



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Juuso Latvala

Erään aurinkosähkövoimalan suunnittelu

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Sähkö- ja energiatekniikka, Tekniikan kandidaatti
Vaasan yliopisto

Vaasa 2025

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Juuso Latvala		
Tutkielman nimi:	Erään aurinkosähkövoimalan suunnittelu		
Tutkinto:	Tekniikan kandidaatti		
Oppiaine:	Sähkö- ja energiatekniikka		
Työn ohjaaja:	Teemu Ovaska		
Valmistumisvuosi:	2025	Sivumäärä:	29

TIIVISTELMÄ:

Tämä kandidaatintutkielma käsittelee aurinkosähköjärjestelmiä, keskittyen erityisesti niiden rakenteeseen, toimintaan ja soveltuvuuteen Suomen olosuhteissa. Aluksi esitellään aurinkosähköjärjestelmän pää- ja apukomponentit, kuten aurinkopaneelit, vaihtosuuntaajat ja eri paneelityypit. Tutkielmassa tarkastellaan sähköntuotantoon vaikuttavia tekijöitä, kuten säteilyn määrää, varjostusta, lumen vaikutusta ja paneelien suuntausta. Lisäksi käsitellään katoille ja maahan asennettavien voimaloiden sijoittelu- ja toteutusvaihtoehtoja sekä järjestelmän mitoittamista, suunnittelua sekä kustannuksia ja taloudellisia tukimuotoja. Lopuksi arvioidaan järjestelmän kuluttajalle tuottaman sähkön määrää ja esitetään johtopäätökset siitä, millaista järjestelmää kuluttajan kannattaa harkita työn esittämien maantieteellisten, teknisten ja taloudellisten seikkojen perusteella.

AVAINSANAT: Aurinkosähkö, Aurinkosähköjärjestelmä, Aurinkovoimala, Komponentit

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Aurinkosähköjärjestelmä	6
2.1	Järjestelmän pää- ja apukomponentit	6
2.1.1	Aurinkopaneelit	7
2.1.2	Aurinkopaneelityypit	7
2.1.3	Aurinkokennot	10
2.1.4	Vaihtosuuntaaja	10
2.2	Sähköntuotantoon vaikuttavat tekijät	12
2.2.1	Auringonsäteilyn määrä Suomessa	12
2.2.2	Varjostus	12
2.2.3	Lumen vaikutus	13
2.2.4	Paneelien kallistuskulma ja suuntaus	14
2.2.5	Sijainti ja sääolosuhteet	14
2.3	Voimalan sijoittelu- ja toteutusvaihtoehdot	15
2.3.1	Kattoasentaminen	15
2.3.2	Maa-asentaminen	15
2.3.3	Toteutusvaihtoehdot	16
3	Järjestelmän rakenne, mitoittaminen ja suunnittelu	19
3.1	Järjestelmän kokoluokka	19
3.2	Järjestelmän komponentit	20
3.3	Standardeja	20
3.4	Järjestelmien hinta ja taloudellinen tuki	21
4	Arvioitu sähköntuotanto	23
4.1	Vuosi- ja kuukausituotanto	23
4.2	Tuotetun sähkön mitoitus	23
5	Johtopäätökset	24
6	Yhteenveto	25
7	Lähteet	26

Kuvat

Kuva 1. Erityyppisiä paneeleita: yksikiteinen ja monikiteinen paneeli sekä ohutkalvopaneeli. (Kortetmäki, 2023)	8
Kuva 2. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa. (Motiva e, 2024)	13
Kuva 3. Aurinkosäteilyn määrä Euroopassa. (Motiva e, 2024)	13
Kuva 4. On-grid järjestelmän periaatekuva. (Kortetmäki, 2023).	17
Kuva 5. Off-grid järjestelmän periaatekuva. (Kortetmäki, 2023, s. 59).	18
Kuva 6. Sähkön osto- ja myyntihinnan rakenne. (Motiva f, 2024)	20

Taulukot

Taulukko 1. Yleisten kenno- ja paneelityyppien ominaisuuksia (Kortetmäki, 2023, s. 41)	10
--	----

Lyhenteet

AC	Alternating Current, vaihtosähkö
DC	Direct Current, tasasähkö
kW	Kilowatti
kWh	Kilowattitunti
MPPT	Maximum Power Point Tracking, maksimitehopisteen seuraaja
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System. Laskentatyökalu, jolla voi arvioida aurinkosähkövoimalan tuotantoa paikallisesti

1 Johdanto

Viime vuosien energiakriisi, puheet ilmastonmuutoksesta, sähkön hinnan voimakkaat vaihtelut ja huoli energian saatavuudesta ovat nostaneet esiin tarpeen löytää kestävämpiä ja puhtaampia ratkaisuja energiantuotantoon. Ympäri maailman yhä useammat yritykset ja yksityiset kuluttajat ovat siirtyneet kohti fossiilivapaita polttoaineita. Yksi keskeisimmistä ratkaisuista tässä muutoksessa on aurinkosähkö, jonka suosio on ollut suuressa nousussa viime vuosien ajan.

Aurinkosähköjärjestelmien kysyntä kasvaa jatkuvasti teknologian kehittyessä ja taloudellisten hyötyjen kasvaessa, myös aurinkoenergian hinta on laskenut huomattavasti viime vuosien ajan. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tarkastella erään aurinkosähkövoimalan suunnittelua ja ottaa huomioon tekniset, taloudelliset ja ympäristölliset näkökulmat. Työssä käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate, keskeisimmät komponentit sekä suunnitteluprosessin vaiheet.

Aurinkosähkövoimalaa suunnitellessa on huomioitava useampi seikka: Kattoasennuksessa on huomioitava kattopinta-ala, ja kuinka suuri todellinen asennuspinta-ala on aurinkopaneeleille, katon kaltevuus, paneelien sijaintiin vaikuttavat varjostukset, lait, standardit ja määräykset.

2 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmien kokoonpanot vaihtelevat paljon riippuen niiden toteutustavoista. Toteutusvaihtoehtoja on kolme: sähköverkkoon liitetty järjestelmä (on-grid), sähköverkosta irti oleva järjestelmä (off-grid) ja hybridijärjestelmän, jonka avulla voidaan asentaa sähköä tuottavia paneeleja sekä lämpöä kerääviä tyhjiöputki aurinkokeräimiä. Suurin ero on on-grid- ja off-grid -järjestelmien välillä, esimerkiksi off-grid -järjestelmään tarvitaan akku, joka luonnollisesti muuttaa järjestelmää hieman, ja on-grid -järjestelmän verkkoon liittämisen vuoksi tietyt vaatimukset vaikuttavat laitevalintoihin ja -toimintoihin.

2.1 Järjestelmän pää- ja apukomponentit

Aurinkosähkövoimalan pääkomponentteihin kuuluvat aurinkopaneelit, jotka muuttavat auringonvalon sähköksi, vaihtosuuntaaja eli invertteri, joka muuntaa tasavirran vaihtovirraksi, turvakytkimet ja johdotus, sekä kiinnitystelineet ja liittimet, joiden avulla paneelit asennetaan sopivaan paikkaan ja kulmaan turvallisesti.

Pääkomponenttien lisäksi tärkeitä apukomponentteja ovat turvakytkin, vikavirtasuojakytkin, johdonsuojakatkaisija sekä kaapelit. DC- kaapeli liittimiseen aurinkopaneelin ja invertterin toisiinsa liittämistä varten, ja lisäksi DC-kaapeloinnin mekaaninen suojaus sekä kiinnitystelineen potentiaalintasaus. Merkintätarrat ovat myös tärkeät sähkötyöturvallisuuden edistämiseksi.

