



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ville Tikkanen

Aurinkosähköjärjestelmien yleispiirteitä ja tuotannon vertailua

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

15.2.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Tikkanen Aurinkosähköjärjestelmien yleispiirteitä ja tuotannon vertailua 41 sivua 15.02.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	ympäristötekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Kari Salmi tuoteryhmäpäällikkö Krista Jaatinen
<p>Opinnäytetyön aiheena oli aurinkosähköjärjestelmät ja tuotannon vertailu. Työssä tarkasteltiin yleisesti aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaatetta ja järjestelmän tuotannon arviointia toteutuneihin arvoihin nähden. Tämä vertailu ja sen tulokset voivat parantaa aurinkojärjestelmien myyjien arviointeja asiakkaan rakennuksen tuotantopotentiaalista.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin aurinkopaneelijärjestelmiä myyvälle yritykselle. Yrityksen kautta saatiin työssä tarvittavat tiedot asiakkaista ja muut materiaalit, joita on kerennyt kertyä jo toteutuneista kohteista. Työssä kerrottiin, miksi tämä opinnäytetyö on tarpeellinen yrityksen aurinkojärjestelmiä hankkivien asiakkaiden näkökulmasta. Tavoitteena oli lisätä yleisesti tietoisuutta aurinkopaneelijärjestelmistä ja tuoda lisää tietoa myyjien toimintaa tukemaan.</p> <p>Työn olennaisena osana oli vertailu tuotannon määrästä simulaation ja jo toteutetun kohteen välillä. Johtopäätöksenä saatiin tieto siitä, että simulaatio on tarkka niissä kohteissa, joiden tuotantoarvot ovat hyvällä tasolla. Simulaation antamat arviot tuotannosta ovat hieman liian optimistisia, joten tätä tullaan jatkossa säätämään hieman todellisempaan suuntaan. Ohjelman simulointiasetuksia muutettaessa on otettava myös huomioon, että simuloineilla haettiin optimaalista tilannetta aurinkoenergian tuottamiseen eri ilmansuuntiin olevissa jyrkkäkatteisissa rakennuksissa. Todellisuudessa tilanne ei useinkaan ole yhtä optimaalinen johtuen paneelien tuotantoa rajoittavista tekijöistä, kuten puiden aiheuttamista varjoista.</p>	
Avainsanat	Aurinkopaneeli, aurinkosähköjärjestelmä, tuotannon simulaatio

Author Title Number of Pages Date	Ville Tikkanen General Features and Energy Production of Photovoltaic systems 41 pages 15 February 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Environmental Engineering
Instructors	Principal Lecturer Kari Salmi Product Group Manager Krista Jaatinen
<p>The subject of this thesis was the general features and energy production of photovoltaic systems. During this thesis, the operation of the photovoltaic system was studied and the system's potential energy production was compared to actual values. This comparison and its results can improve solar system vendors' estimations of production potential at the customer's buildings.</p> <p>This thesis was made for a company which sells solar systems. The company provided the necessary information about customers and other material that had been collected from already completed projects was obtained. The thesis explains why this study of solar cell systems was necessary from the perspective of customers and vendors. The aim was to raise general awareness of solar systems and give more information to vendors to support their operations.</p> <p>An essential part of the work was a comparison of the amount of production between the simulation and the already implemented installation site. The conclusion was that the simulation is accurate for those sites whose solar systems have good production values. The estimates of production given by the simulation are a slightly too optimistic, thus this will be adjusted in a slightly more realistic direction in the future. In reality, the situation is often less optimal due to factors limiting the production of solar panels, such as shadows caused by trees.</p>	
Keywords	Solar panel, photovoltaic systems, production simulation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinko energianlähteenä	2
2.1	Aurinkojärjestelmät Suomessa	6
2.2	Aurinkojärjestelmät maailmalla	9
2.3	Aurinkoenergian hinta ja tuotannon kasvu	11
3	Aurinkosähköjärjestelmä	13
3.1	Aurinkopaneelin kennon toiminta	14
3.2	Aurinkopaneelin rakenne	15
3.2.1	Aurinkopaneelien erilaiset kennot	16
3.2.2	Erilaiset aurinkopaneelit	18
3.2.3	Yksi- ja monikiteisen paneelin vertailu	19
3.3	Invertteri eli vaihtosuuntaaja	20
4	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja rakennus	21
4.1	Energiantuotannon arviointi	22
4.2	Aurinkopaneelien suuntaus	22
4.3	Kunnossapito ja elinkaari	26
5	Aurinkojärjestelmien tuotannon seuranta	27
6	Aurinkosähköjärjestelmien tuotannon vertailu	31
6.1	Tuotannon simulointi	31
6.2	Todelliset kohteet ja vertailu simulointeihin	33
6.3	Johtopäätökset tuloksista	35
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	39

Lyhenteet

AC	Alternating Current, eli vaihtosähkö. Sähkövirran suunta muuttuu esimerkiksi 50 kertaa sekunnissa.
DC	Direct Current, tasasähkö. Jännite pysyy samana jatkuvasti, esimerkiksi akut ja aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa.
E-luku	Energiatehokkuuden vertailuluku. Energiamuotojen kertoimilla painotettu vuotuinen ostoenergian määrä rakennuksen vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden.
MPTT	Maximum Power Point Tracking. Menetelmä, jolla aurinkopaneeleista saadaan irti suurin mahdollinen teho.
Wp	Wattipiikki tarkoittaa aurinkopaneelin tuottamaa huipputehoa standardiolosuhteissa.

1 Johdanto

Aurinkojärjestelmien myyntimäärät ovat kasvaneet vuosittain kovalla vauhdilla (1). Mitä enemmän aurinkosähköjärjestelmiä rakennetaan, sitä enemmän ja tarkemmin niiden tuotantotietoja tutkitaan. Myynnin kasvun takia markkinoille on tullut erilaisia toimijoita, joiden lupaukset järjestelmän sähköntuotannosta ovat täysin epärealistiset ja tämä herättää kuluttajissa kysymyksiä. ”*Miksi naapurin aurinkopaneelit tuottavat enemmän? Miksi sähköä ei ole tullut myyjän arviointien mukaan?*” Tämä työ vastaa näihin ja moniin muihin kysymyksiin ja sen tavoitteena on auttaa yrityksiä ja kuluttajia ymmärtämään mistä tekijöistä koostuvat aurinkosähköjärjestelmä ja sen sähköntuotantopotentiaali.

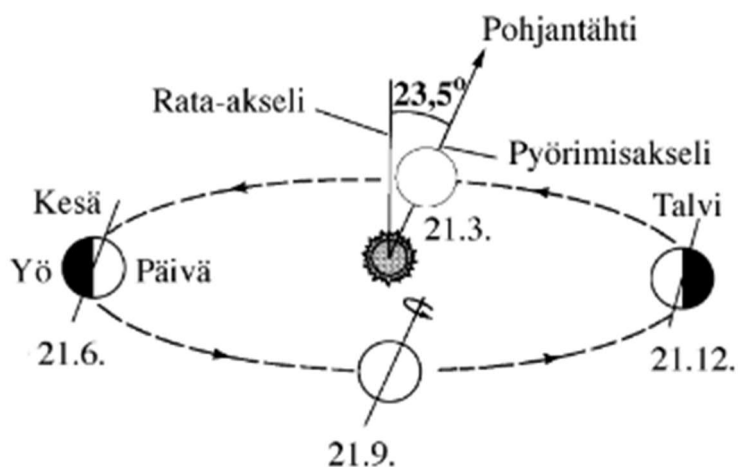
Opinnäytetyössä tarkastellaan tarkemmin tekijöitä aurinkopaneeleista saatavan sähkön tuotannon takana: aurinkoa ja sen synnyttämää säteilyä sekä hyödyntämistä sähkön tuotannossa, aurinkosähköjärjestelmien hinnan alenemista sekä järjestelmän eri komponentteja ja niiden toimintaa. Lopussa tutkitaan yrityksen myymiä aurinkopaneelijärjestelmiä ja niiden sähköntuotannon määriä kuvitteellisiin tietokoneella simuloituihin järjestelmiin verrattuna.

Työn tavoitteena on auttaa aurinkojärjestelmien myyjiä arvioimaan asiakkaan rakennuksen tuotantopotentiaalia entistä tarkemmin ja antaa näin asiakkaalle parempi arvio tuotannon määrästä. Tällä yritys voi välttää pettyneiden asiakkaiden palautteet sellaisissa tilanteissa, joissa aurinkosähköjärjestelmän tuotanto ei olekaan ostajan mielestä tarpeeksi suurta. Tämä lisää kuluttajien luottamusta yritykseen ja antaa asiakkaille merkin, että yritykseen voi luottaa myös muissa asioissa. Tämä insinöörityö on tehty aurinkopaneelijärjestelmiä myyvälle yritykselle.

2 Aurinko energianlähteenä

Aurinko on muodostunut aikojen saatossa tähtienvälisestä kaasusta, joka kiinteytyi palloksi oman painonsa vetämänä. Auringon muodostumisesta johtuneesta pyörteestä sinkoutui kiekoksi sen ympärille ainesta, josta muodostui planeetat, meteorit ja muut auringonkokunnan kappaleet. Vetyfuusio eli auringon käynnistyminen alkoi noin 4,6 miljardia vuotta sitten.

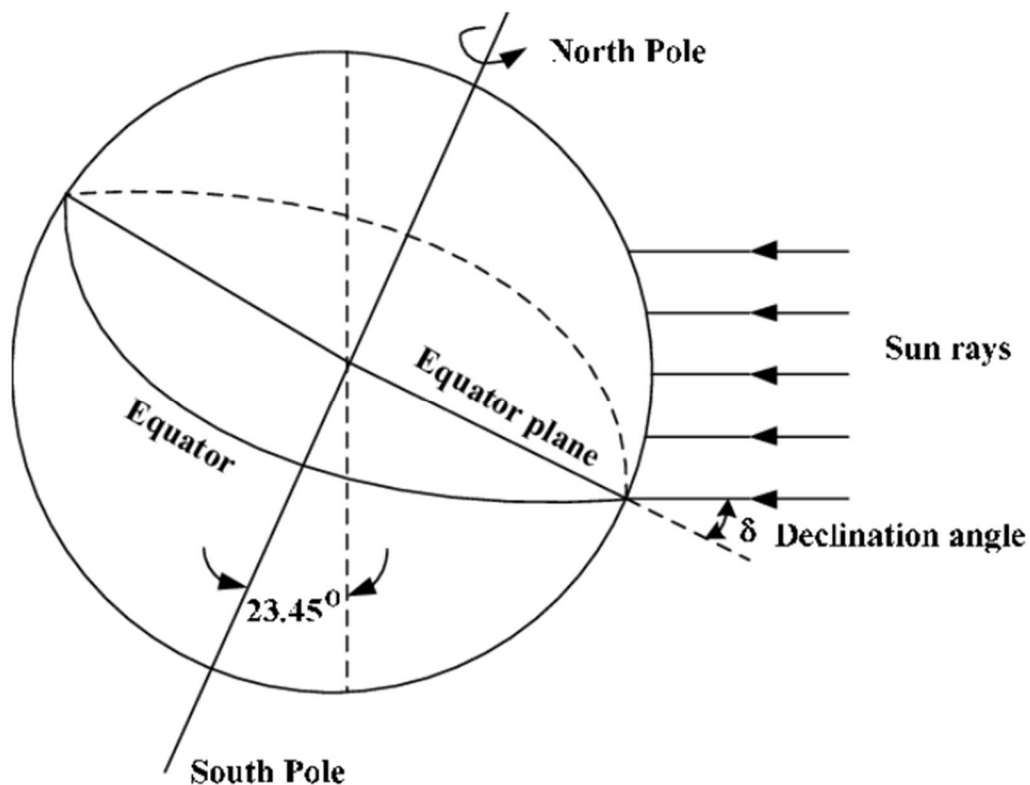
Kuvassa 1 nähdään kuinka maapallo kiertää auringon ympäri ellipsin muotoista rataa pitkin ja sen pyörimisakseli on kallistunut $23,5^\circ$ asteen kulmaan. Maapallon pyöriessä kallistuneen akselinsa ympäri kiertäessään samalla aurinkoa aiheuttaa auringon korkeuden muuttumisen eri vuodenaikoina ja näin ollen vuodenaikojen vaihtelun. Tämä on merkittävässä osassa aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua, koska suunnittelua tehdessä on otettava huomioon optimaalinen paneelien asennuskulma, joka riippuu auringon sijainnista. (2; 3.)



