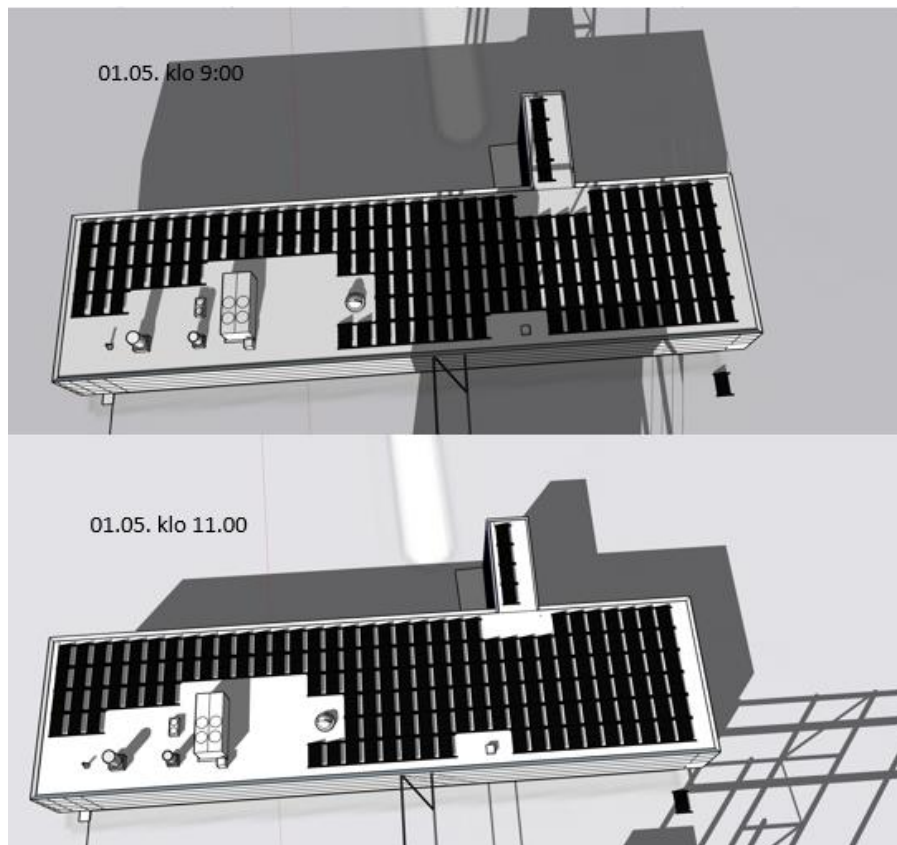
elementtejä. Rakennuksen lyhyt sivu suuntautuu lähes suoraan etelään ja rakennuksen itäpuolella sijaitsee tislaamorakennus. Suunnitelmassa katolle asennettavat paneelit pyritään sijoittelemaan niin, ettei katolla sijaitsevista toimitteista aiheutuisi merkittäviä varjostuksia paneeleille. Tässä osiossa tarkastellaan erityisesti tislaamon aiheuttamaa varjostusta paneelikentälle.

### 6.3.1 Varjostusten mallinnus

Varjostuksia tässä työssä tarkastellaan SketchUp-mallinnusohjelman avulla parhaan tuoton kuukausien osalta. Näin pyritään antamaan mahdollisimman kattava kuva mahdollisista tuottoa haittaavista tekijöistä. Käytetyn ohjelman avulla mallinnuksesta pystytään näkemään varjostusten sijainnit eri vuoden ja vuorokauden aikaan syöttämällä järjestelmään kohteen maantieteellinen sijainti ja sen asema ilmansuuntiin nähden.

Kuvassa 17 on havainnollistettu varjojen liikettä päivän mittaan. Korkean tislaamorakennuksen varjo liikkuu toimistorakennuksen yli aamun aikana ja toukokuun alussa se on ohittanut katon noin kello 11. Muut rakennukset tai puusto eivät varjostuksia paneelikentälle aiheuta, joten iltapäivällä aurinkopaneeleilla ei ole varjostavia tekijöitä. Kesää kohti siirryttäessä aurinko nousee korkeammalle ja varjostus katolle vähenee. Kesäkuun alussa tislaamon varjostus poistuu katolta vähän kymmenen jälkeen aamulla ja vain tislaamon ylimmät palkit varjostavat tässä vaiheessa kattoa. Elokuussa varjostus on palautunut toukokuun kaltaiseksi ja varjostavat noin 30–40 prosenttia paneeleista.