Vuonna 2022 aurinkosähkövoimalan merkintää on parannettu lisäämällä merkintätarroihin Aurinkosähkö DC -tarrasarjan, jolla DC-johtimet sisältävät suojausputket tulee merkitä 5 metrin välein SFS-käsikirja Aurinkosähkö -mukaan.

DC-kaapeloinnin ja sen mekaanisen suojauksen kustannus alumiinisten suojausputkien avulla on alle 5 % koko aurinkovoimalan kustannuksista, mutta DC-kaapeleiden osuus on suuri osuus voimalan tulipaloriskeistä.

2.1.1 Aurinkopaneelit

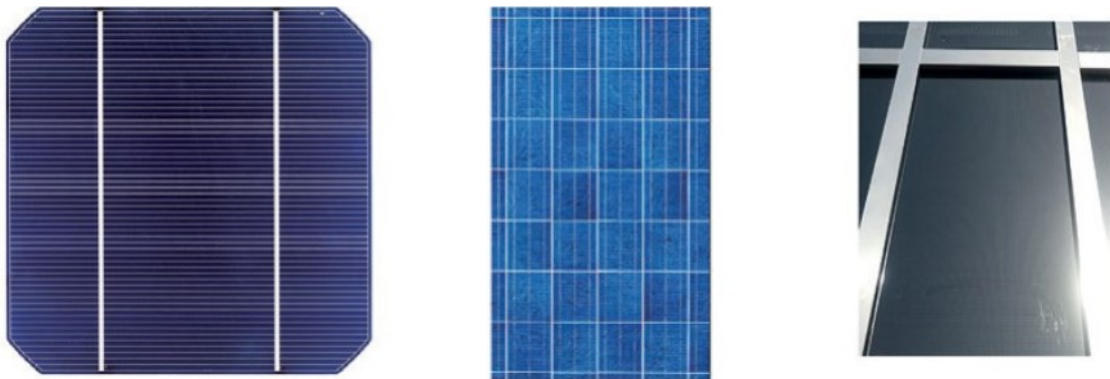
Aurinkopaneeli muodostuu useista, yksittäisistä sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Nämä kennot tuottavat jännitettä valosähköisen ilmiön avulla. Paneelit kytketään sarjaan paneeliketjuksi jännitteen nostamiseksi. Päinvastoin rinnakkaiskytkentä paneelien välillä nostaa lähtövirtaa. Aurinkopaneeleita on kolmentyyppisiä: yksikiteisiä, monikiteisiä ja ohutkalvoisia. Tekniikasta riippuen paneelien tavanomainen hyötysuhde on 6–40 % (yli 25 % on saavutettu vain laboratorio-oloissa). Tehokkaimmat aurinkopaneelit markkinoilla ovat yksikiteisiä paneeleja, näillä hyötysuhde on 15–22 %. Kaupallisissa aurinkopaneeleissa käytetäänkin yleensä yksi- tai monikiteisiä piikenoja (Kortetmäki, 2023, s. 38–41). Pv magazine -lehden (Bellini, 2022) mukaan viimeisin tehokkuusennätys laboratorio-oloissa on 46 %, joka saavutettiin 2014 ranskalaisen Soitecin, ja saksalaisen Fraunhofer-instituutin yhteistyöllä. Vuonna 2024 Fraunhofer-instituutti saavutti 25 % tehokkuuden kaupallistettavalla aurinkopaneelilla (Thompson, 2024). Tämä on ratkaiseva luku, koska tehokkaampi tekniikka vie vähemmän tilaa. Esimerkiksi yksikiteinen piipaneeli, jonka hyötysuhde on 14–20 %, tarvitsee viidestä seitsemään neliometriä tuottaakseen yhden kilowatin. Paneelimäärän lisääminen kasvattaa voimalaitoksen kokoa. Toisaalta pienempitehoisia paneeleja voidaan käyttää kokonaiskustannusten minimoimiseen, jos käytössä on paljon aluetta.

2.1.2 Aurinkopaneelityypit

Aurinkopaneeleja on erityyppisiä: Yksi- ja monikiteiset piikennot ja ohutkalvopaneelit. Näistä yleisimmin käytetään piikenoja. (HELEN. 2023)

Yksikideaurinkopaneelit (Kuvassa 1 ensimmäinen vasemmalta) ovat yleisimmin käytetty aurinkopaneelityyppi asuin- ja kaupallisissa aurinkovoimaloissa, ne ovat myös tehokkain saatavilla oleva aurinkopaneelimuoto. Yksikiteiset aurinkopaneelit valmistetaan leikkaamalla yksi piikide ohuiksi piikiekoiksi, joita käytetään nimensä mukaisesti kennojen ja paneelien valmistukseen. Näissä paneeleissa käytetään yleensä erittäin puhdasta piitä. Aurinkopaneelien poikkeuksellisen hyötysuhteen mahdollistavat

yksikiteinen rakenne ja mainittu raaka-aineen puhtaus. Verrattuna muihin aurinkopaneelityyppeihin, kuten monikiteisiin ja ohutkalvopaneelisiin, yksikiteisen aurinkopaneelien tuotantoprosessi on kuitenkin monimutkaisempi ja kalliimpi. (Marsh, 2023)



Kuva 1. Erityyppisiä paneeleita: yksikiteinen ja monikiteinen paneeli sekä ohutkalvopaneeli. (Kortetmäki, 2023)

Monikiteisen piin leikkaamisen ja jauhamisen jälkeen jäljelle jäävää jätettä voidaan käyttää monikiteisen piin valmistukseen. Prosessin aikana piin kiderakenteeseen syntyy kidevirheitä. Nämä virheet voivat estää elektronien poistumisen paikoista, joissa kidevirhettä esiintyy, ja täten heikentää kennon tehokkuutta. Koska monikiteiset aurinkopaneelit (Kuvassa 1 toinen vasemmalta) ovat halvempia valmistaa kuin esimerkiksi yksikiteiset aurinkopaneelit, ne edustavat kustannustehokasta korviketta muille paneelityypeille. (Lavaa, 2024)

Ohutkalvopaneeleissa (Kuvassa 1 kolmas vasemmalta) lisätään hyvin ohuita kerroksia valoherkkää ainetta edulliselle pohjamateriaalille, kuten lasille, ruostumattomalle teräkselle tai muoville. (EPIA, n.d)

Ohutkalvokennoista koottujen aurinkopaneelien hyötysuhde on 9–11 prosenttia. (Irena, 2012) First Solar (US) tarjoaa markkinoilla kuitenkin edistyneempiä CdTe-ohutkalvopaneeleja (Cadmium Telluride); hyötysuhteen arvo standardiooloissa on noin 14,4 %. Tämän luvun uskotaan nousevan 25 % vuonna 2025. (First Solar, 2025)

Ohutkalvopaneeleilla pystytään keräämään hajasäteilyä hieman tehokkaammin verrattuna kiteisiin piikennoihin, vuositasolla vaikutus on kuitenkin vähäistä. Ohutkalvopaneelit päästävät enemmän valoa lävitseen, eli auringonsäteilyä ei saada hyödynnettyä sähköntuotantoon niin hyvin kuin kiteisillä piikennoilla. (Motiva c, 2024)

Yksikideaurinkopaneelin hyötyjä ovat hyvä hyötysuhde, joka vaihtelee yleensä 15–20 % välillä. Tämä on kaikista aurinkopaneeleista korkein (Motiva c, 2024) (HELEN, 2023). On huomioitava, että joissain lähteissä mainittu hyötysuhde tarkoittaa suurinta saatua hyötysuhdetta laboratorio-oloissa, kuten esimerkiksi Solar Magazinen mainitsemat (Solar Magazine, 2022). Yksikideaurinkopaneelien suuren hyötysuhteen ansiosta niitä voidaan käyttää vähemmän verrattuna muihin paneelityyppeihin kattotilan säästämiseksi. Vaihtoehtoisesti kaikki vapaana oleva kattotila voidaan käyttää suuremman sähköntuotannon takaamiseksi.