Kuva 1. Maapallon kiertorata auringon ympäri. (3.)

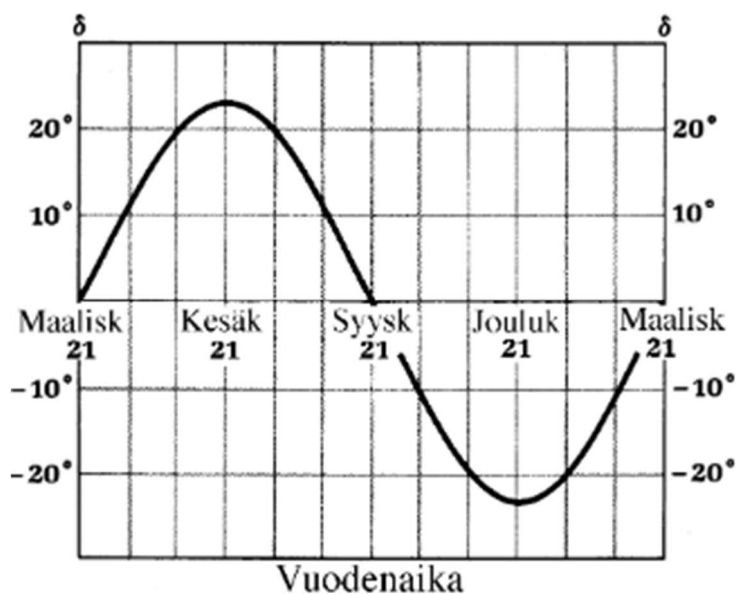
Auringon ja maapallon päiväntasaajan välistä korkeuskulmaa sanotaan deklinaatioksi. Deklinaatio on 0° kevätpäiväntasauksen aikaan, eli 21.3. jolloin aurinko paistaa suoraan päiväntasaajalle. Kesäpäivän seisahduksen eli 21.6. aikaan aurinko on Kravun kääntöpiirillä ja deklinaatiokulma on $+23,5^\circ$. Syyspäiväntasauksen aikaan eli 21.9. deklinaatio

on uudelleen 0° , kuten oli myös puoli vuotta aiemmin kevätpäiväntasauksen aikaan. Talvipäivänseisauksen aikaan aurinko on Kauriin kääntopiirillä ja deklinaatiokulma on tuolloin $-23,5^\circ$. Kuva 2 näyttää mistä kohtaa deklinaatiokulman vaihtelu mitataan. (4.)



Kuva 2. Deklinaatiokulma (4.)

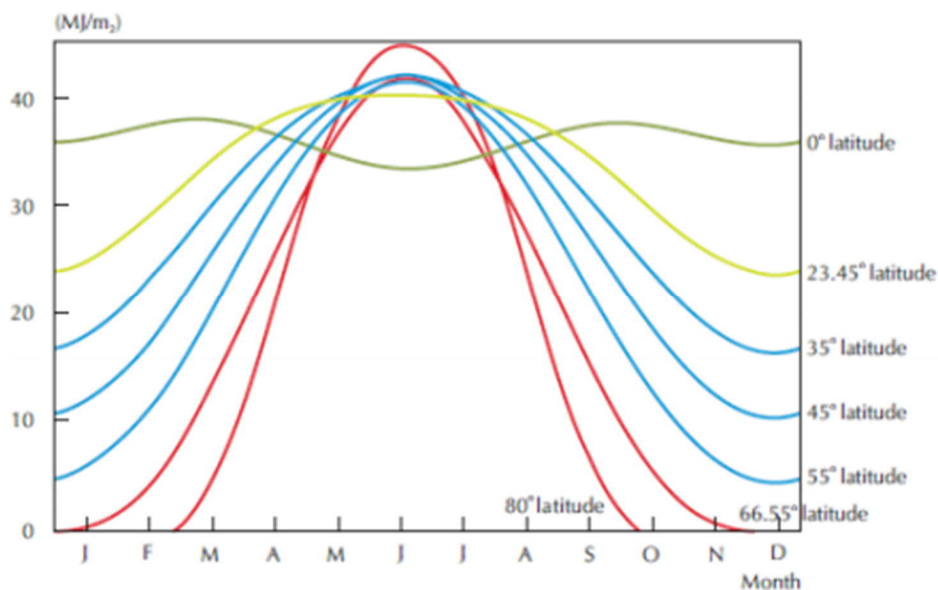
Tämä deklinaatiokulman vaihtelu tarkoittaa Suomen maantieteellisellä sijainnilla sitä, että aurinko paistaa hyvin matalalta talvisina vuodenaikoina. Kesäisin taas aurinko paistaa korkeammalta ja pidemmän aikaa. Kuva 3 näyttää tämän deklinaatiokulman vaihtelemisen Suomessa. Deklinaatiokulman vaihtelevuus tarkoittaa aurinkoenergian tuottamisen kannalta pohjoisen sijainnin omaaville kohteille huomattavasti erilaisempaa tuotantomäärien jakautumista eri kuukausille verrattuna esimerkiksi päiväntasaajaan.



Kuva 3. Auringon deklinaation vaihtelu eri vuodenaikojen mukaan. (3.)

Auringon tuottama säteily on maapallon merkittävin energianlähde. Energianlähteinä ainoastaan ydinvoima, geoterminen lämpö ja kuun vuorovesienergia ovat peräisin jostain muualta, kuin auringosta. Auringon säteily on auringossa tapahtuvan fuusioreaktion tulos, jossa vety muuttuu heliumiksi. Kyseessä on yhdistymisreaktio, jossa on kaksi protonia, kaksi neutronia ja kaksi vetyatomia ydintä. Auringossa fuusioituu sekunnin aikana 600 miljoonaa tonnia vetyä 596 miljoonaksi tonniksi heliumia ja näiden massojen erotus, neljä miljoonaa tonnia ainetta, muuttuu energiaksi. (2.)

Auringon maapallolle tuleva säteily määrä voidaan laskea aurinkovakion avulla. Se tarkoittaa sitä energiamäärää, joka tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän rajalla olevalle yhden neliömetrin kokoiselle pinta-alalle. Aurinkovakion arvo on Maassa noin 1368 W/m^2 . Tämä arvo vaihtelee molempiin suuntiin $\pm 3,5\%$ johtuen Maan kiertämästä radasta Aurinkoon nähden. Tästä määrästä ilmakehän läpi pääsee maanpinnalle noin 60 % eli $800\text{--}1000 \text{ W/m}^2$. Maan pinnalle yltävän säteilytehon määrään vaikuttaa vuodenaika, pilvisuus, ilmansaasteet ja vuorokaudenaika.



Kuva 4. Auringon säteilyenergian määrä pinta-alayksikköä [MJ/m^2] kohden vuoden eri kuukausina maapallon eri leveysasteilla. (19.)

Suomi sijaitsee leveysasteilla 60° – 69° , joten vuotuisen säteilyenergian kertova käyrä on varsin terävä muodoltaan. Pohjoisilla leveysasteilla säteilyenergian vuotuisen tuotannon määrä kompensoi kuitenkin valoisat kesäkuukaudet. Kesällä Suomessa auringon säteilymäärä ylittää jopa päiväntasaajan säteilymäärän vastaavalla ajanjaksolla, kuten kuvasta 4 nähdään. (19.)

Auringosta tulevia säteilytyyppejä on kolmea erilaista: hajasäteily, heijastunut säteily ja suora säteily. Suora säteily on normaalia auringosta tulevaa säteilyä. Hajasäteily on pilvistä tai ilmakehän epäpuhtauksista heijastunutta säteilyä. Heijastunut säteily on nimensä mukaisesti säteilyä, joka on heijastunut jostain kohteesta esimerkiksi veden- tai lumenpinnasta, tai vaikka rakennuksen julkisivusta. Suomessa keskimäärin noin 50 % maahan saapuneesta kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Pilvisellä säällä tämä luku voi nousta jopa 80 %:iin ja kirkkaana kesäpäivänä laskea 20 %:iin. (7.)

Taulukko 1. Kokonaissäteilyn määrien vertailua Helsingin ja Utsjoen välillä. Vertailussa käytetyt vuodet 1981–2010. (6.)

Kk Month	Kokonaissäteily MJ/m ² Global radiation					Kokonaissäteily MJ/m ² Global radiation					
	Karvo Mean	Absol ylin/max	V/Year	Absol alin/min	V/Year	Karvo Mean	Absol ylin/max	V/Year	Absol alin/min	V/Year	
301	VANTAA HELSINKI-VANTAA LENTOASEMA					9603	UTSJOKI KEVO				
1	31	47	2010	20	1988	2	3	2003	1	2004	
2	92	131	1994	61	1990	36	45	2010	28	2002	
3	232	315	2005	141	1992	177	212	2001	144	1985	
4	398	499	2004	290	1992	379	432	2009	303	1983	
5	583	665	2002	477	1987	484	588	1981	360	1983	
6	605	718	1992	498	1998	505	625	2002	399	1993	
7	614	735	2006	506	1996	455	561	1985	364	2001	
8	445	564	1997	330	2008	312	405	1994	244	1992	
9	259	341	1999	162	1984	159	206	2008	110	1992	
10	116	142	2005	93	1984	55	78	2009	39	1981	
11	35	52	1983	18	1984	6	8	2002	3	2000	
12	17	22	1995	9	1984	0	0	30/30	0	30/30	
Vuosi/ Year	3425	735		9		2570	625		0		

Taulukon 1 vertailussa on nähtävissä kuinka suuret erot kokonaissäteilyn määrissä Helsingin ja Utsjoen välillä on. Vaikka kesäisin aurinko paistaa koko vuorokauden Utsjoella, sen keskiarvo jää silti alle Helsingin vastaavaan. Mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä jyrkempään kulmaan paneelit yleensä asennetaan auringon sijaintikorkeuden takia.