Nämä varjostukset on hyvä huomioida asennussuunnitelmassa, jotta voidaan mahdollisuuksien mukaan jakaa paneelikenttä sopiviin kenttiin varjostushäviöiden minimoimiseksi.



Kuva 17 Toimistorakennuksen varjostuksia toukokuun alussa.

## 7 AURINKOJÄRJESTELMÄN TUOTTO

Aurinkojärjestelmän mitoitukseen hyödynnettiin Euroopan komission ylläpitämää PVGIS- järjestelmän dataa. Sivuilta löytyy aurinkopaneelien tuottotietolaskuri, johon sijoitetaan kohteen sijainti, sekä aurinkojärjestelmän tiedot, kuten huipputeho ja paneelien kulma aurinkoon nähden. PVGISsin antamat tiedot siirrettiin Exceliin ja arvojen pohjalta muodostettiin kuvaajat järjestelmän tuotosta.

PVGIS laskurista (liite 1) saadaan ulos tuottotietoja tuntien tarkkuudesta vuosien tarkkuuteen.

Tuottoarviointi tehtiin 80kWp järjestelmän pohjalta PVGIS-järjestelmän avulla. Tuntikohtaiset tiedot haettiin seuraavia arvoja käyttäen:

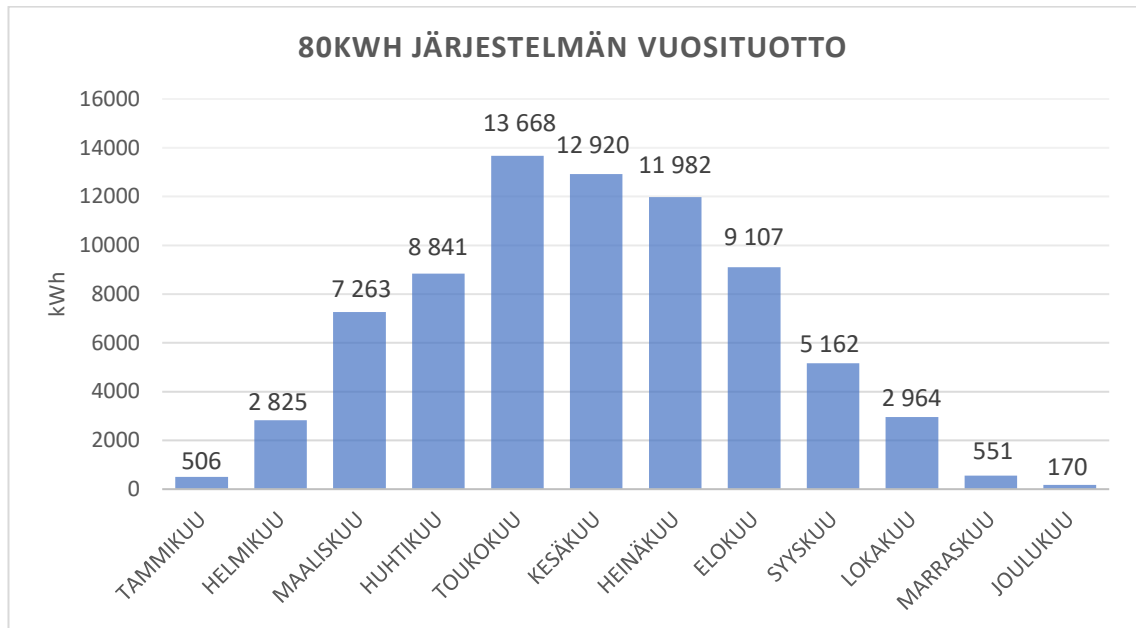
Hourly Data, 2016 (european Commission, 2022)