Paneelien haittoina ovat korkeat hinnat, mikä lisää projektin kustannuksia (Marsh, 2023). Monikideaurinkopaneelin hyötyjä ovat pienemmät valmistuskustannukset verrattuna esimerkiksi yksikideaurinkopaneeleihin, sekä hyötysuhde, noin 15–17 %. Toisaalta monikideaurinkopaneelin huonoja puolia ovat alhaisempi hyötysuhde yksikideaurinkopaneeleihin verrattuna. Monikideaurinkopaneelit tarvitsevat enemmän tilaa verrattuna yksikideaurinkopaneeleihin. (Lavaa, 2024)

Ohutkalvoaurinkopaneelin hyödyt ovat helppo liikuteltavuus ja koko. Helppo asentaa myös kaareville pinnoille. Lisäksi ne tarvitsevat vähemmän materiaalia valmistuksessa. Toisaalta haittoina ovat erittäin alhainen hyötysuhde todellisuudessa verrattuna muihin paneelityyppeihin. Hyötysuhde voi vaihdella kuitenkin jopa 5–17 % välillä riippuen materiaalista ja olosuhteista (korkea prosenttiluku voi viitata laboratoriossa saavutettuun tehokkuuteen). (Solar Magazine, 2022)

2.1.3 Aurinkokennot

Aurinkokennot ovat keskeinen osa aurinkopaneelia. Ne ovat perusyksiköitä, jota muuntavat auringon säteilyenergian sähköksi valosähköisen ilmiön avulla. Auringonvalon osuessa aurinkokennoon fotonit vapauttavat elektroneja puolijohdemateriaalista, kuten piistä. Tämä elektronien liike synnyttää sähkövirran. Kortetmäen (2023) esittämät yhdysvaltalaisen uusiutuvan energian tutkimus- ja kehityslaboratorion The National Renewable Energy Laboratory (NREL) saavuttamat tehokkuudet vuonna 2023 on esitetty Taulukossa 1. Hyötysuhteet kertovat kuinka paljon auringon säteilystä voidaan muuntaa sähköksi. Korkealla hyötysuhteella voidaan tuottaa enemmän sähköä neliometriä kohden verrattuna matalan hyötysuhteen paneeleihin.

Taulukko 1. Yleisten kenno- ja paneelityyppien ominaisuuksia (Kortetmäki, 2023, s. 41)

Kennotyyppi	Kennon hyötysuhde	Paneelin hyötysuhde	Hinta	Varjostus
Yksikiteinen pii	26,8 % ¹	24,7 %	€€€ ²	Herkkä
Monikiteinen pii	23,3 %	20,4 %	€€	Herkkä
Ohutkalvokenno (CdTe)	22,3 %	19,5 %	€€€	Sietää

¹ Hyötysuhteiden tarkkuudet vaihtelevat valmistajan sekä yksittäisten paneelien mukaan. Arvot ovat Kortetmäen kirjan sivulta 41.

² €-merkkien lukumäärä kuvaa kenno- ja paneelityyppien suhteellista hintaa toisiinsa nähden

2.1.4 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja on yksi tärkeimmistä komponenteista aurinkosähköjärjestelmässä. Vaihtosuuntaaja eli invertteri on laite, jolla muutetaan aurinkopaneeleista tuleva tasasähkö (DC, Direct Current) sähköverkossa käytettäväksi vaihtosähköksi (AC, Alternating Current). Invertteri asennetaan tarvittavien suojalaitteiden kanssa rakennuksen sähköpääkeskuksen ja aurinkopaneelien väliin asennusohjeiden mukaisesti. Inverttereitä löytyy muutamaa eri tyyppiä, mutta yleisesti ne voidaan jakaa kolmeen eri

tyyppiin: verkkoinverttereihin, joita kutsutaan joskus myös ketjuinverttereiksi (string-invertteri), off-grid inverttereihin ja mikroinverttereihin. Saatavilla on myös hybridi-invertteri, joka on mikroinvertteriä halvempi vaihtoehto, mutta kalliimpi kuin ketjuinvertteri. Hybridi-invertteri tukee hyvin akkujen latausta ja purkua. (Aurinkovirta, 2024). Esimerkiksi pientaloissa on usein yksi verkkoinvertteri, mutta vaihtoehtoisesti on mahdollista asentaa paneelikohtaiset mikroinvertterit. Mikroinvertterit ovat parempi vaihtoehto, jos osa paneeleista on varjossa. Koska mikroinvertterit ovat paneelikohtaisia, yhden paneelin joutuessa varjoon, muiden paneelien tuotanto ei laske.

Invertteri on joko 1- tai 3-vaiheinen. 1-vaiheinen invertteri kytketään vain yhteen verkon vaiheeseen, 3-vaiheinen taas kaikkiin kolmeen vaiheeseen. 3-vaihesella invertterillä saadaan yleensä suurin hyöty aurinkosähköjärjestelmästä, sillä tuotettu sähkö voidaan hyödyntää kaikissa kohteen sähkölaitteissa. Tehokkuus kuitenkin riippuu sähkölaitteiden ryhmittelystä. Piikkiteholtaan yli 3 kW:n järjestelmiin kannattaa valita 3-vaiheinvertteri, kun taas pienempiin järjestelmiin valitaan usein 1-vaiheinen invertteri. (Motiva a, 2024). Piikkiwatti on paneelien nimellisteho, joka on määritetty standardiolosuhteissa, joissa auringon säteily määrä on 1000 W/m^2 ja kennon lämpötila $25 \text{ }^\circ\text{C}$. 1000 W:n , tai 1 kW:n piikkiteho vastaa Etelä-Suomessa noin $800\text{--}1000 \text{ kWh}$ sähkön tuottoa vuodessa.