2.1 Aurinkojärjestelmät Suomessa

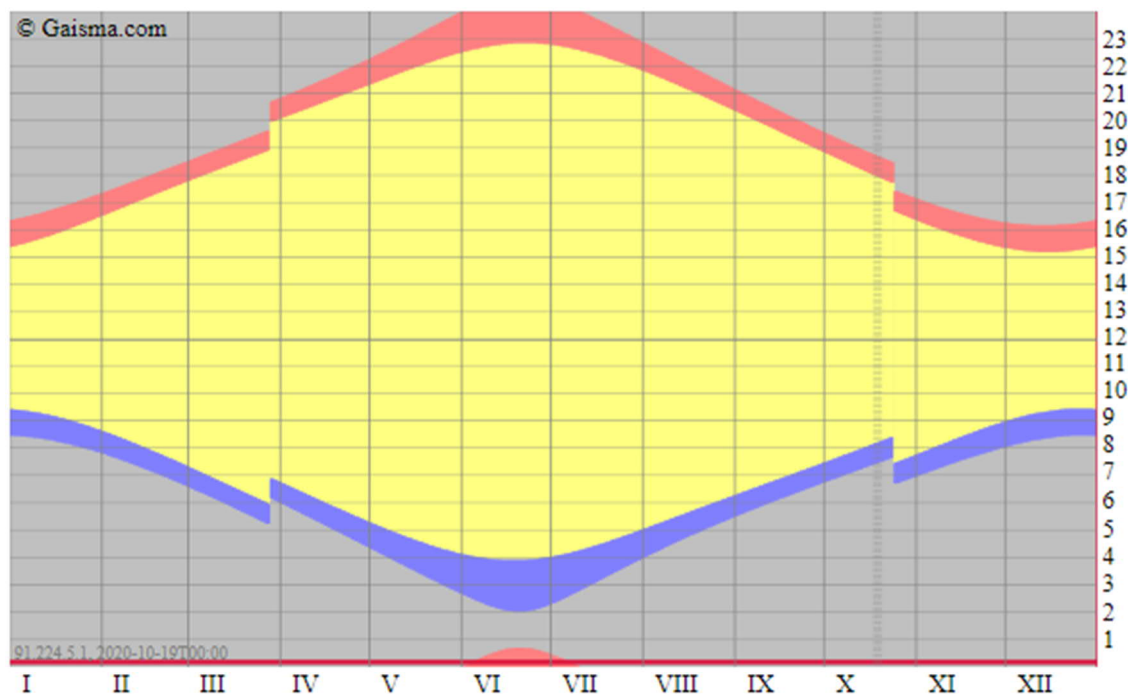
Suomen pohjoista sijaintia pidetään aurinkoenergiajärjestelmien hankkimisen kannalta rajoittavana tekijänä, mikä ei pidä kaikilta osin paikkaansa, kuten kuvan 5 karttakuvasta nähdään. Suomen etelä- ja lounaisrannikolla auringonsäteilyenergiaa tasaiselle pinnalle saadaan vuositasolla noin 950–1000 kWh/m². Tämä on lähes samaa luokkaa kuin Keski-Euroopassa. Mitä pohjoisempaan osaan Suomea mennään, sitä heikompaa on säteilyn taso. Keski-Suomessa säteilyenergian määrä on noin 890 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa 790 kWh/m². Tällöin eroa rannikkoseutuun nähden tulee noin 5–20 %. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että aurinkosähköjärjestelmää ei kannattaisi asentaa myös pohjoisimpiin osiin Suomea. Säteilymäärät ovat merkittävästi parempia, kun aurinkopaneelien kulmaa kasvatetaan nostamalla sen toinen reuna rakennuksen pinnasta.



Kuva 5. Auringonsäteilyn määrät Suomessa optimaalisesti suunnatulle ja kallistetulle pinnalle. (8.)

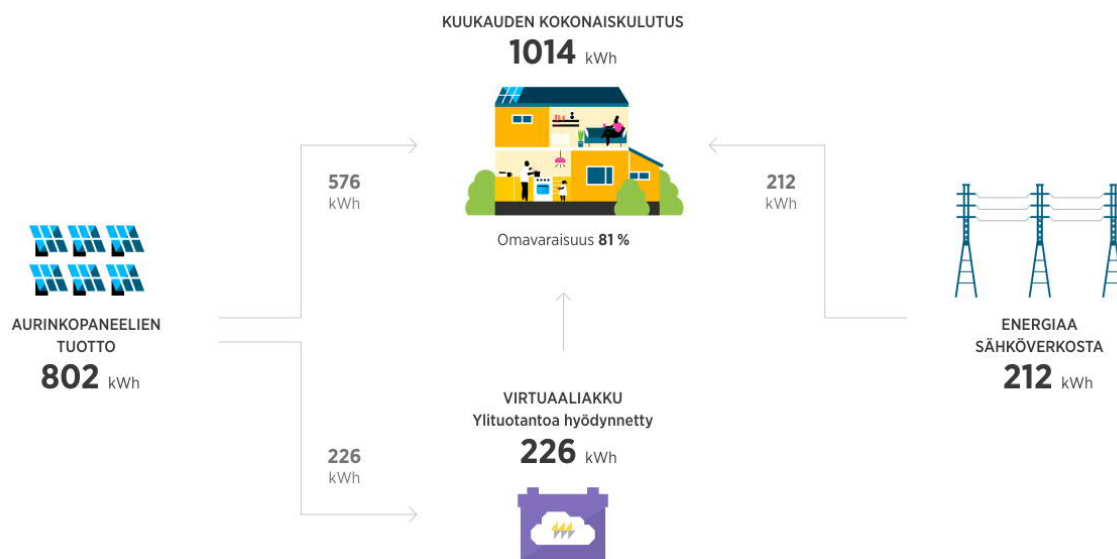
Suomessa auringosta tuleva säteilyn määrän jakautuminen eri kuukausille on hyvinkin erilainen verrattuna esimerkiksi Keski-Eurooppaan. Auringonsäteily keskittyy Suomessa pitkälti kesäkuukausille, jolloin aurinko voi paistaa Etelä-Suomessakin jopa 20 tuntia päivässä (Kuva 6). Talvella taas tilanne voi olla se, että aurinkopaneelit eivät tuota ollenkaan, koska auringon valon määrä on niin vähäinen eikä välttämättä riitä käynnistämään

aurinkojärjestelmää tuottamaan energiaa. Etelä-Suomen vuotuinen auringonsäteilyn määrä on yhteensä samaa luokkaa kuin esimerkiksi Pohjois-Saksassa ja Tanskassa. (8.)



Kuva 6. Päivän pituus Helsingissä. Taulukon alareunassa kuukausi ja oikealla kellonaika. Harmaa väri tarkoittaa pimeyttä, sininen aamun sarastusta, keltainen päiväaika ja punainen illan hämärtymistä. (10.)

Suomessa kesäkuukausina saattaa aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa helposti enemmän kuin kiinteistö kerkeää kuluttamaan, ja talvella kiinteistön sähkön tarpeeseen ei ole suurta apua auringosta odotettavissa. Tämän takia erilaiset sähkön varastointimenetelmät ovat kasvattaneet suosiotaan. Sähkön varastointi erinäisiin fyysisiin akkuihin kiinteistöissä myöhempää käyttöä varten on kallista, johtuen pitkälti akkujen korkeasta hinnasta. Tämän takia monet yritykset ovat alkaneet tarjota erilaisia vaihtoehtoja käyttää kesällä tuotettua energiaa muina vuodenaikoina. Helen Oy:n Virtuaaliakku -verkkopalvelu on hyvä esimerkki (Kuva 7).

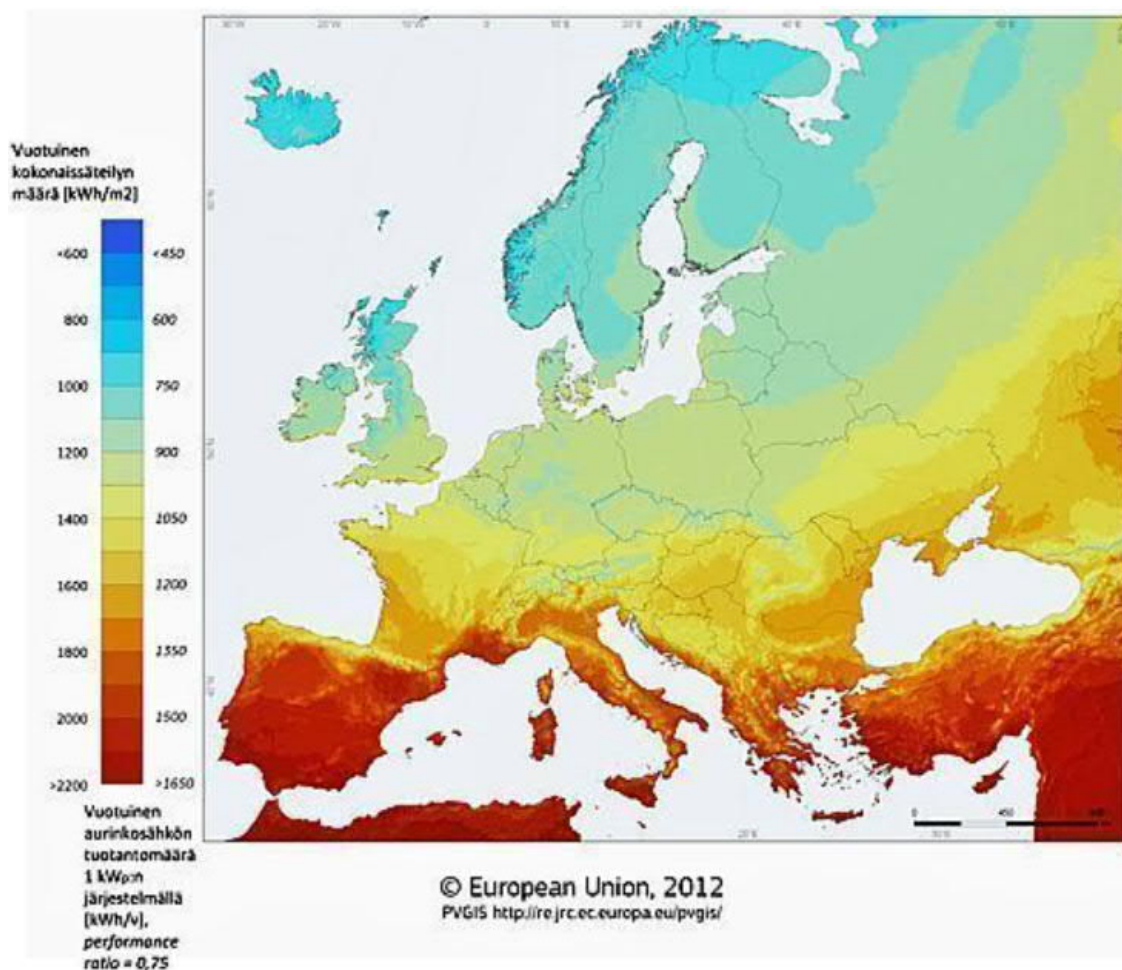


Kuva 7. Virtuaaliakku-näkymä Helen Oy:n Oma Tuotanto sivuilla (11.)