Taulukko 2 PVGIS-järjestelmään syötetyt tiedot

Sijainti	Rauma	Maanpääntie 3
Paneelien kulma	15	°
PV Power	80	kWp
Häviöt	14	%

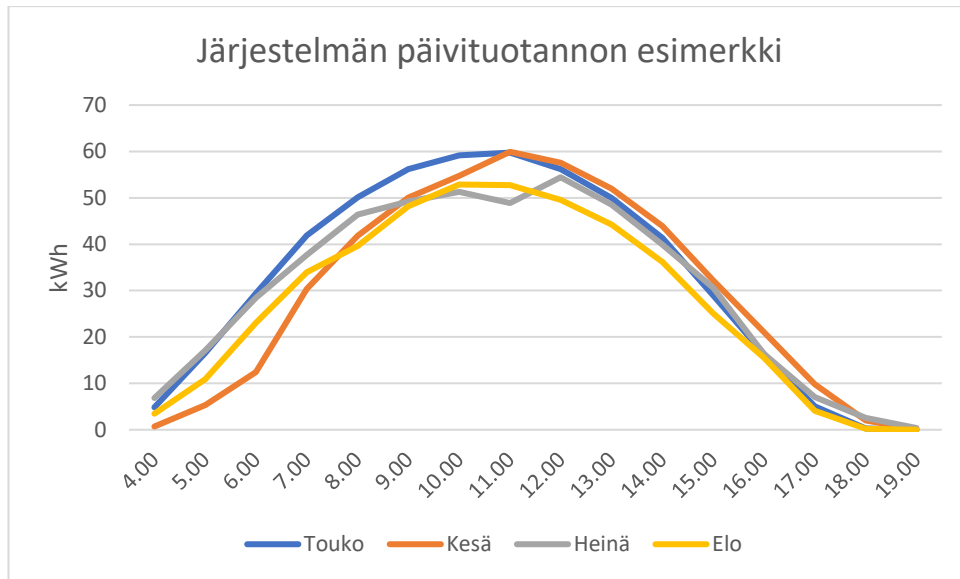
Laskuri ehdottaa automaattisesti häviöksi 14 prosenttia, joka perustuu järjestelmän käyttöiän aikana syntyvistä tehohäviöistä. Paneelit asennettiin mallinuksessa 15 asteen kulmaan ja azimuutti etelään päin on noin 2 °, joten sillä ei ole oleellista vaikutusta paneelien tuottoon.

Koko vuoden tuotto 80 kWp järjestelmälle oli 75 960 kWh, jossa on hyvä ottaa huomioon se, että järjestelmä laskee tuottoa talvikuukausille myös auringon määrän mukaan, eikä se huomioi esimerkiksi lumikuorman aiheuttamaa tuotannon menetyksiä. Alla olevasta kuvaajasta voidaan nähdä tuotannon vaihtelu vuoden ympäri. Tuottoisimmat kuukaudet sijoittuvat maaliskuusta elokuuhun. Tämän ajanjakson tuotto on 63 781 kWh, joka on noin 84 prosenttia koko vuoden tuotosta.



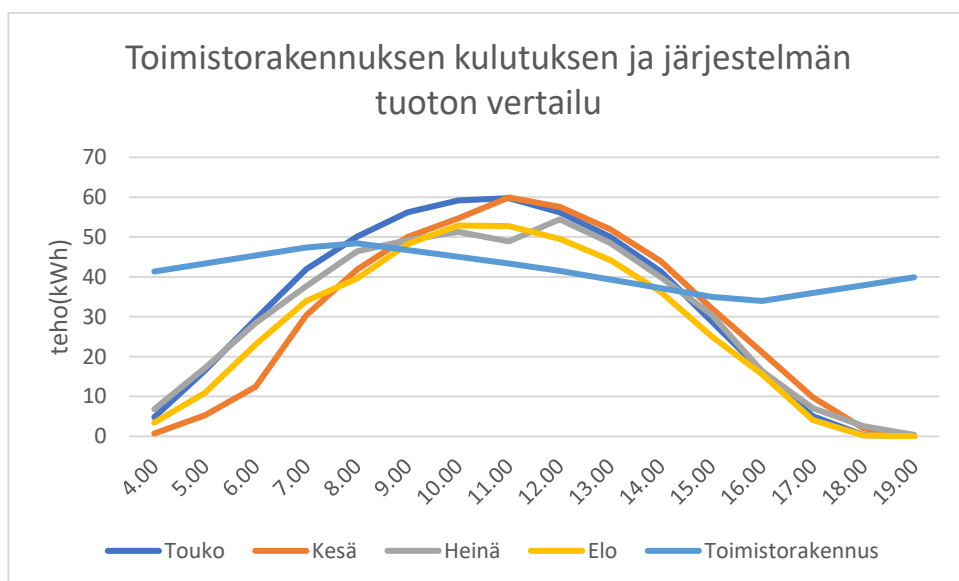
Kuvaaja 2 järjestelmän vuosituotto eri kuukausille jaettuna

Kuvaajassa 3 on esitetty yksittäisen päivän tuottokäyriä eri kuukausilta. kuvaajasta voidaan havaita, että parhaat tuottotunnit sijoittuvat noin klo 9–15 ajanjaksolle kuukaudesta riippumatta. Kuvaajaan on valittu jokaisen kuukauden noin kymmenes päivä ja valittu näiden jaksojen päivittäiset tuotot tunti tunnilta. Parhaat piikkituotot saavutetaan kuvaajan perusteella touko- ja kesäkuussa, mutta suurta eroa ei kyseisten kuukausien välille synny.