Aurinkosähköjärjestelmän tuotantopotentiaalin voidaan optimoida MPPT-säätimen, eli maksimitehopisteen seuraajan (Maximum Power Point Tracking) avulla. MPPT-säädin säätää aurinkopaneelien ulostulojännitettä toimimaan maksimitehopisteessä, jotta paneelit tuottaisivat sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella. Vaihtoehtoisesti voidaan hankita tasavirtaoptimoija, jolla maksimoidaan paneelien tehoa MPPT-säätimen tavoin. Tasavirtaoptimoijan asennetaan paneelikohtaisesti, jolloin saadaan tehokkaampi sähköntuotanto, jos osa paneeleista on varjossa, kuten mikroinvertterissä. Tasavirtaoptimoijalla ei kuitenkaan voi korvata invertteriä, vaan se on asennettava erikseen. (Motiva b, 2024)

2.2 Sähköntuotantoon vaikuttavat tekijät

Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotantoon vaikuttavat valittujen komponenttien lisäksi varjostus, vuodenaika, sääolosuhteet, maantieteellinen sijainti sekä paneelien kallistuskulma. (Motiva d, 2023) (Vattenfall a, n.d)

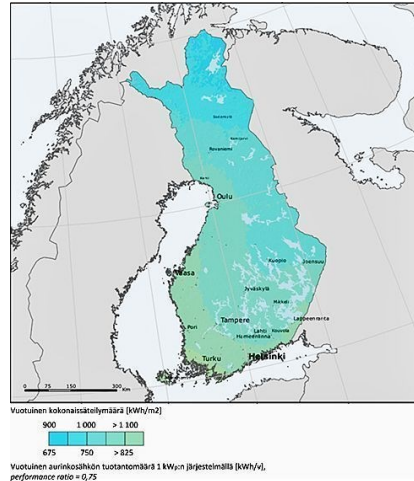
2.2.1 Auringonsäteilyn määrä Suomessa

Moni ei uskoisi aurinkovoiman olevan kannattavaa Suomessa pitkien ja pimeiden talvien vuoksi, mutta Etelä-Suomi on mittauksen perusteella samalla tasolla vuotuisen kokonais-säteilymäärän suhteen kuin Keski-Eurooppa. Kuvassa 2 esitetty säteilymäärä on optimaalisesti kallistetuille pinnoille Suomessa. Kuvassa 3 taas nähdään säteilyn määrä muissa Euroopan maissa. (Motiva e, 2024)

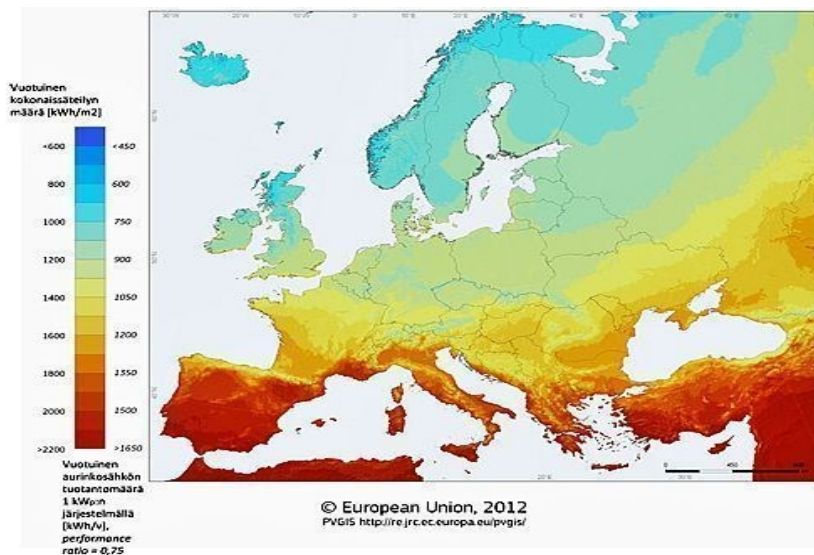
2.2.2 Varjostus

Pienikin varjostus vaikuttaa järjestelmän tuottoon. Jos yksikin kennoista varjostuu, niin sen varjostuneen kennon yli vaikuttaa negatiivinen jännite, mikä vähentää muiden kennojen tuottamaa tehoa. Perinteiset sarjaan kytketyt paneelit tuottavat sen virran, minkä paneeliketjun heikoin paneeli tuottaa. Tämä menetys on vältettävissä ohjausdioidien avulla. Varjostusta aiheuttavat puut, lumi, pilvet, lika ja toiset aurinkopaneelit, myös katolta löytyvät esteet tulee ottaa huomioon, kuten savupiiput ja kattoluukut.

Varjostuksen vaikutusta voidaan vähentää muutamalla eri vaihtoehdolla, kuten mikroinvertterillä, eli mikrovaihtosuuntaajalla, joissa 1–2 paneelia on kytketty omaan MPPT-säätimeen, half-cut-paneelit ovat jaettuna kahteen erilliseen sarjaan kytkentälohkoon, jolloin paneelien sisäiset ohitusdiodit kennot jakautuvat kuuteen ohitettavaan osaan, ja näin saataisiin pienten varjostusten kanssa parempi tuotto.



Kuva 2. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa. (Motiva e, 2024)



Kuva 3. Aurinkosäteilyn määrä Euroopassa. (Motiva e, 2024)

Suunnitteluvaiheessa (joko projektivastaava tai kuluttaja itse) varjostusta pystyy arvioimaan esimerkiksi Android-puhelimeen ladattavissa olevalla Sun position and path -ohjelmalla.

2.2.3 Lumen vaikutus

Talvella valoista aikaa on vähän, joten paneelien lumettomana pitäminen esimerkiksi lämmitysjärjestelmällä ei ole kustannustehokasta. Kallistuskulman vaihtaminen talveksi

lumen kerääntymisen estämiseksi ei myöskään ole kustannusmielessä järkevä vaihtoehto. Lumen vaikutus on hyvä ottaa huomioon, mutta tuottavin aika tulee olemaan kuitenkin kesäkuukaudet, sillä säteilymäärät 45 asteen kulmassa etelään päin suunnatulle pinnalle on huomattavasti suurempi huhti-syyskuussa, kuin lokamaaliskuussa. Paneelien asentaminen kesäkuukausien mukaan on siten kannattavinta. (Motiva e, 2024)

2.2.4 Paneelien kallistuskulma ja suuntaus

Suuntauksella viitataan aurinkopaneelien osoittamaan ilmansuuntaan. Suomessa paneelit suunnataan etelään mahdollisuuksien mukaan. Noin $\pm 15^\circ$ kulman muutoksella tuotot eivät vähene huomattavasti. Itään ja länteen suuntaaminen pienentää sähköntuotantoa vuositasolla jo merkittävästi. Itään ja länteen suuntaaminen voidaan kuitenkin perustella mihin aikaan päivästä sähkönkulutus painottuu. (Motiva d, 2023)

Optimaalinen katon kaltevuus aurinkopaneelien kannalta on noin 40–45 astetta, mutta 30–60 asteen kaltevuus toimii myös. Katon kaltevuuden oltaessa alle 30 astetta, tulee aurinkopaneeleja kallistaa sopivampaan kulmaan.

2.2.5 Sijainti ja sääolosuhteet

Maantieteellisessä sijainnissa sähköntuotantoon aurinkosähköjärjestelmässä vaikuttaa paikalliset sääolosuhteet, lämpötila ja auringonsäteilyn määrä vuodessa.

Sääolosuhteissa pilvisuus vähentää suoraa auringonsäteilyä, tästä kuitenkin syntyy hajavaloa, jota voidaan hyödyntää. Korkeat lämpötilat heikentävät paneelien suorituskykyä; viileämmillä olosuhteilla saadaan parempi tehokkuus. Lämpötila paneelien lähetyvillä voi nousta jopa 70 celsiusasteeseen. Jo muutaman asteen lämpötilan nousu yli standardisoidun testilämpötilan 25 °C heikentää tuotantoa noin prosentilla; paneelien heikkenemä on noin -0,3...-0,5 %/°C. (Kortetmäki, 2023, s. 54)

2.3 Voimalan sijoittelu- ja toteutusvaihtoehdot

Sijoittelun vaihtoehtoja voidaan tutkia tarkemmin SWOT-analyysin (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) avulla, jossa tutkitaan sisäisiä vahvuuksia ja heikkouksia, sekä ulkoisia mahdollisuuksia ja uhkia. (Pelin, 2011). Kappaleissa 2.3.1 ja 2.3.2 olen soveltanut SWOT-analyysia aurinkovoimalan katto- ja maa-asentamisen. Käytän analyysin tukena edellä esittämäni (2.2.1–2.2.5) voimalan sähköntuotantoon vaikuttavia tekijöitä.