Jos aurinkosähköjärjestelmä tuottaa enemmän kesäisenä päivänä kuin kiinteistössä on sähkön kulutusta, ylimenevä energia, eli ylituotanto, menee sähköverkkoon päin muualla sähköverkon alueella käytettäväksi. Kiinteistön sähkömittari mittaa tämän yli menevän energian määrän, jonka tiedon verkkoyhtiö kerää talteen. Tämä tieto tulee asiakkaan käyttämään nettipalveluun nähtäväksi. Ylituotetun sähkön määrää vastaava hinta hyvi- tetään asiakkaan seuraavalla sähkölaskulla. Näin ollen asiakas ikään kuin varastoi ener- gian akkuun, mutta normaalista akusta poiketen, tämä tapahtuu virtuaalisesti. Ylituotetun energian hinta on 0,13 €/kWh, joka sisältää sähkönsiirron, veron ja sähkön hinnan. Kun asiakas käyttää virtuaaliakkuun säästettyä energiaa, asiakkaan seuraavalta sähkölas- kulta vähennetään hänen jokaista virtuaaliakkuun kerrytettyä kilowattituntia kohden 0,13 € (11.)

2.2 Aurinkojärjestelmät maailmalla

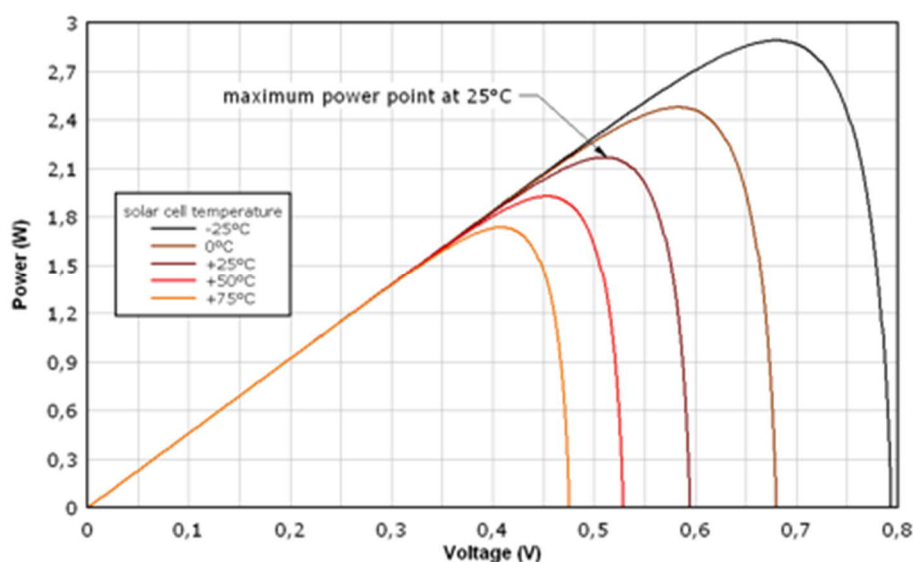
Vuotuinen säteilynmäärä auringosta kasvaa, mitä lähemmäs päiväntasaajaa mennään ja näin ollen myös aurinkosähkön tuotantopotentiaali (Kuva 8). Aurinkojärjestelmät ovat- kin vielä huomattavasti yleisimpiä eteläisimmissä maissa. Myös aurinkokeräimien määrä on suuri verrattuna pohjoisempiin maihin.



Kuva 8. Vuotuinen kokonaissäteilyn määrä [kWh/m²] Euroopassa vuonna 2012. (8.)

Esimerkiksi Portugalin Lissabonissa kokonaissäteilyn määrä jokaista neliometriä kohden vuodessa on jopa 1689 kWh, kuten kuvasta 8 nähdään ja ero Suomeen on huomattava. Suomeen verrattaessa on hyvä huomioida, kuinka vähän eroa vuotuisessa säteilyn määrässä esimerkiksi Hampuriin nähden. Näiden kahden ero on vuodessa vain muutamien kymmenien kilowattituntien verran. Suomi vertautuu siis todella hyvin Saksaan ja Saksa on kuitenkin maailman neljänneksi suurin aurinkoenergiantuottajamaa. Aurinkoenergian tuotannon kapasiteetti Saksassa vuonna 2018 oli 45 279 MW, kun Suomen vastaava lukema oli 125 MW. On tietysti hyvä huomioida potentiaalisten alueiden maantieteellinen koko, kun Saksassa voi hyödyntää hyvällä hyötysuhteella koko valtion laajuudelta. Suomessa vastaava potentiaalinen alue kattaa vain pienen osan. Silti Suomessa on paljon hyödyntämätöntä tuotantopotentiaalia. (8.)

Lämpimissä maissa tuotantoa rajoittavana tekijänä on korkeat lämpötilat, koska aurinkopaneeli toimii huonommin mitä kuumempänä paneeli käy. Kuvasta 9 nähdään paneelin käyttäytymiskäyrä jännitteen [V] ja tehon [W] suhteen, kun lämpötila paneelin pinnalla nousee.

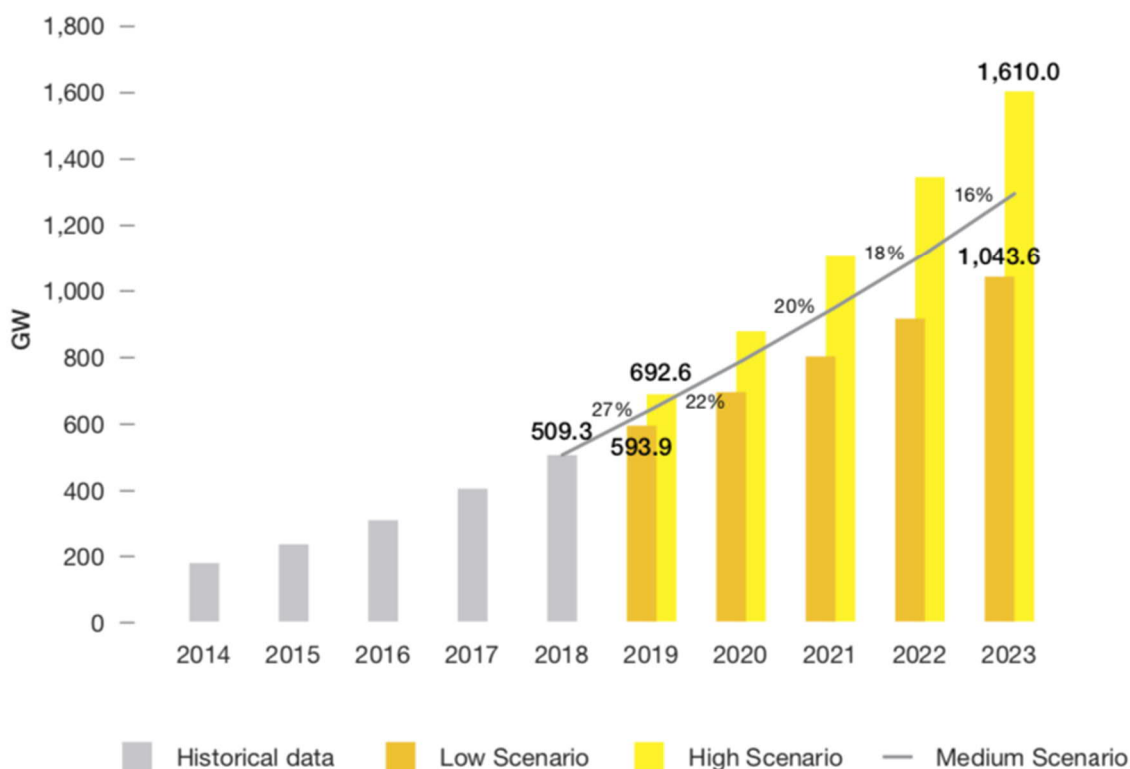


Kuva 9. Lämpötilan vaikutus paneelien tehontuotantoon (13.)

Piikidekennojen jännitteen lasku voi olla jopa noin -0,5 % jokaista lämpöastetta kohden. Kun lämpötila on nollassa, saadaan paneelista lähes 10 % enemmän tehoa kuin 25 °C lämpötilassa. Jos paneelin lämpötila on yli 55 °C, tuotannon lasku on jopa 10 % paneelin normaaliin tehoon verrattuna. Tämän vuoksi paneelit sijoitetaan katolle irti rakennuksen katosta, jotta ilmavirrat pääsevät jäädyttämään paneelia molemmiin puolin, jolloin aurinkopaneelit tuottavat paremmin. (12.)

2.3 Aurinkoenergian hinta ja tuotannon kasvu

Aurinkoenergia on tällä hetkellä nopeimmin kasvava sähköntuotantomuoto maailmassa, ja varovaistenkin ennustusten mukaan aurinkoenergian tuotantokapasiteetti kasvaa yli terawattiin vuoteen 2023 mennessä (Kuva 10). Tätä voidaan pitää todella isona määränä, kun vuonna 2018 kapasiteetti oli vain noin 509 gigawattia. (14.)



Kuva 10. Arvioitu kasvu aurinkoenergian tuotantokapasiteetissa. (14.)

Syynä tälle nopealle kasvulle on teknologian nopea kehitys ja tästä johtuva aurinkopaneelien hintojen aleneminen. Aurinkopaneelien valmistusprosessia on saatu optimoitua, ja paneelien tehoa parannettua. Vuonna 2013 pienet verkkoon liitetyt aurinkopaneelijärjestelmät maksoivat asennettuna globaalissa vertailussa noin 1,5 €/Wp [alv. 0 %]. Wp eli wattipiikki tarkoittaa aurinkopaneelin tuottamaa huipputehoa standardiolosuhteissa. Saksassa vuoden 2018 lopussa jokainen Wp maksoi noin 1,1 €. Suomessa taas arvonalisäverollinen hinta oli vuonna 2019 noin 1,3–3 €/Wp. Tähän laajaan hintahaitariin vaikuttaa järjestelmän koko, asennuksen kohde, toimittaja ja toimitustapa. Hinta koostuu suunnittelutyöstä, asennuksesta ja järjestelmän tarvikkeista. Kohteena olevan rakennuksen tyyppi vaikuttaa myös hintaan. Korkea rakennus vaatii yleensä nosturin käyttöä tavaroiden siirrossa ja asennustyö on erilainen verrattuna, esimerkiksi matalampaan rakennukseen. (15.) Aurinkojärjestelmiin ja niiden hintaan vaikuttaa isolta osin myös rakennuksen sijainti, koska tuulen määrässä esiintyy vaihteluja, mikä voi aiheuttaa isoja tuulikuormia paneeleille. Tämän takia kiinnitysjärjestelmiin voi kulua paljonkin enemmän rahaa meren lähellä, jos verrataan esimerkiksi sisämaahan.