Kuvaaja 3 järjestelmän päivätuotannon esimerkki kuvaaja

Tämän järjestelmän päivätuotantoa arvioidessa ei tarvitse huomioida varsinaista omakäyttöosuutta, koska aikaisemmin kerrotun mukaan, järjestelmän tuottama energia saadaan vuorokauden ajasta riippumatta kulutettua toimistorakennuksen ulkopuolella tislamon muuhun energian käyttöön. Alla olevassa Kuvaajassa 4 on kuitenkin vertailu toimistorakennuksen kuluttamaa energiaa järjestelmän tuottamaan energiaan, jotta voidaan hahmottaa saavutettu energiahyöty paremmin. Valittuina kuukausina järjestelmän tuottama sähköteho ylittää toimistorakennuksen kulutuksen aikavälillä 8–15.



Kuvaaja 4 Toimistorakennuksen kulutuksen ja järjestelmän tuoton vertailu

## 8 KANNATTAVUUS

Järjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa energian hankintahinta, järjestelmän hinta asennuksineen sekä säästetty sähkö. Energian hintaan vaikuttavat paikallisen verkkoyhtiön määrittämät siirtohinnat sekä sähköstä maksettava hinta, joka yleensä on sidonnainen sähköpörssiin. Tässä kappaleessa arvioidaan sähkön hinnan näkymiä tulevaisuudessa ja millaiseksi järjestelmän takaisinmaksuaika muodostuisi sähkömarkkinoiden muutoksessa.

### 8.1 Järjestelmän hinta

Järjestelmän hinta muodostuu komponenttien, asennuksen, suunnittelun ja lupien yhteissummasta. Tässä opinnäytetyössä suunniteltu järjestelmä on tehoaan noin 80 kWp, joten toteutuksessa voitaisiin käyttää esimerkiksi kolmea 25 kWp Fronius Eco 25.0–3-S invertteriä, jolloin kokonaisteho olisi 75 kWp ja maksimi kuormitus noin 112 kWp. Yhden tällaisen hinta on noin 3000 euroa. Paneeleina käytettiin Longi HI-M05 505 W paneeleita, joita järjestelmä sisälsi 160 kappaletta. Kyseisten paneelien kappalehinnat tätä työtä tehdessä olivat 120 euron tuntumassa, joten näistä kertyvä kustannus olisi noin 20 000 euron luokkaa. Suunnitelmassa käytetyillä Orima solar kiinnikkeillä hintaa aurinkosähkötukku.fi:n mukaan olisi yhteensä noin 13 500 euroa. Tämän lisäksi tulee hankkia vielä ainakin kaapelit, kaapelikiskot, turvakytkimet sekä kiinnikkeitä. Näiden hinta-arvioon tarvittaisiin valmis suunnitelma järjestelmästä.

Asennus, suunnittelu ja luvat voidaan sitoa kustannusten osalta toisiinsa, jos työ tilataan ”avaimet käteen” periaatteella. Järjestelmän asennuskustannus riippuu järjestelmän koosta ja asennuspaikasta. Pienemmissä järjestelmissä eri toimittajien järjestelmiä vertailemalla työn keskimääräiseksi osuudeksi muodostui noin 40 prosenttia kokonaiskustannuksesta. Työn osuus tippui, mitä suurempi järjestelmä on. Vuonna 2020 toteutetun Satamari: Meriklusterin energiatehokkuus Satakunnassa- raportin mukaan Pori energia oli arvioinut