2.3.1 Kattoasentaminen

Vahvuudet: Kattoasentamisen merkittävin vahvuus on jo olemassa olevan tilan hyödyntäminen. Erillisen maa-alueen hankinta ei ole siis tarpeellista. Lisäksi lyhyt johdotus tuotantopaikasta kulutuskohteeseen vähentää siirron aikaisia häviöitä.

Heikkoudet: Olemassa olevan tilan rajoitettu koko. Lisäksi katon geometria vaikuttaa aurinkopaneelien määrään.

Mahdollisuudet: Auttaa saavuttamaan suuremman energiariippumattomuuden kotitalouksissa. Hiilidioksidipäästöjen vähennys rakennusalalla.

Uhat: Sääolosuhteet, kuten lumen mahdollinen kertyminen ja voimakkaat tuulet voivat vahingoittaa järjestelmää. Lisäksi mahdolliset tarvittavat huoltotoimenpiteet ovat saattavat vaatia enemmän työtä kattoasennuksissa kuin maa-asennuksissa.

2.3.2 Maa-asentaminen

Vahvuudet: Maahan asennettua järjestelmää on mahdollista suurentaa katolle asennettua järjestelmää helpommin uusia paneeleja lisäämällä. Asennuksessa ei tarvitse huomioida katon kaltevuutta, joten sijoittelun optimointi parhaan aurinkosäteilyn saamiseksi on helpompaa kuin kattoasennuksissa. Lisäksi huolto ja ylläpito yksinkertaistuu, kun esimerkiksi lumen tai lian poisto paneeleista on helpompaa kuin kattoasennuksessa.

Heikkoudet: Maahan asennettu järjestelmä tarvitsee maa-alueen, joka saattaa olla suuri voimalan koosta riippuen.

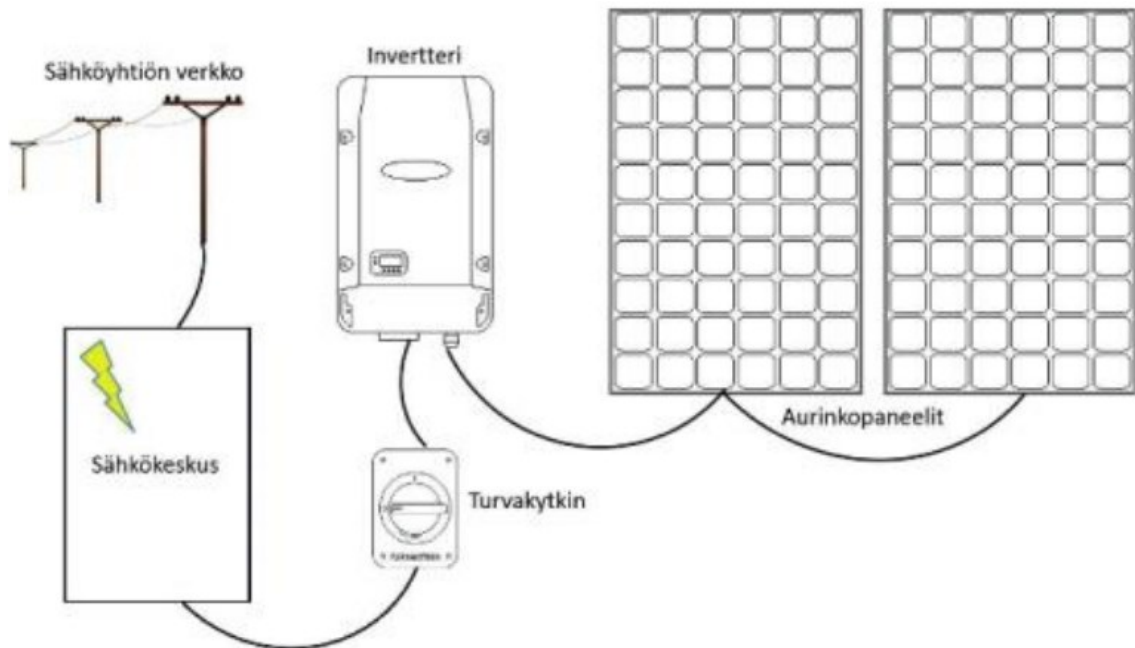
Mahdollisuudet: Järjestelmän yhdistäminen maatalouteen ja teollisuusalueelle lisäävät tuloja.

Uhat: Maa-asennukset ovat alttiita voimakkailla tuulille avoimella alueella, minkä vuoksi joudutaan valmistamaan erillinen asennusrakenne. Tämä taas nostaisi kustannuksia entisestään.

2.3.3 Toteutusvaihtoehdot

On-grid -järjestelmä on sähköverkkoon liitetty järjestelmä, joka on yleisin tapa tuottaa aurinkosähköä kiinteistöissä. On-grid-järjestelmä toimii verkon rinnalla siten, että aurinkosähköjärjestelmä syöttää laitteistoa, joka on yhdistetty yleiseen sähköverkkoon. Järjestelmä koostuu aurinkopaneeleista, kaapeloinnista, kaksisuuntaisesta kulutusmittarista ja invertteristä, joka muuntaa paneelien tuottaman tasavirran kotitalouksien ja sähköverkon käyttämäksi vaihtovirraksi, sekä näiden lisäksi muusta tarpeellisesta, kuten kytkimistä ja asennustarvikkeista. Sähköverkkoon kytketty järjestelmä ei toimi itsenäisenä sarakkeena ilman lisälaitteita, eli se ei yksinään takaa sähkönsaantia esimerkiksi verkon sähkökatkojen aikana. Tällöin tarvitaan akku, josta sähköä voitaisiin syöttää, jotta invertteri toimii. Lisäksi jos invertteristä ei löydy suojalaitteita ja tasavirtapiirin turvakytkimiä, on ne asennettava erikseen. Verkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä ylijäävä energia voidaan syöttää jakeluverkkoon, mistä voi saada hyvityksiä sähkönmyyjältä (Motiva a, 2024). Kuvassa 4 on esitetty yksinkertainen periaatekuva on-grid järjestelmästä.