Asennettavalle aurinkosähköjärjestelmälle on mahdollista saada rahallista tukea eri tahoilta. Näiden korvausten määrät vaihtelevat sadoista euroista jopa kymmeneen tuhansiin euroihin.

Vuonna 2020 voimassa olevat tukimuodot:

- Yksityishenkilöt:
 - kotitalousvähennys
 - Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen [ARA] energia-avustus
- Asunto-osakeyhtiöt ja ARA-yhteisöt:
 - ARA:n energia-avustus
- Yritykset, kunnat ja muut yhteisöt:
 - työ- ja elinkeinoministeriön energiatuki.

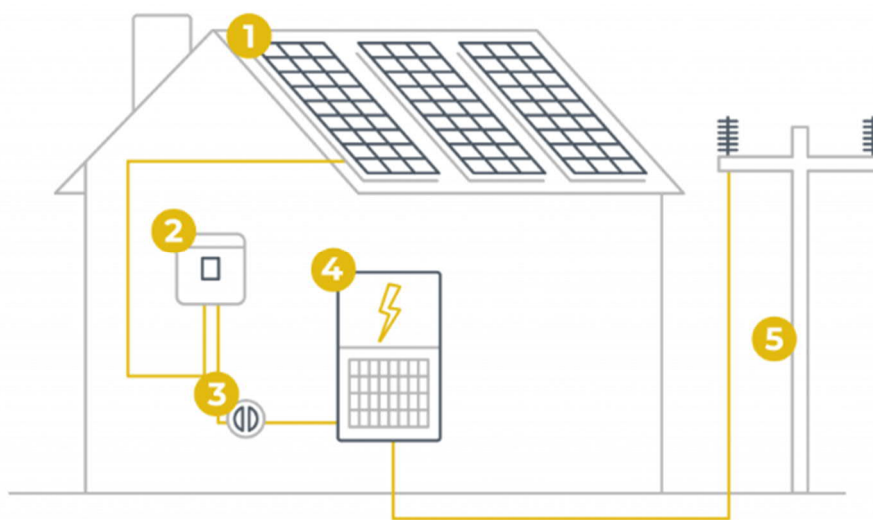
Saadakseen tukea esimerkiksi asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen eli ARA:lta rakennuksen tulee täyttää ARA:n asettamat vaatimukset, kuten energiatehokkuutta mittaavan E-luvun korottaminen parempaan luokkaan. Tämä edellyttää E-luvun mittauksen tekemistä ennen ja jälkeen järjestelmän asennuksen, ja mikäli tarvittavat muutokset vaikuttavat lukuun, tukea on mahdollista saada. (16.)

3 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu viidestä eri osiosta, mikä on esitetty kuvassa 11. Ensimmäinen osio on katolla tai muualla hyvällä aurinkoisella paikalla sijaitsevat aurinkokennoista koostuvat aurinkopaneelit. Toinen aurinkosähköjärjestelmän osioista on invertteri eli vaihtosuuntaaja, jonka tarkoituksena on muuttaa aurinkopaneelien tuottama tasasähkö [DC] vaihtosähköksi [AC]. Kolmas osio on järjestelmän turvallisuuden tärkein

komponentti eli turvakytkin. Turvakytkimestä saadaan koko järjestelmä sammutettua ja tehtyä turvalliseksi korjata, koska sen jälkeen siinä ei kulje virta. Neljäs osio on talon sähkökeskus, johon tuotettu sähkö ohjataan talossa käytettäväksi. Viides osio on sähköverkko, jonne ylituotanto ohjataan. (17.)

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ



1. Aurinkopaneelisto 2. Invertteri eli vaihtosuuntaaja 3. Turvakytkin 4. Talon sähkökeskus 5. Sähköverkko

Kuva 11. Aurinkosähköjärjestelmän rakenne (17.)

Tämän yllä esitetyn lisäksi aurinkosähköjärjestelmään voidaan liittää esimerkiksi akkujärjestelmä sähköön varastointia varten. Nämä ovat vielä suhteellisen harvinaisia johtuen niiden kalliista hinnasta.

3.1 Aurinkopaneelin kennon toiminta

Aurinkopaneelien toiminta perustuu puolijohdetekniikkaan ja sen valosähköiseksi ilmiöksi kutsuttuun fysikaaliseen reaktioon. Kyseisessä ilmiössä sähkömagneettinen säteily ja sähköinen varaus ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Siinä puolijohteen sisältämät

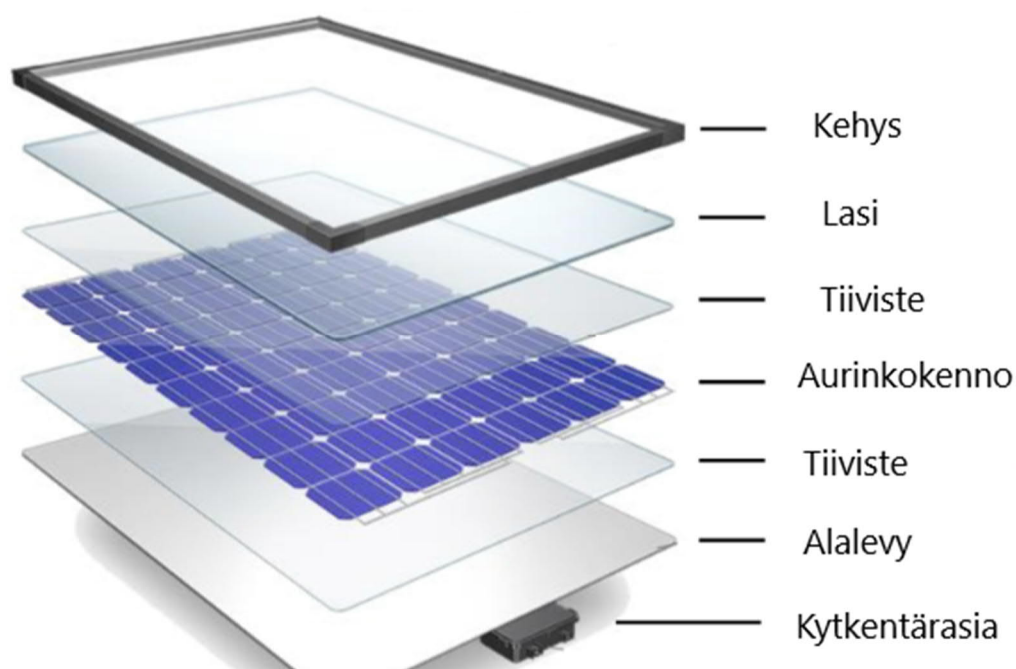
elektronit irtautuvat atomiytimen vetovoimasta sähkömagneettisesta säteilystä saamansa suuren energian määrän turvin, eli fotonit absorboituvat atomiin, minkä takia siitä irtautuu elektrodi. Fotonit antavat energiansa elektrodille ja katoavat. Kun elektrodit ovat keränneet riittävän suuren energian, elektrodit vaihtavat paikkaa valenssivyöltä johtavuusvyölle jättäen tyhjän paikan valenssivyölle, jota kutsutaan aukoksi. Aukko on varaukseltaan positiivinen ja kykenee kuljettamaan sähkövirtaa. Tämän valosähköisen ilmiön havaitsi ensimmäisen kerran saksalainen fyysikko Heinrich Hertz vuonna 1887 tutkiessaan kipinän liikkumista kahden sähköisesti varatun levyn välillä valon säteilyä hyödyntäen. (18.)

3.2 Aurinkopaneelin rakenne

Aurinkopaneeli koostuu suuresta määrästä sarjaan kytkettyjä aurinkokennoja. Aurinkopaneelin tuottama sähkövirta on tasasähköä. Tasasähkö voidaan muuttaa invertterillä eli vaihtosuuntaajalla rakennuksissa normaalisti hyödynnettäväksi vaihtosähköksi tai käyttää myös sellaisenaan, jos rakennuksen sähköjärjestelmä sen mahdollistaa.

Yleisin aurinkokennoissa käytettävä materiaali on pii. Pii on lähinnä hiekasta ja kivistä saatava maankuoren toiseksi yleisin alkuaine. Yleensä aurinkokennoissa käytettäviä materiaaleja ovat yksikiteinen pii, monikiteinen pii, galliumarsenidi ja amorfinen pii. Piin lisäksi aurinkokennoissa käytetään useita eri metalleja, jotka toimivat komponentteina kennoissa tai joiden avulla voidaan parantaa kennojen energiantuotannon tehokkuutta.

Aurinkokennon rakenne muodostuu kahdesta puolijohdekerroksesta, jotka erottavat toisistaan niiden välissä oleva rajapinta. Toisella puolella rajapintaa on n-tyyppin puolijohde ja toisella p-tyyppin puolijohde. Puolijohde toimii normaalissa olosuhteissa eristävänä tekijänä, mutta energian osuessa siihen se muuttuu sähköä johtavaksi rakenteeksi. Näin kennoon muodostuu sisäinen sähkökenttä elektronien kasautuessa rajapinnan puolelta toiselle jättäen samalla toiselle puolelle rajapintaa tyhjiä aukkoja. Aurinkopaneeli koostuu yleensä 60:stä tai 72 kennoista, jotka on aseteltu sopivaan kehykseen. Aurinkopaneeli on monikerroksinen rakennelma, kuten kuvasta 12 nähdään.

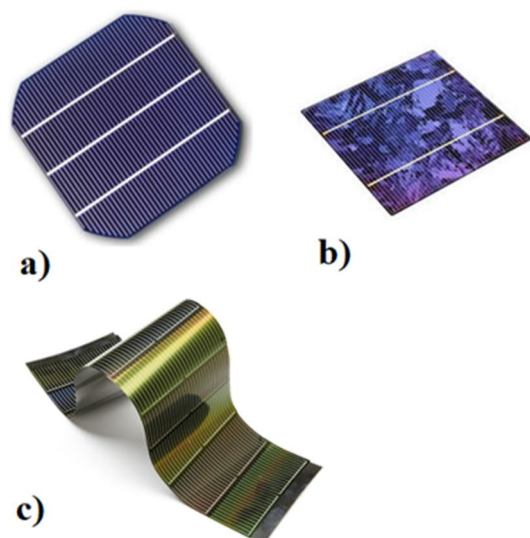


Kuva 12. Aurinkopaneelin rakenne. Alkuperäiseen kuvaan on lisätty suomenkieliset selvennykset (20.)

Aurinkokennosto on suojattu lasin ja tiivistein, jotta se täyttää säiden vaihtelujen aiheuttamat haasteet. Aurinkopaneelit kestävät lumen, jään ja lämpötilan vaihtelut loistavasti. KytKentärasia ja siihen kytketyt kaapelit, jotka kulkevat aurinkopaneelin alapuolella ovat suurimmassa rasituksessa esimerkiksi keväällä, kun katolla olevat lumet alkavat sulaa ja valua katolta alas. Aurinkopaneeleissa on yleensä IP-luokituksena 65 tai 67. (18; 19.)