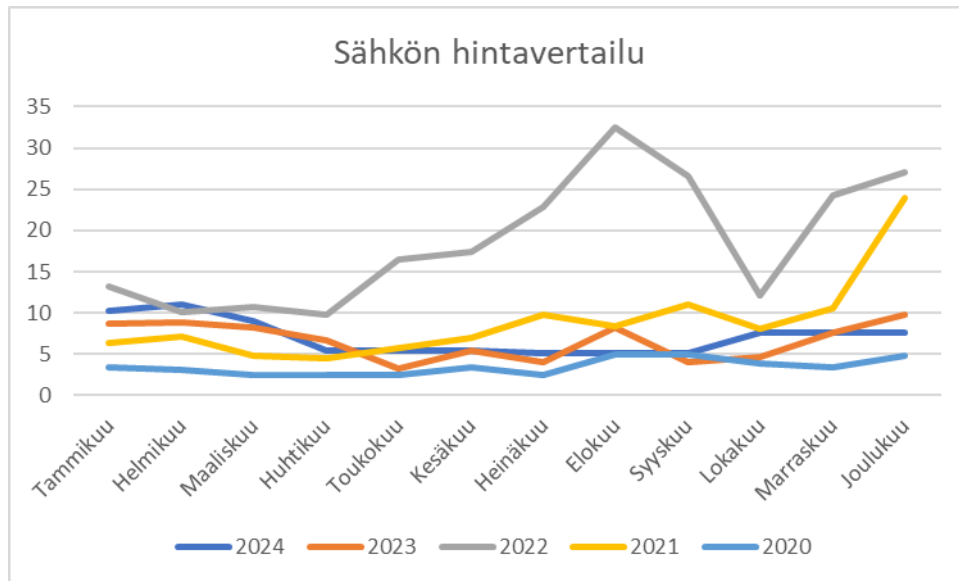


kyseisessä hankkeessa suunnitellun 63 kWp järjestelmän hinnaksi 950 €/kWp (Heikkilä & Järvenpää, 2020, s. 13). Kyseessä on melko samantyyppinen kattorakenne, kuin tässä opinnäytetyössä suunnitellussa järjestelmässä, joten voidaan olettaa hintaluokan liikkuvan samoissa lukemissa. 80 kWp järjestelmän hinnaksi muodostuisi siis noin 76 000 euroa.

## 8.2 Sähkön hinta

Pohjoismaissa sähkön myynti pohjautuu Nord Poolissa toimivaan sähköpörssiin. Sähkön pörssihinta määräytyy osakekaupan tapaan, eli kysyntään ja tarjontaan pohjautuen. Sähkön tuottajat, kuten voimalaitokset, antavat päivittäin tarjouksen Nord Pooliin kulloisenkin päivän ja tunnin hinnasta, jolla he ovat valmiita myymään sähköä verkkoon. Samaan tapaan toimivat myös sähkön ostajat. Kun nämä tarjoukset kohtaavat syntyy niin kutsuttu spot-hinta. Kuluttajan sähkön hinta koostuu spot-hinnasta, arvolisäverosta, sekä sähköä myyvän yhtiön marginaalista. (Fortum.fi, 2024).

Kuvaajasta 5 voidaan nähdä sähkön pörssihintoja eri vuosina ja kuukausina. Kuvaajassa esitetyt hinnat 2023 vuoden lopulla ja 2024 vuoden aikana ovat sähkön futuurihintoja eli ennusteita siitä, mihin sähkön hinta tulee kehittymään tulevien kuukausien aikana. Vuosi 2022 oli poikkeus sähkön pörssimarkkinoilla, kun sähkön hinta nousi merkittävästi johtuen ainakin osittain Venäjän aloittamasta hyökkäyssodasta Ukrainaan. Normaalisti sähkön hinta on noin 5 c/kWh. Aurinkoenergian tuotanto keskittyy huhtikuun ja elokuun väliselle ajanjaksolle. Jos tarkastellaan vuosien 2020 ja 2024 vuosien ajanjaksolla näiden kuukausien keskihintaa asettuu se noin 8 c/kWh. (Halvinsähkösopimus.fi, 2023)



Kuvaaja 5 Sähkön spot-hintoja eri vuosina (Halvinsähköseppä.fi, 2023)

### 8.3 Tuotosta saatava taloudellinen hyöty

Taloudellista hyötyä voidaan arvioida esimerkiksi takaisinmaksuajan avulla. Takaisinmaksuaika tarkoittaa sitä, kuinka nopeasti investoinnin kustannukset on katettu saavutetulla säästöllä kokonaisuudessaan. Takaisinmaksuaikaa arvioidessa on kuitenkin hyvä muistaa ettei se yksinään kerro koko totuutta investoinnin kannattavuudesta. Jos järjestelmän takaisinmaksuaika on esimerkiksi 15 vuotta, voi järjestelmällä olla tässä kohtaa käyttöikä vielä toiset 15 vuotta jäljellä. Lisäksi laskennassa ei oteta huomioon järjestelmän jäännösarvoa joka 15 vuoden kuluttua olisi varmasti useita tuhansia euroja. Takaisinmaksuajan avulla voidaan kuitenkin osoittaa yritykselle, onko investointi perusteltu taloudellisesta näkökulmasta. Tarkemmin laskelmia on avattu liitteessä 2.