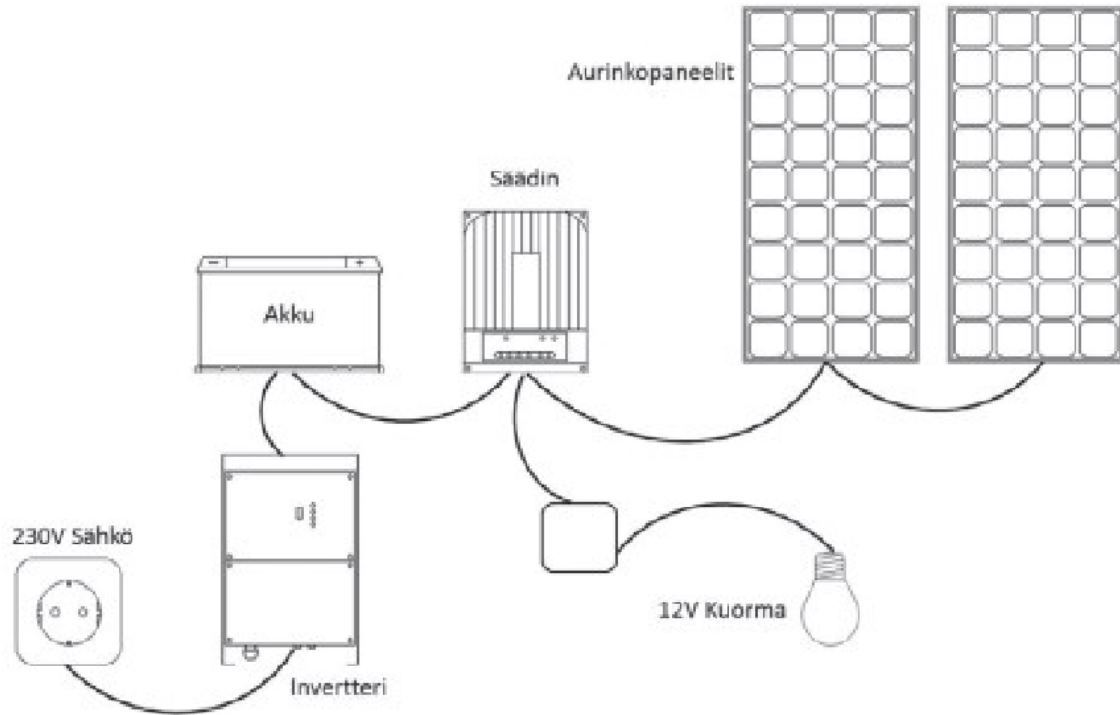
Off-grid -järjestelmä on sähköverkosta irti oleva järjestelmä, joka on käytössä omana järjestelmänään, eikä siis ole kytketty valtakunnalliseen sähköjakeluverkkoon. Tällainen järjestelmä sopii esimerkiksi mökeille, asuntovaunuihin, veneisiin tai pienissä laitteissa akkujen lataamiseen. Tässä järjestelmässä mukana on akku, johon tuotettu sähkö varastoidaan, jos sähköntuotanto ja -kulutus eivät osu samaan ajankohtaan. Osana järjestelmää on lataussäädin, joka asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin. Järjestelmän oikea mitoitus on tärkeää; tuotannon ja kulutuksen ajallinen vaihtelu tulee ottaa huomioon.



Kuva 4. On-grid järjestelmän periaatekuva. (Kortetmäki, 2023).

Akuista otettava tasavirta voidaan halutessa muuttaa vaihtovirraksi invertterin avulla, kuten on-grid -järjestelmässä. Akuston optimaalista latautumista voidaan avustaa MPPT-säätimellä, jonka avulla myös aurinkopaneelit saadaan tuottamaan sähköä mahdollisimman suudella hyötysuhteella. MPPT-säädin toimii myös on-grid -järjestelmässä. (Motiva b, 2024)

Off-grid-järjestelmä tunnetaan myös saareke- ja mökkijärjestelminä, eli se toimii omana verkkonaan (saarekkeena) akuston energiavarastoinnin avulla. Jos off-grid-järjestelmä on käytössä mökillä, ja käytössä ympäri vuoden tai energiankulutus on muuten korkealla, pelkkä aurinkosähköjärjestelmä ei välttämättä riitä. Tällaisissa tapauksissa on mahdollista lisätä aggregaatti tai halutessa pientuulivoimala. Aggregaattia on hyvä harkita myös siinä tilanteessa, jos esimerkiksi mökille haluaa suuria tehoja vaativia työkoneita (Kortetmäki, 2023, s. 59–60). Kuva 5 esittää yksinkertaisen off-grid järjestelmän periaatekuvan.



Kuva 5. Off-grid järjestelmän periaatekuva. (Kortetmäki, 2023, s. 59).

Hybridijärjestelmässä käytetään paneeleita sähkön tuottamiseen ja lämpöä kerääviä tyhjiöputki aurinkokeräimiä, joilla yleisimmin lämmitetään käyttövettä. Näin voidaan säästää sähkö- ja lämmityskuluissa. Näitä keräimiä on markkinoitu 1250 kWh:n vuosituotolla 3 m²:n keräysalalta (Tulituote Oy, 2025). Ne sopivat hyvin lämpimän käyttöveden ja vesikiertoisien lämmityksen tuottamiseen. Tähän tarvitaan kuitenkin hybridivaraaja, kuten Jäsperi GTV 500. Varaajalla tarkoitetaan aurinkolämmityksen käyttöön tarkoitettua käyttövedenlämmittintä, ei siis lämminvesivaraajaa. (Jäsperi, 2025)

3 Järjestelmän rakenne, mitoittaminen ja suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmän rakenne ja mitoitus vaikuttavat suoraan sen tuottopotentiaaliin, sillä liian pieneksi mitoitettu järjestelmä ei kata kohteen sähkönkulutusta, ja taas ylimitoitetulla järjestelmällä ei voida hyödyntää kaikkea sähköä omassa kulutuksessa.

Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon voimassa olevat standardit ja määräykset, jotka varmistavat sähköturvallisuuden ja luotettavan toiminnan. Muuta huomioitavaa on järjestelmän hankkijan saama taloudellinen tuki, jolla voidaan vähentää kustannuksia.

3.1 Järjestelmän kokoluokka

Järjestelmän kokoluokkaa suunnitellessa huomioidaan seuraavia tekijöitä: sähkönkulutus, paneelien asennustila, budjetti ja sijainti. Sähkönkulutuksen analysointi hoidetaan selvittämällä vuotuinen sähkönkulutus ja jakautuminen eri kuukausille. Mahdollisen tuotantopotentiaalin voi arvioida esimerkiksi PVGIS-laskurilla (Photovoltaic Geographical Information System). Laskuri perustuu useiden vuosien aikana tehtyihin satelliittimittauksiin auringon säteilyn voimakkuudesta ja lämpötilatilastoihin.

Järjestelmällä tuotetulla sähköllä kannattaa korvata mahdollisimman paljon aiemmin ostettua sähköä. Aurinkosähköjärjestelmä tulisi siis mitoittaa siten, että mahdollisimman suuri osuus tuotetusta sähköstä hyödynnetään kohteen omassa käytössä ja mahdollinen myytävä osuus olisi mahdollisimman pieni verrattuna kokonaistuotantoon. Ostosähkö hinnoitellaan yleensä Spot-hinnan mukaan. Sähköntuottaja saisi myymästään sähköstä suunnilleen saman hinnan kuin joutuisi maksamaan. Sähköenergiasta saatavat myyntitulot eivät kuitenkaan sisällä sähkönsiirron ja verojen osuutta. Tilanteen mukaan nämä voivat olla jopa kaksi kolmasosaa kokonaishinnasta, eli myydystä sähköstä saadut tulot voivat olla vain 1/3 verrattuna siihen, mitä ostetusta sähköstä maksetaan. Kuvassa 6 näkyy rakenne hyödyistä sähköä myydessä, tai itse käytettäessä. Myyntiin liittyvät kulut sisältävät verojen ja mahdollisen myyntimarginaalin, joka riippuu sähkömyyjästä.