3.2.1 Aurinkopaneelien erilaiset kennot

Aurinkopaneeli muodostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Aurinkopaneeleissa käytetään yleensä kolmea erityyppistä kennoa, jotka näkyvät kuvasta 13. Nämä kennot eroavat toisistaan, niin tekniikaltaan, kuin myös valmistusmenetelmältään. Yksi- ja monikiteiset kennot ovat ulkonäöltään lähes samanlaisia, mutta ohutkalvokennot ovat merkittävästi erilaisia. Ohutkalvokennot ovat nimensä mukaisesti hyvin ohuita ja täten myös taipuisia.



Kuva 13. a) Yksikiteinen kenno (21.), b) monikiteinen kenno (23.) c) ohutkalvokenno. (25.)

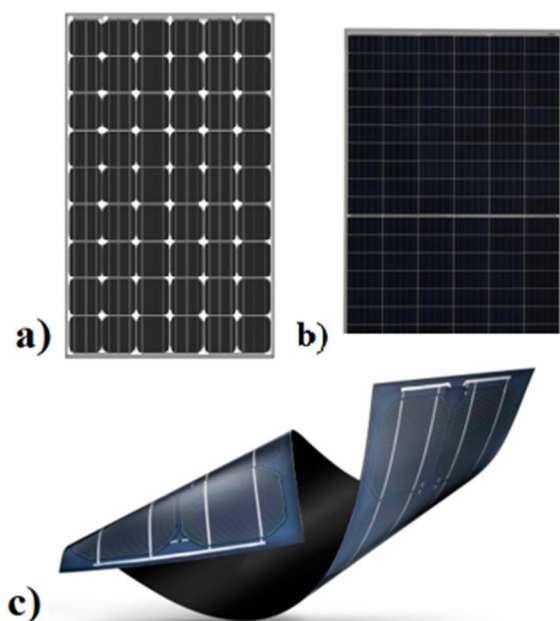
Yksikiteinen aurinkokenno muodostuu yhdestä isommasta piikiteestä, joka on sahattu kiekkoiksi. Tämä yksi kiekko muodostaa aurinkopaneelin kennon. Yksikiteinen piikkenno on helppo tunnistaa aurinkopaneelistä sen pyöreistä kulmista. Yksiteisen piin etu monikiteiseen verrattuna on hieman parempi hyötysuhde, koska paneelin yhdenmukainen kiderakenne vähentää syntyviä häviöitä. Yksikiteinen kenno on myös hieman kalliimpi kuin vastaava monikiteinen johtuen hitaammasta ja vaativammasta valmistusprosessista. (21.)

Monikiteinen kenno on teknisiltä ominaisuuksiltaan lähes samanlainen kuin yksikiteinen kenno. Se on edullisempi valmistaa kuin yksikiteinen kenno, sillä se ei vaadi niin huolellista valmistusprosessia, ja materiaalihävikkiä syntyy vähemmän. Monikidekennojen valmistus tapahtuu valamalla, jolloin niihin muodostuu monikiteiselle kennolle tyypillinen kiderakenteen muoto. Atomien paikat kennossa eivät ole tarkkaan määriteltäviä, kuten yksikiteisessä kennossa, vaan ne ovat täysin sattumanvaraisia. Monikiteisen paneelin hyötysuhde on aavistuksen verran pienempi kuin yksikiteisen paneelin, vaikkakin se kerää paremmin hajasäteilyä kuin yksikiteinen paneeli. Huonompaan hyötysuhteeseen on syynä kennon kiteinen rakenne, joka häiritsee elektronien liikettä. (23.)

Ohutkalvo aurinkokennojen materiaalina käytetään yleensä amorfista piitä ja niiden valmistus eroaa merkittävästi perinteisistä piikenneista. Sen kiderakenteessa atomit asetuvat epäjärjestykseen amorfisen piin valmistuksessa käytettävän höyrystysmenetelmän avulla. Ohutkalvopaneelien paksuus on noin 10–100 kertaa pienempi kuin tavallisten pii-pohjaisten aurinkokennojen rakenne. Ohutkalvokennojen valmistukseen kuluu myös merkittävästi vähemmän raaka-aineita kuin yksi- tai monikiteisen kennon teossa, minkä vuoksi myös aurinkopaneelin valmistuskustannukset ovat alhaisemmat. Joustavan rakenteen takia ohutkalvopaneeleita voidaan asettaa myös kaareville pinnoille. Ohutkalvopaneelien huonona puolena on niiden heikompi tekninen kestävyys verrattuna tavallisiin paneeleihin ja niiden hyötysuhde on merkittävästi heikompi. Ohutkalvokennojen hyötysuhde on kuitenkin parantunut viimeisen parin vuoden aikana merkittävästi ja myynti on ollut selvässä nousussa aurinkopaneelimarkkinoilla. Paneelin joustavan rakenteen ansiosta se on helppo asentaa mitä erikoisimpiin pintoihin kiinni, joihin tavallisia aurinkopaneeleja ei voisi asentaa. (25.)

3.2.2 Erilaiset aurinkopaneelit

Aurinkopaneeli muodostuu 60:stä tai 72 kennosta. Yksikiteisiä kennoja sisältävä paneeli on yksikiteinen aurinkopaneeli, monikiteisiä kennoja sisältävä vastaavasti monikiteinen aurinkopaneeli. Aurinkopaneelin tyyppi on yleensä nähtävissä helposti myös sen nimestä ja tuotekoodista. Yksikiteisten paneelien nimessä esiintyy kirjainyhdistelmä ”MR” tai sana ”Mono”, kun taas vastaavasti monikiteisessä paneelissa ”PR” tai ”Poly”. Paneelit voivat olla ulkonäöltään hyvin monenlaisia, kuten kuvasta 14 nähdään ja se noudattaa aurinkokennojen tyyliä. Ohutkalvopaneelit voivat olla minkä muotoisia tahansa ja niitä voidaan asentaa lähes joka paikkaan.



Kuva 14. a) Yksikiteinen aurinkopaneeli (22), b) monikiteinen aurinkopaneeli (24), c) ohutkalvo-paneeli (26).

Aurinkojärjestelmään valittavien aurinkopaneelien valintaan vaikuttaa usein niiden soveltuvuus kohteeseen ja hinta. Katon ollessa tasainen ja niitä varjostavien tekijöiden määrä vähäinen, käytetään yleensä yksi- tai monikiteistä paneelia riippuen hinnasta ja asiakkaan mieltymyksistä esimerkiksi värin suhteen. Ohutkalvopaneeleita asennetaan yleensä, jos rakennuksen katon materiaali sekä muoto on jotenkin erikoista. Ohutkalvopaneelit eivät kestä samanlaista rasitusta kuin tavalliset aurinkopaneelit, joten niiden käyttö on vielä suhteellisen harvinaista. (22; 24; 26)

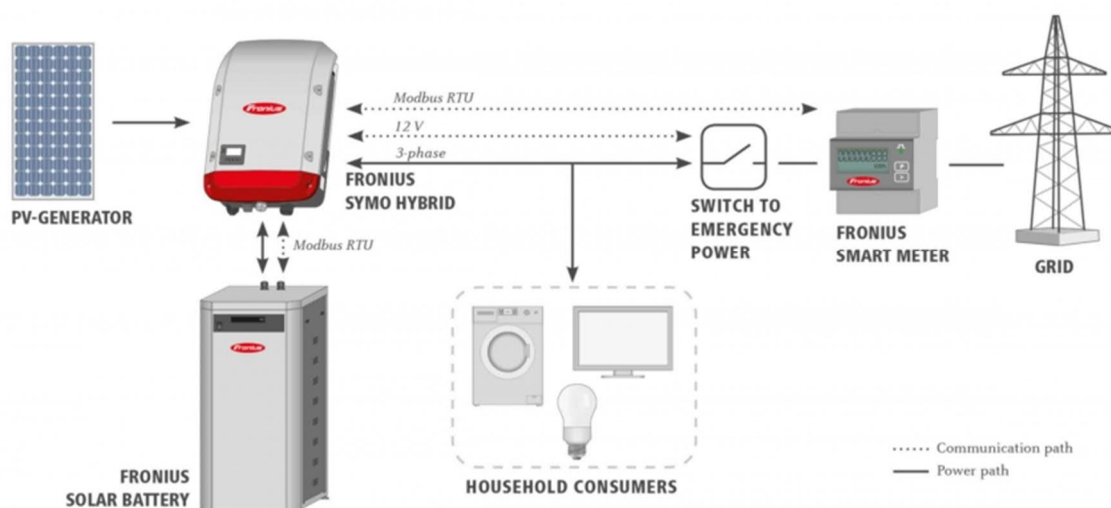
3.2.3 Yksi- ja monikiteisen paneelin vertailu

Finnwind Oy testasi yksi- ja monikiteisten aurinkopaneelien tuotantotehoa rakentamalla vuonna 2012 Siilinjärven Toivalassa Savon ammatti- ja aikuisopiston rakennusten katoille kaksi lähes identtistä 10,4 kWp:n -kokoista aurinkopaneelijärjestelmää, joiden ainoa ero oli paneelin tyypissä. Toisessa käytettiin yksikiteistä ja toisessa monikiteistä paneelia ja tuotantoa seurattiin viisi vuotta. Yksikiteinen tuotti tällä ajanjaksolla 47 289 kWh ja monikiteinen 46 734 kWh. Voimaloiden tuotannossa oli näin ollen eroa 555 kWh eli

1,2 %. Tätä määrää voidaan pitää hyvin vähäisenä, ja ero yksi- ja monikiteisen paneelien välillä onkin pienentynyt huomattavasti viime vuosina tekniikan kehittyessä. (26.)

3.3 Invertteri eli vaihtosuuntaaja

Invertterin tehtävänä on muuttaa aurinkopaneeleilta tuleva tasasähkö [DC] rakennuksessa käytettäväksi vaihtosähköksi [AC], jotta sähkö soveltuu sähkölaitteiden käyttöön (Kuva 15). Inverttereitä on 1- ja 3-vaiheisia. Tällä tarkoitetaan sitä, moneenko eri vaiheeseen invertteri syöttää sähköä talon sähkökeskuksessa. Invertterin teho määrittää sen tehon, joka aurinkopaneeleista tulee talossa käytettäväksi, vaikka sen teho olisi pienempi, kuin aurinkopaneelien yhteenlaskettu teho. Invertterin oikea mitoitus on tärkeää, koska eri tehoiset invertterit käynnistyvät tuottamaan energiaa eri aikaan. Mitä korkeampi tehoisempi invertteri, sitä enemmän tuotantoa aurinkopaneeleilta se vaatii aloittaakseen energian tuotannon. Jos invertteri on mitoitukseltaan liian pieni aurinkopaneelien tehoon nähden se leikkaa tuotannon huippuaikoja pois ja tuottaa näin ollen vähemmän energiaa parhaina säteilyaikoina.



Kuva 15. 3-vaiheisen Fronius Symo invertterin kytkeminen järjestelmään. (27.)