Aurinkojärjestelmän tuottaman sähkön käytössä säästetään sähkön siirtomaksu ja kulloisellakin hetkellä maksettu sähkön hinta, josta tässä kappalessa käytetään termiä sähkön kokonaishinta. Alla olevaan taulukkoon 3 on koottu sähkön kokonaishinnan (snt/kWh) vaikutukset 80 kWp järjestelmän

takaisinmaksuaikaan, kun voimalan hinta on määritetty tiettyyn yksikköhintaan (€/kWp). Valkoisella pohjalla olevat arvot näyttävät, kuinka monessa vuodessa investointi maksaisi itsensä takaisin esitetystä tilanteesta. Taulukon arvot on laskettu ilman investointitukia tai investointia varten hankittua lainaa. Laskennassa on huomioitu, että järjestelmän teho tippuu noin 0,5 prosenttia vuodessa (Finsolar.net, 2020). Esimerkiksi, jos järjestelmä maksaisi aikaisemmin mainitun 950 €/kWp verran ja sähkön kokonaishinta olisi 10 senttiä takaisinmaksuajaksi muodostuisi noin 10 vuotta. Taulukon avulla voidaan karkeasti arvioida, kuinka kannattava investointi lopulta olisi, kun sähkön hintaa ja investointikustannusta muutetaan.

Taulukko 3 80 kWp aurinkojärjestelmän herkkyyсарviointi takaisinmaksuaika vuosina.

Sähkö (snt/kWh)	Voimalan yksikköhinta (€/kWp)				
	1000	950	900	850	800
8,0	14	13	12	11	11
8,5	13	12	11	11	10
9,0	12	11	11	10	9
9,5	12	11	10	10	9
10	11	10	10	9	8
10,5	10	10	9	9	8
11,0	10	9	9	8	8

Taulukossa 4 on esitetty taulukon 3 kaltaisesta investoinnin ja sähkönhinnan muuttuessa aurinkojärjestelmän euromääräinen tuotto, jos oletetaan, että sen käyttöikä olisi 25 vuotta. Esimerkiksi jos investointi pysyisi 950 eurossa kilowattipiikkiä kohden ja sähkön kokonaishinta olisi maltillinen 8,5 senttiä, olisi järjestelmä 25 käyttövuoden jälkeen tuplannut 76 000 euron investointinsa. Tässä laskennassa ei ole huomioitu mahdollisia laiterikkoja tai huoltokuluja. Yleisesti voidaan todeta, että aurinkojärjestelmän ovat melko varmatoimisia ja huoltotoimenpiteitä ei tarvitse kovin usein tehdä.

Taulukko 4 Järjestelmän tuottoarvio 25 käyttövuoden aikana

Sähkö (snt/kWh)	Voimalan yksikköhinta (€/kWp)				
	1000	950	900	850	800
8,0	63 000 €	67 000 €	71 000 €	75 000 €	79 000 €
8,5	72 000 €	76 000 €	80 000 €	84 000 €	88 000 €
9,0	81 000 €	85 000 €	89 000 €	93 000 €	97 000 €
9,5	90 000 €	94 000 €	98 000 €	102 000 €	106 000 €
10,0	99 000 €	103 000 €	107 000 €	111 000 €	115 000 €
10,5	108 000 €	112 000 €	116 000 €	120 000 €	124 000 €
11,0	117 000 €	121 000 €	125 000 €	129 000 €	133 000 €

## 9 YHTEENVETO

Aurinkojärjestelmää suunniteltaessa on hyvä perehtyä markkinoilla oleviin komponentteihin ja valita mahdollisimman pitkäikäiset ja laadukkaat komponentit. Näin ollen voidaan varmistaa järjestelmän pitkä ikä ja sähkön tuotannon varmuus. Yksinkertaisin tapa on ostaa järjestelmä ns. ”avaimet käteen” pakettina, jolloin ammattilaiset suunnittelevat ja asentavat kohteeseen sopivan järjestelmän.

Suunnitellun järjestelmän tuottama sähkö pystytään hyödyntämään tislaimolla kokonaisuudessaan, joka on taloudelliselta näkökannalta kannattavinta yritykselle. Järjestelmä pystytään asentamaan lähes täysin etelän suuntaan ja jatkuvia varjostuksia järjestelmään kohdistuu melko vähän. Kesäkuukausina järjestelmän tuotto ylittää toimistorakennuksen kulutuksen päiväsaikaan ja näin ollen koko toimistorakennuksen kulutus saataisiin katettua pelkällä aurinkovoimalla kyseisenä ajankohtana.