Jakeluverkkoyhtiö voi lisäksi periä pientuottajan verkkoon syöttämästä sähköstä peruspalvelumaksua korkeintaan 0,07 c/kWh. (Motiva f, 2024)



Kuva 6. Sähkön osto- ja myyntihinnan rakenne. (Motiva f, 2024)

3.2 Järjestelmän komponentit

Järjestelmän komponentteihin kuuluvat aurinkopaneelit ja invertteri (eli vaihtosuuntaaja), joka muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasavirran kiinteistön ja sähköverkon käyttämäksi vaihtovirraksi. Invertterin on oltava yhteensopiva paneelien tehon kanssa ja täyttää sähköverkon vaatimukset. Johdotus ja liitännät; laadukkaat kaapelit ja liittimet varmistavat sähkön turvallisen siirron paneeleista invertteriin ja kiinteistön sähköverkkoon. Oikeanlainen johdotus minimoi energiankulutuksen häviöt ja parantaa tehokkuutta. Kiinnitystelineet varmistavat aurinkopaneelien turvalliseen kiinnitykseen tarvitaan asianmukaiset kiinnitysjärjestelmät.

3.3 Standardeja

Kaikista velvoittavin laki sähköasennuksia koskien, olivat ne sitten pieniä tai suuria järjestelmiä, on sähköturvallisuuslaki (1135/2016), joka vaatii asennusten tehtäväksi turvallisesti. Noudattamalla sähköturvallisuusviranomaisten määrittelemiä standardeja SFS-EN standardeja ja muita ohjeita (Tukes, S10-2023-luettelo) varmistutaan myös sähköturvallisuuslaista. Muita standardeja ovat SFS 6000 -standardit pienjänniteasennuksiin sekä SFS 607:2019 sisältämät standardit.

SFS 6000 -standardit pienjänniteasennuksiin on ensisijainen sähkötekni- ninen standardisarja, joka sisältää 41 kpl erillisiä standardeja, kuten suojaukset, johdinmitoitukset ja järjestelmien valinta.

SFS 607:2019 sisältämät standardeihin kuuluvat

- IEC 62548:2016:fi, Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset.
- SFS-EN 61724-1:2017, Aurinkosähköjärjestelmän suorituskyky. Osa 1: Valvonta.
- SFS-EN 61829:2016, Aurinkosähköpaneelisto. Laitteiston virta- jänniteominaisuuksien mittaaminen.
- 50380:2017, Aurinkosähköpaneelien merkintä- ja dokumentointivaatimukset.
- SFS-EN 62446-1:2016 + A1:2018, Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottotestit ja tarkastus (luvut 1–6). Kyseistä standardia on veloitettu aiemmin standardissa SFS 6000-7-712, mutta jatkuvien laiminlyöntien vuoksi standardi lisättiin suoraan viranomaisen vaatimiin soveltaviin standardeihin. (Kortetmäki, 2023, s. 9–10)

3.4 Järjestelmien hinta ja taloudellinen tuki

Aurinkosähköjärjestelmien hinta on alentunut aurinkopaneelien hintojen laskun ansiosta. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat suhteutetaan usein järjestelmän nimellistehoon. Pientalokokoluokan hinta oli keväällä 2021 noin 1–2 €/W. 5 kW:n järjestelmän hinta oli keväällä 2021 noin 5 000–7 000 euroa. Tällä järjestelmällä saisi vuodessa noin 4 000–4 500 kWh sähköä. Suurempi järjestelmä noin 9 000 kWh:n vuosituotolla maksaisi noin 9 500 €. (Vattenfall b, n.d)

Aurinkosähköjärjestelmien toteutukseen saatavien tukien määrä ja käytännöt vaihtelevat ajoittain, joten tietoa tuista kannattaa hakea hyvissä ajoin ennen projektin aloittamista. Esimerkiksi Valtion tukeman asuntorakentamisen keskus Varken kautta pystyi ennen hakemaan energia-avustusta vielä 2020–2023. (Varke, 2025) Energiatukea

voi hakea myös sellaisiin Suomessa toteutettaviin investointi- selvityshankkeisiin, joiden tavoitteena on edistää esimerkiksi uusiutuvan energian tuotantoa tai energiajärjestelmän muuttamista vähähiiliseksi. Tätä kuitenkin myönnetään yrityksille, kunnille tai muille yhteisöjen aurinkosähköhankkeille. (Työ- ja elinkeinoministeriö, n.d).

Lisäksi aurinkosähköjärjestelmien asennuskustannuksiin voi hakea kotitalousvähennystä. Kotitalousvähennys on verohelpotus, jota voi hakea, kun olet ostanut tiettyjä kotiin tai vapaa-ajan asuntoon liittyviä palveluita. Esimerkiksi vuonna 2025 verovähennettävien remonttikulujen maksimimäärä henkilöä kohden oli 1 600 euroa, kun taas vuonna 2024 se oli 2 250 euroa. Omavastuu on 150 euroa. Puolisoilta vähennys olisi yhteensä 3 200 euroa. (Vero.fi, 2025). On myös huomioitava, että öljylämmityksestä luopumisesta on myös mahdollista saada vähennystä. Tämän vähennyksen enimmäismäärä taas on 3 500 euroa.

4 Arvioitu sähköntuotanto

4.1 Vuosi- ja kuukausituotanto

Aurinkosähköjärjestelmän tuotto Suomessa vaihtelee huomattavasti vuodenaikasta sekä edellä mainituista tekijöistä, kuten varjostuksesta ja sijainnista. Yleisesti ottaen Etelä-Suomessa 1 kW:n aurinkosähköjärjestelmä tuottaa vuodessa noin 800–1000 kilowattituntia sähköä, mikä on samaa suuruus luokkaa kuin esimerkiksi Saksassa. Tämä tarkoittaa noin 4000–5000 kWh vuosituottoja 5 kW:n järjestelmällä. (Motiva g, 2024)

Kesäkuukausina, touko-heinäkuussa, tuotanto on huipussaan, talvikausina marraskuun ja helmikuun välisenä aikana taas melko vähäistä. Suomen olosuhteet ovat kuitenkin otolliset aurinkosähkön tuottamiseen, kesän pitkillä ja valoisilla päivillä saadaan takaisin talvella menetetty aurinkosähkö. Sähköntuotannon arvioinnissa apuna voi käyttää PVGIS-työkalua.

4.2 Tuotetun sähkön mitoitus

Paneelien määrä ja teho mitoitetaan sähkönkulutuksen ja käytettävissä olevan asennustilan mukaisesti. Invertteriä valitessa huomioidaan paneelien yhteenlaskettu teho muistaen, että invertterin tulee pystyä käsittelemään paneelien tuottama maksimiteho.

Monet invertterivalmistajat tarjoavat ilmaisen työkalun tarkistaa tuotetun sähkön määrä internet selaimen avulla. Yksi vaihtoehto on myös ostaa esimerkiksi SMA Solar -yhtiön Data Manager M -laite. Tämä kuitenkin maksaa n. 850 €, joten se on suositeltavaa vain ammattikäytössä, jossa ammattimaisempi tilastojen seuranta on tarpeellinen.