Invertterin tyypistä ja mallista riippuen se voidaan asentaa rakennuksen sisätiloihin ilmastoituun tilaan tai jopa ulos, kuten kuvassa 15 esitetty Froniuksen invertteri. Ne on

suojattu IP65-luokitusten mukaisesti, joten se omaa täydellisen suojauksen pölyn tunkeutumisesta vastaan ja kestää mistä tahansa suunnasta tulevat vesisuihkut. Mikäli invertteri sijoitetaan ulos, on vältettävä seinää johon aurinko pääsee helposti paistamaan, koska invertterin toiminta heikkenee sen lämpötilan noustessa liian korkeaksi. Yleensä invertteri asennetaan ulkona pohjoisen puoleiselle seinälle. (27.)

Tämän työn kaikissa kohteissa ja simulaatiotuloksissa on käytetty Froniuksen invertteireitä, jotta saatuja tuloksia voidaan vertailla simulaation ja oikeasti toteutuneen kohteen välillä mahdollisimman pienin teknisin eroavaisuuksin. Näin vertailusta saadaan luotettavampi.

4 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja rakennus

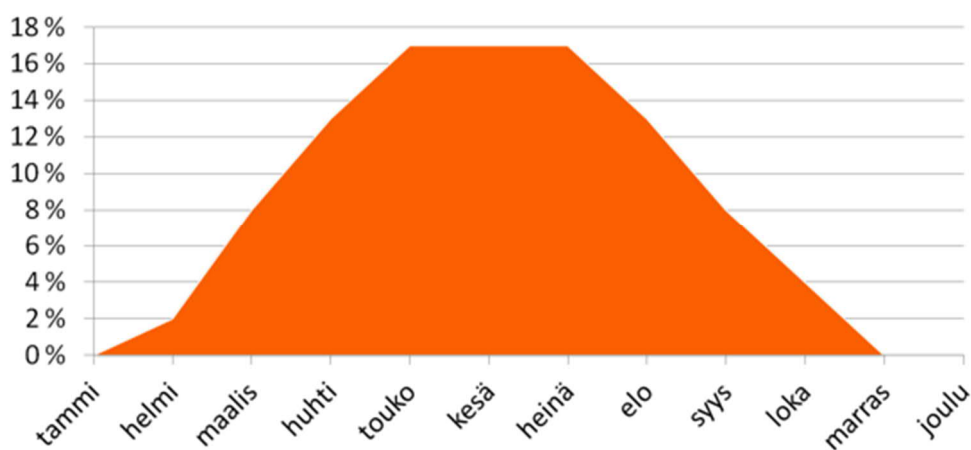
Aurinkopaneelien hankinnan ensimmäisenä vaiheena on selvittää, mikä on oikean kokoinen aurinkosähköjärjestelmä juuri tämän rakennuksen käyttöön ja paljonko siihen on valmis investoimaan. Investointikustannukset voivat olla melkoisen suuria, mutta oikein mitoitettu järjestelmä maksaa itsensä takaisin asukkaalleen yleensä 10–15 vuoden aikana. Takaisinmaksuaikaan vaikuttavat esimerkiksi järjestelmän koko ja tuotannon hyödyntäminen. Oikein mitoitettulla järjestelmällä saadaan tuotettua noin kolmasosa keski-kokoisen omakotitalon sähkönkulutuksesta. Tämä sähkö saadaan tuotettua ikään kuin ilmaiseksi omalla voimalalla, kun järjestelmä on jo maksettu. Aurinkopaneelihankinnan takaisinmaksuaikaa voidaan laskea kaavan 1 mukaisella tavalla

$$\text{Järjestelmän takaisinmaksuaika vuosissa} = \frac{\text{hankintakustannukset}}{\text{vuosittainen nettosäästö}} \quad [1].$$

Tämän lisäksi kustannuksia mietittäessä on hyvä ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmän tuomat muut edut rahan lisäksi, kuten kiinteistön arvon nousu. Myös kiinteistömarkkinoilla rakennukset, joissa on aurinkopaneelijärjestelmä, ovat kiinnostavampia ostajien mielestä. (28.)

4.1 Energiantuotannon arviointi

Yksi piikkikilowatti [kWp] tuottaa sähköä vuodessa Etelä-Suomessa 800–1000 kWh ja Pohjois-Suomessa 700–900 kWh. Piikkiwatti tarkoittaa aurinkopaneelin enimmillään tuottamaa tehoa standardiolosuhteissa. Jos ulkona on 25 °C ja paneelille tulee säteilyä 1000 W/m², paneeli tuottaa sähköä sen ilmoitetulla nimellisteholla. Kuvan 16 vuosituotannon jakautumisen käyrä näyttää, kuinka suurin osa vuodessa aurinkosähköjärjestelmässä tuotetusta sähköstä Suomen korkeuksilla tulee kesällä toukokuun ja heinäkuun välillä.



Kuva 16. Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotannon jakautuminen prosentteina eri kuukausille (29.)

Energiantuotantoon vaikuttaa suuresti valittu paneelityyppi, järjestelmän oikein mitoitus, paneeleja varjostavien tekijöiden vähyys, rakennuksen katon ilmansuunta sekä maantieteellinen sijainti johtuen vaihtelevista säteilymääristä. (8.)

4.2 Aurinkopaneelien suuntaus

Aurinkopaneelien suuntaus on tärkeässä osassa järjestelmää suunniteltaessa, koska sillä on suora vaikutus siihen paljonko aurinkosähköjärjestelmä tuottaa energiaa, jolloin

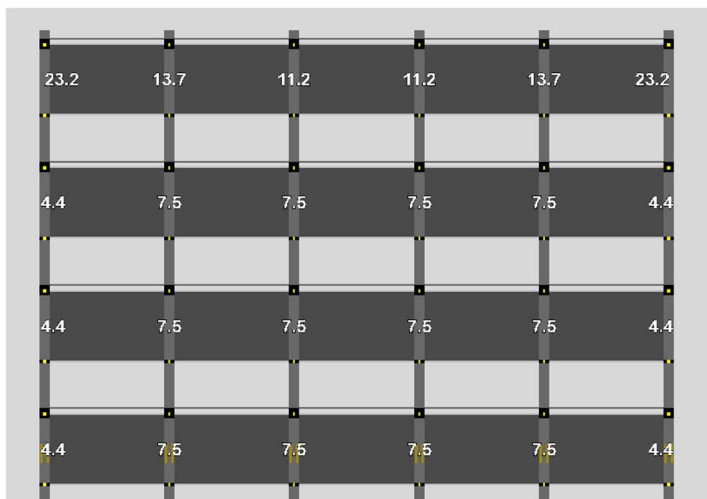
järjestelmän laskettu takaisinmaksuaika muuttuu merkittävästi. Hyvin tuottava järjestelmä maksaa itsensä takaisin nopeammin, kuin huonosti tuottava.

Aurinkopaneelien optimaalista asennuskulmaa tavoiteltaessa täytyy huomioida rakennuksen katon aiheuttamat esteet. Alle 5°:n kulman omaavalle, lähes tasaiselle katolle aurinkopaneelit yleensä asennetaan telineillä, kuten näkyy kuvassa 17. Näin aurinkopaneelit saadaan asennettua juuri siihen kulmaan, mikä on kohteelle optimaalisinta sähköntuotannon kannalta. Tasakattojärjestelmät asennetaan yleensä ns. kelluvana järjestelmänä, mikä tarkoittaa sitä, että aurinkosähköjärjestelmää ei kiinnitetä rakennuksen katon kantavaan rakenteeseen tai vesipohjaan.



Kuva 17. Tasakattoteline. (30.)

Katon pintamateriaalista riippuen asennus voidaan tehdä painoilla tai erilaisilla menetelmillä, joilla telineet sidotaan kattoon kiinni vaarantamatta sen säikestävyyttä. Tasakattoasennuksissa vältetään tilanteita, joissa vesikattoon tehdään reikiä ja näin ollen vaarannettaisiin rakennuksen vedenkestävyys. Mikäli asennuksessa käytetään painoja, tulee olla entistäkin tarkempi aurinkosähköjärjestelmän kokonaispainosta, jotta rakennuksen katto kestää järjestelmän aiheuttaman painon lumikuormankin kanssa. Kuvasta 18 nähdään paljonko painoja pitää asettaa eri kohtiin aurinkopaneelijärjestelmää, jotta järjestelmä pysyy paikallaan kovassakin tuulussa.



Kuva 18. Tasakattoisen aurinkosähköjärjestelmän telineille asetettavien painojen määrä kiloina [kg] eri kohdissa järjestelmää. (34.)

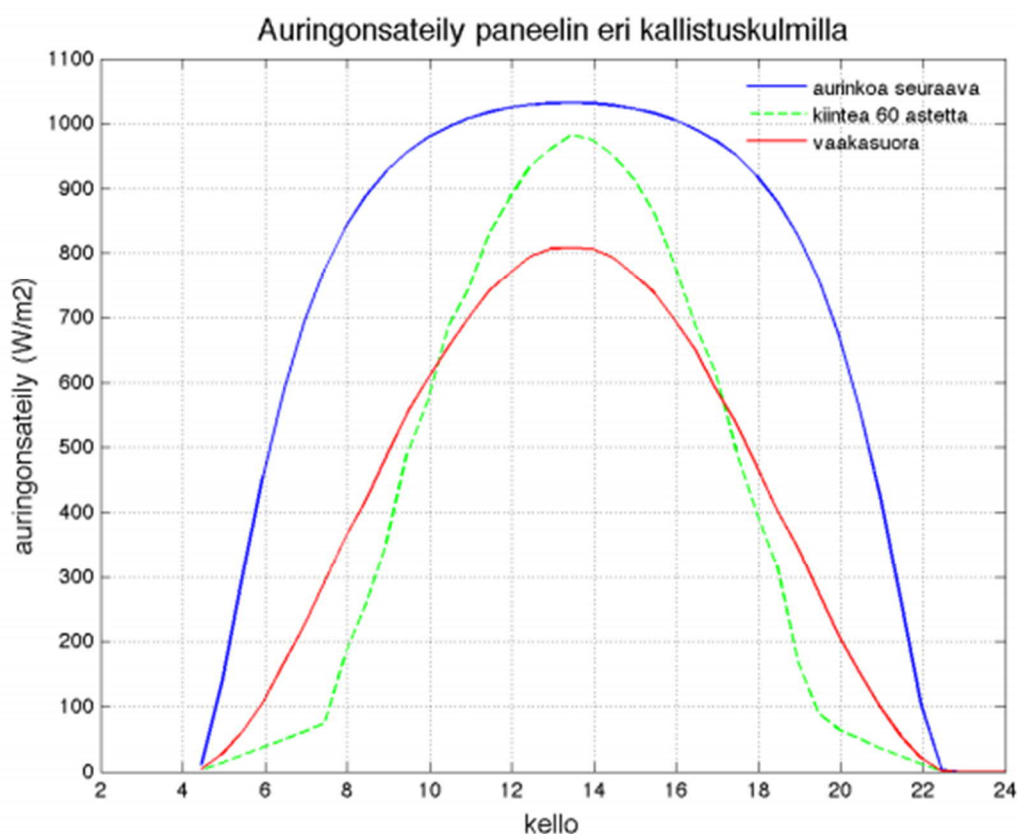
Rakennuksen katon kulman ollessa yli 5° aurinkopaneelit asennetaan yleensä rakennuksen katon suuntaisesti ja sen kulmaa myötäileväksi (Kuva 19). Paneelit asennetaan telineillä kattoon kiinni, jotta ilma pääsee kiertämään paneelin alapuolelta. Näin paneelin lämpötila ei nouse liian korkeaksi, eikä järjestelmän tuotanto heikkene tämän takia.