Ennen järjestelmän asennusta on tarkastettava toimistorakennuksen katon kunto. Olisi myös hyvä miettiä sijoitetaanko invertterit nykyisen sähkötilan yhteyteen vai johonkin muualle.

Taloudellinen kannattavuus laskettiin mahdollisen investointipäätöksen tueksi helpottamaan investointikustannusten hahmottamista ja toisaalta takaisinmaksuajalla pyrittiin ilmaisemaan, että järjestelmä olisi taloudellisesti kannattava sijoitus. Järjestelmän käyttöiän ollessa noin 25 vuotta voidaan investointia pitää kannattavana, koska kaikissa esitetyissä tapauksissa järjestelmä maksaisi itsensä takaisin alle 15 vuodessa.

## LÄHTEET

Aurinkovirta. (2023). Inventteri. Haettu 9.1.2024 osoitteesta <https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>

Electronics-tutorials. (2023). Bypass Diodes in Solar Panels. Haettu 10.12.2023 osoitteesta <https://www.electronics-tutorials.ws/diode/bypass-diodes.html>

Elinkeino-liikenne- ja ympäristökeskus. (2023). Aurinkoenergia. Haettu 10.12.2023 osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lu-paneuvonta/aurinkoenergia>

Energiateollisuus. (2008). Ilmastonmuutos ja energia. Slideshare. <https://www.slideshare.net/energiateollisuus/ilmastonmuutos-ja-energia>

Erat, B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo K., Peltola S. & Suokivi H. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy. 2008.

Faranda, R, (2008). Energy comparison of MPPT techniques for PV System. <http://www.wseas.us/e-library/transactions/power/2008/27-545.pdf>

Fingrid. (2023). Aurinkovoima. Haettu 4.12.2023 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/aurinkovoima/>

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

Finnwind. (2024). FAQ aurinkopaneelit. Haettu. 21.12.2023 osoitteesta <https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysyttya/>

TF Engineers Oy. (2019). Forchem Oyj Energiakatselmusraportti 2019.

Fortum. (2024). Sähkön spot-hinta. Haettu 24.1.2024 osoitteesta <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/opas/spot-hinta>

Fronius (2023). Installation Instructions. Fronius Symo 10-20 kW & Fronius Eco. <https://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/Installation%20Instructions/42,0426,0175,FI.pdf>

Fronius. (2023). Fronius eco. Haettu 18.12.2023 osoitteesta <https://www.fronius.com/fi-fi/finland/aurinkoenergiaa/asentajat-ja-kumppanit/tekniset-tiedot/kaikki-tuotteet/invertteri/fronius-eco/fronius-eco-25-0-3-s>

Halvinsähkösopimus.fi. (2023). Sähkön hintaennuste 2023: Sähköfutuuriennustet hinnat. Haettu 4.12.2023 osoitteesta <https://xn--halvinshksopimus-1nb04a.fi/sahkon-hintaennuste/>

Heikkilä T & Järvenpää T. (2020). Aurinkovoimala toimistorakennukseen. Case: Eurosports Rauma Oy. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202002074773>

IEA. (2021). Snapshot of Global PV Markets 2021. [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2021-V3.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA_PVPS_Snapshot_2021-V3.pdf)

Ilmatieteenlaitos. (2022). Avoin data. Havaintojen lataus. Haettu 4.12.2023 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Ilmatieteenlaitos. (n.d). Säteily ja kirkkausvaihtelu. Haettu 3.12.2023 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>

Lumme-energia. (n.d.). Half-cut-aurinkopaneeli tuottaa sähköä myös osittain varjostettuna. Haettu 5.10.2023 osoitteesta <https://www.lumme-energia.fi/blogi/half-cut-aurinkopaneeli-tuottaa-sahkoa-myo-osittain-varjostettuna>

Motiva. (2022). Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Haettu 14.11.2023 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)

Motiva. (2022). Aurinkojärjestelmien hinta. Haettu 20.10.2023 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestel-man\\_valinta/aurinkosahkojarjestelmien\\_hinta](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-man_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta)

Orima-Tuote Oy. (n.d.) UP-Universal platform. Haettu 5.1.2024 osoitteesta <https://orima.fi/orima-solar/aurinkopaneelikiinnikkeen-kiinnityslevy-huopakattolle/>