5 Johtopäätökset

Aurinkosähköjärjestelmää valitessa kuluttajalla on paljon eri vaihtoehtoja. Tavallisen kuluttajan kannalta paras vaihtoehto on luultavammin ottaa valmis paketti ja kilpailuttaa urakka hyvin. Ennen järjestelmän hankintaa tulisi jokaisen miettiä järjestelmän kannattavuutta. Kannattavuuteen vaikuttavat esimerkiksi järjestelmän tuotantomäärä ja -potentiaali, voimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä ja investointi € per kWh. Järjestelmän kannattavuutta voi edelleen tarkastella PVGIS-työkalun ohella Finsolar aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskurin avulla. Tämä laskuri on vapaasti saatavilla Excel-pohjainen kannattavuuslaskuri. Laskurissa on kuitenkin huomioitava, että siihen voidaan syöttää vain keskimääräiset (eli aurinkosähkön tuotannon aikaiset) sähkön osto- ja myyntihinnat sekä näille oletetut vuosittainen korotus. Laskuri löytyy osoitteesta Finsolarin nettisivuilta (Finsolar, n.d)

Järjestelmän kannattavuudessa tulee myös huomioida kokonaisinvestointi koko järjestelmän käyttöiän ajalta, mukaan lukien invertterin vaihto, joka tullaan vaihtamaan ainakin kerran paneelien eliniän aikana. Muut tarvittavat huoltotoimet voivat olla noin 5–10 % järjestelmän alkuinvestoinnista. (Kortetmäki, 2023, s. 82)

6 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli kertoa mitä huomioitavaa aurinkosähköjärjestelmäprojektin suunnittelussa on, millaisia erilaisia vaihtoehtoja järjestelmille on, mitkä odotukset järjestelmälle voidaan asettaa Suomessa ja järjestelmään kuuluvista komponenteista. Tärkeintä tällaista järjestelmää suunnitellessa on huomioida järjestelmiä koskevat lait ja standardit sekä viranomaisten ohjeet, ja tietenkin järjestelmän toteutuksessa asennusympäristö, sen vaikutukset energiantuotantoon ja tarvittaviin asennustarvikkeisiin.

Aurinkosähkön tuotantoon vaikuttavat eniten auringonsäteilyn määrä, paneelien suuntaus ja kallistuskulma, lumi ja varjostus sekä sääolosuhteet. Suomessa vuosittainen säteilymäärä muihin Euroopan maihin verrattuna kohtuullinen. Vaikka järjestelmän sähköntuotantoa pienentäviä kohtia on paljon, voidaan järjestelmän hankinta todeta kannattavaksi myös Suomessa, kunhan järjestelmän optimoi Suomen olosuhteet huomioon ottaen. Aurinkosähköjärjestelmien alentunut hinta, sekä mahdolliset taloudelliset tuet tekevät järjestelmän hankinnasta entistä kannattavamman.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa apuna voi käyttää Euroopan komission ylläpitämää verkkopohjaista PVGIS-työkalua. Työkalun avulla pystyy mitoittamaan kohteeseen sopiva järjestelmä, mikä on tärkeää kustannustehokkuuden kannalta.

Järjestelmän mitoittamisessa todettiin, että parhaan hyödyn aurinkosähköjärjestelmästä saa silloin, kun voimala mitoitetaan siten, että tuotetusta sähköstä käytetään mahdollisimman paljon itse ja myytävän sähkön määrä on-grid järjestelmässä on mahdollisimman pieni.

7 Lähteet

Aurinkovirta. (21.2.2024). Invertteri. Haettu 7.7.2025 osoitteesta <https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>.

Bellini, Emiliano. (30.5.2022). Fraunhofer ISE achieves 47.6% efficiency with III-V four-junction CPV cell. PV magazine. Haettu 1.6.2025 osoitteesta <https://www.pv-magazine.com/2022/05/30/fraunhofer-ise-achieves-47-6-efficient-for-iii-v-four-junction-cpv-cell/>.

Finsolar. (n.d). Kannattavuuslaskurit. <https://finsolar.net/kannattavuus/kannattavuuslaskurit/>

EPIA. (n.d). Photovoltaic energy: Electricity from the Sun. Haettu 8.6.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic_Energy_Electricity_from_the_Sun_EPIA.pdf

First Solar (2025). The Advantages of CDTE PV Technology. Haettu 8.6.2025 osoitteesta <https://www.firstsolar.com/Technology/CadTel>

Helsingin Energia. (15.5.2023). Suunnaton energianlähde. Haettu 8.6.2025 osoitteesta <https://www.helen.fi/artikkelit/2023/suunnaton-energialahde>

Irena. (2012). Renewable Energy Technologies : Cost Analysis Series. Haettu 8.6.2025 osoitteesta <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/138178/hydroponer.pdf>

Jäsپی. (2025). GTV Hybrid 500 energiavaraaja. Haettu 23.9.2025 osoitteesta <https://jaspi.fi/tuote/gtv-hybrid-500-energiavaraaja/>

Kortetmäki, A., Lehto, I., Heikkilä, T., Orrberg., Ylinen, M., Andersén, M., Nikander, M. (2023). Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Sähköinfo oy.

Lavaa, Anaa. (15.6.2024). The Complete Guide to Polycrystalline Solar Panel: Features, Working Principle, and Applications. Haettu 10.6.2025 osoitteesta https://www.linquip.com/blog/polycrystalline-solar-panel/#What_is_a_polycrystalline_solar_panel

Marsh, Jacob. (9.1.2023). Monocrystalline vs. Polycrystalline solar panels. Haettu 10.6.2025 osoitteesta <https://www.energysage.com/solar/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar/#what-are-monocrystalline-and-polycrystalline-solar-panels>

Motiva, a. (2024). Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Haettu 1.5.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Motiva, b. (2024). Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. Haettu 1.5.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma

Motiva, c. (2024). Aurinkosähköteknologiat. Haettu 10.5.2025 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahko_jarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva, d. (2024). Aurinkopaneelien asentaminen. Haettu 5.5.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen

Motiva, e. (2024). Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Haettu 3.5.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Motiva, f. (2024). Ylijäämäsiähkön myynti. Haettu 16.6.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

Motiva, g. (2024). Aurinkosähköljärjestelmän teho. Haettu 20.6.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho

Pelin, Risto. (2011). *Projektihallinnan käsikirja*. Otava.

SMA Solar Technology AG. (n.d). SMA Data Manager M infisivusto. Haettu 10.5.2025 osoitteesta <https://www.sma.de/en/products/monitoring-control/data-manager-m>

Solar Magazine. (2022). Thin-Film Solar Panels : An In-Depth Guide | Types, Pros & Cons. Haettu 4.6.2025 osoitteesta <https://solarmagazine.com/solar-panels/thin-film-solar-panels/>

Thompson, Valerie. (31.1.2025). Fraunhofer ISE, Oxford PV produce 25%-efficient perovskite-silicon tandem PV module. PV magazine. Haettu 1.6.2025 osoitteesta <https://pv-magazine-usa.com/2024/01/31/fraunhofer-iseoxford-pv-produce-25-efficient-perovskite-silicon-tandem-pv-module/>

Tulituote Oy. (2025). Tyhjiöputkikeräinpakettit. Haettu 23.9.2025 osoitteesta <https://tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/aurinkokeraimet/tyhjioputkipaketti-eivaraajaa>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2025). Energiatuki. Haettu 8.6.2025 osoitteesta
<https://tem.fi/energiatuki>

Varke. (2025). Haettu 8.6.2025 osoitteesta
<https://www.varke.fi/fi/henkiloasiakkaat/avustukset-henkiloasiakkaille/paattyneet-avustukset>

Vattenfall, a. (n.d). Näin aurinkosähkö ja aurinkopaneelit toimivat. Haettu 8.5.2025
osoitteesta <https://www.vattenfall.fi/aurinkopaneeli/aurinkosahkojarjestelma-toiminta/>

Vattenfall, b. (n.d). Aurinkopaneelien hinnat. Haettu 23.9.2025 osoitteesta
<https://www.vattenfall.fi/aurinkopaneeli/paketit-ja-hinnat/>

Vero.fi. (26.8.2025). Kotitalousvähennyksen määrä ja omavastuu. Haettu 27.8.2025
osoitteesta
<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/vahennykset/kotitalousvahennys/kotitalousvahennyksen-maara/>