Rauman energia. (n.d.) Tuotannon liittäminen verkkoon. Haettu 20.10.2023 osoitteesta <https://raumanenergia.fi/sahkoverkko/tuotannon-liittaminen-verkkoon>

Rauma. (2024). Aurinkopaneelit. Rakennusvalvonnan ohje luvan hakemiseen ja luvanvaraisuuteen. Haettu 20.10.2023 osoitteesta <https://www.rauma.fi/wp-content/uploads/2022/11/aurinkopaneeliohje.pdf>

SFS 6000-7-712:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7–712: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät. (2022). Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>

SFS 62446-2:2020. Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset (2019). Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>

Solar Choise. (2023). Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels: Busting Myths. Haettu 7.12.2023. osoitteesta <https://www.solarchoice.net.au/blog/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels-busting-myths/>

Spinea. (2023). Aurinkojärjestelmät asennettuna. Haettu 20.10.2023 osoitteesta <https://spinea.fi/tuotteet/aurinkosahko-aurinkopaneeli/>

Tahkokorpi, M., Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasikoski, A & Wiljander, M. (2016). Aurinkoenergia Suomessa. Into kustannus.



Tukes. (n.d.). Aurinkosähköjärjestelmät. Haettu 16.8.2023 osoitteesta <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat#4b564971>

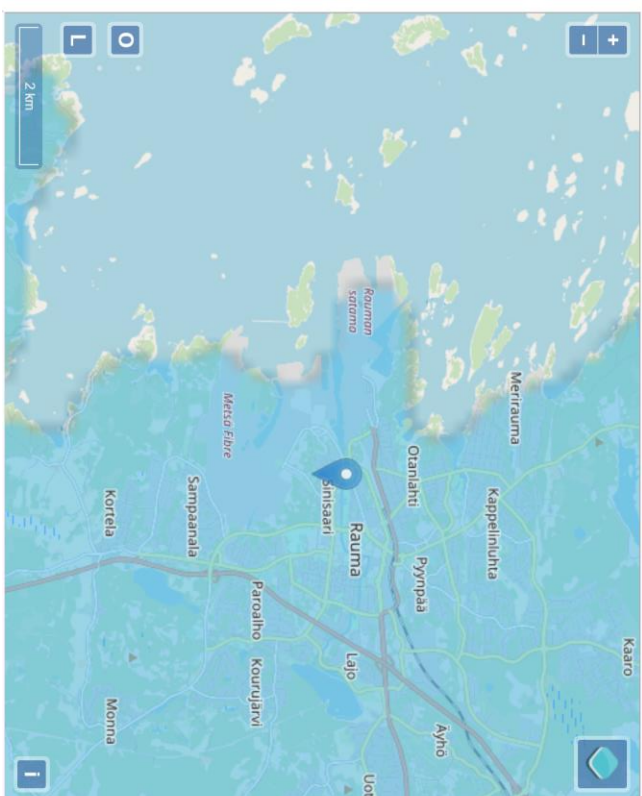
Volttikauppa. (2024). LONGi Data Sheet. Haettu 28.1.2024 osoitteesta <https://volttikauppa.fi/wp-content/uploads/2023/08/21444991.pdf>

Wind Europe. (2024). Wind energy is the cheapest source of electricity generation. Haettu 31.1.2024 osoitteesta <https://windeurope.org/policy/topics/economics/>

## LIITTEET

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive Tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us



**Cursor:**  
**Selected:** 61.123, 21.484  
 Elevation (m): 22  
 PVGIS ver. 5.2

**Use terrain shadows:**  
 Calculated horizon  
 Upload horizon file  
[Switch to version 5.1](#)

[csv](#) [json](#)  
 Valtiose tiedosto | Ei välttävää tiedostoa

**PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV**

GRID CONNECTED

TRACKING PV  
 OFF-GRID  
 MONTHLY DATA  
 DAILY DATA  
 HOURLY DATA  
 TMY

Solar radiation database\*  
 PV technology\*  
 Installed peak PV power [kWp]\*  
 System loss [%]\*

**Fixed mounting options**

Mounting position\*  
 Slope [°]\*  
 Azimuth [°]\*

**PV electricity price**  
 PV system cost (your currency)  
 Interest [%/year]  
 Lifetime [years]

PVGIS-SARAH2  
 Crystalline silicon  
 80

Roof added / Building integrated  
 Optimize slope  
 Optimize slope and azimuth