Kuva 19. Rakennuksen katon mukaisesti tehty asennus.

Aurinkoa seuraava laitteisto seuraa auringon optimaalisen aseman muutosta aurinkopaneelia kohden. Liikkuvat järjestelmät voivat seurata auringon päivittäistä tai vuosittaista

sijaintia riippuen käytettävästä mallista (Kuva 20). Erilaiset aurinkoa seuraavat liikkuvat telineet ovat vielä sängen harvinaisia johtuen niiden korkeasta hinnasta ja niiden korkeammasta vikaantumisriskistä, sillä auringon seuraaminen Suomen oloissa jokapäiväisesti läpi vuoden on siinä oleville moottoreille hyvinkin raskas prosessi, joka kuluttaa samalla energiaa.



Kuva 20. Paneelin pinnalle saapuva auringonsäteily paneelin eri kallistuskulmilla pilvettömänä kesäpäivänä Helsingin Östersundomissa. (31, s. 20.)

Pilvettömänä kesäpäivänä aurinkoa seuraava paneeli voi kerätä lähes kaksinkertaisen säteily määrän, verrattuna kiinteästi asennettuihin paneeleihin, kuten nähdään kuvasta 20. Tehdystä vertailusta voidaan nähdä myös se, kuinka paljon terävämpi on todella jyrkkään kulmaan asennetun aurinkojärjestelmän tuotantokäyrä. Tällä tavalla asennettu järjestelmä herää tuottamaan sähköä myöhemmin kuin vaakasuoraan asennettu, mutta tuotannon huipputaso on paljon korkeampi vaakasuoraan verrattuna. Näiden välillä

oleva n. 30°:n kulmaan asennettu paneelijärjestelmä tuottaa tasaisemmin koko päivän ajan. (31.)

4.3 Kunnossapito ja elinkaari

Aurinkopaneelijärjestelmiä voidaan pitää vaivattomina talon asukkaalle, että ne eivät vaadi suurempaa huolenpitoa koko elinkaarensa aikana. Aurinkopaneelijärjestelmässä ei ole liikkuvia osia, jolloin komponenttien elinikä on hyvinkin pitkä. Erilaisissa liikkuvissa järjestelmissä laitteisto joutuu rasituksen alaiseksi kääntyessään auringon mukaan ja vaatii näin ollen enemmän huoltoa.

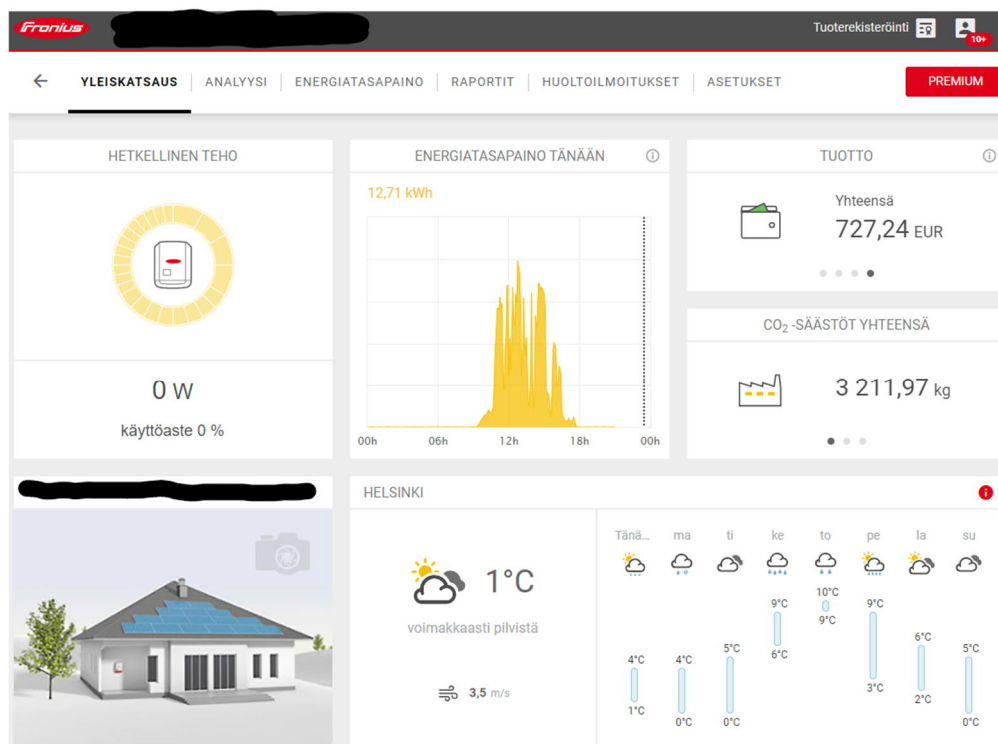
Aurinkosähköjärjestelmän elinkaari on siis hyvinkin pitkä ja niiden toimintapa yksinkertainen. Tämän takia järjestelmille annetaan pitkät takuuajat. Aurinkosähköjärjestelmän ainut rasituksessa oleva laite on invertteri, joiden takuuajat ovat selvästi aurinkopaneelleja pienemmät riippuen mallista ja niiden yleinen vaihtoväli on noin 7–10 vuoden kohdalla. Aurinkopaneelien tekninen elinikä on noin 30 vuotta, ja monet eri paneelivalmistajat antavat paneeleilleen yleensä myös tehontuottotakuun. Tavallisesti takuulla varmistetaan, että paneelin tuotannon lasku voi olla maksimissaan 1 %:n verran vuodessa, eli 10 vuoden päästä paneeli tuottaa nimellistehostaan edelleen yli 90 %:n teholla. Paneelien toimintatakuu jatkuu tämän lisäksi yleensä noin 25 vuotta valmistuksesta. Näin ollen invertterin vaihto on ainoa, joka luultavasti tulee tehdä ennen kuin paneelien elinkaari saapuu päätökseensä. Invertterin takuu on yleensä 7–10 vuotta, jota on mahdollista laajentaa maksullisella takuun pidennyksellä. (32.)

Paneelien puhdistusta talvella ei suositella, ettei paneeleihin tule lumenpoistovälineistä aiheutuneita naarmuja, jotka heikentävät aiheuttavat niiden sähköntuotantoa. Lisäksi mahdolliset epäpuhtaudet paneelin pinnalta lähtevät yleensä vesisateiden aikana. Jos paneelien päälle kulkeutuu esimerkiksi rakennustyömaalta hienojakoista pölyä, paneeleita voi huuhdella vedellä ja puhdistaa kuten ikkunoita.

5 Aurinkojärjestelmien tuotannon seuranta

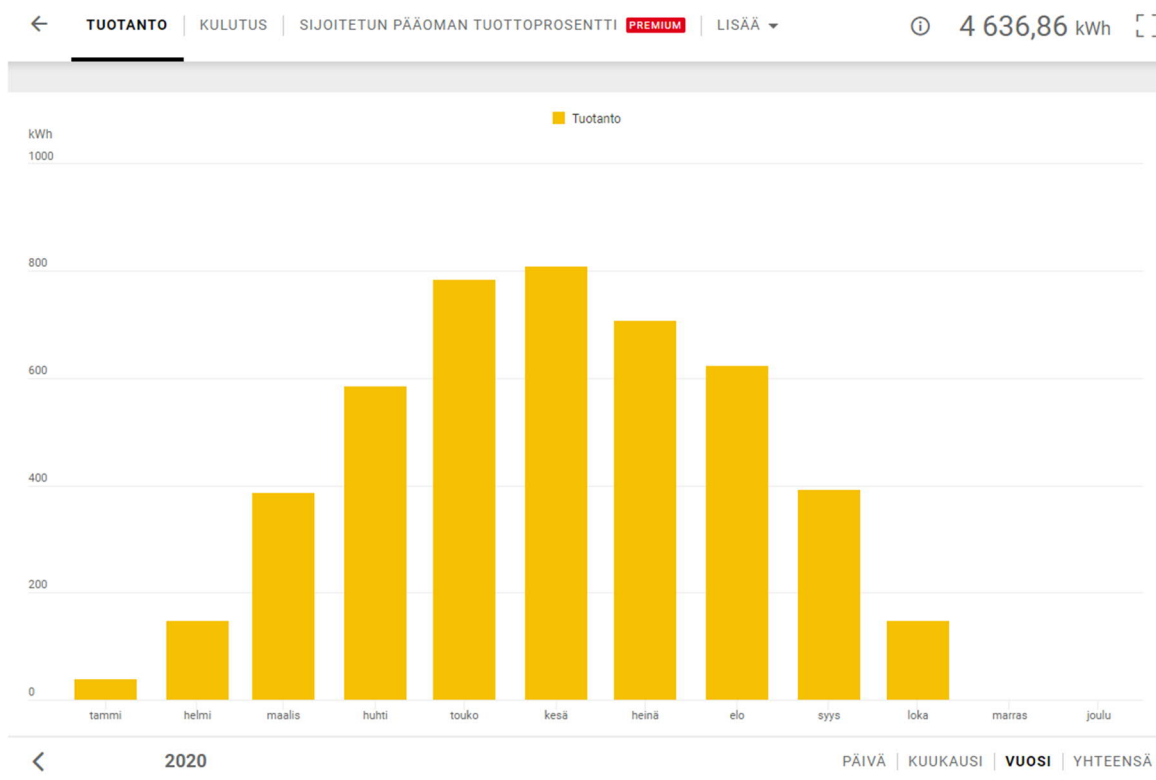
Aurinkojärjestelmät liitetään nykyään lähes poikkeuksetta internettiin tuotannon seuraamista varten. Tämä onnistuu langattomalla tai langallisella yhteydellä, jossa reititin tai muu vastaava kytketään invertteriin kiinni. Kun kohteen järjestelmää asennetaan, invertteri yhdistetään internettiin viimeisenä. Tähän asentaja tarvitsee puhelimen tai tietokoneen, jolla yhdistäminen tehdään. Invertterivalmistajilla, kuten Froniuksella on oma ohjelmansa, josta asiakas voi seurata sähköntuotantoaan reaaliajassa.

Vertailussa on käytetty invertterivalmistaja Froniuksen SolarWeb-palvelua (Kuva 21). Palvelu antaa käyttäjälleen mahdollisuuden seurata oman aurinkopaneelijärjestelmän tuotantoa internetin välityksellä. SolarWebissä on kaksi erilaista versiota, ilmainen sekä maksullinen. Ilmainen versio sisältää käyttäjän näkökulmasta kaiken olennaisimmat ominaisuudet. Maksullisella versiolla on mahdollista saada ilmaisversiota tarkempia säätietoja sekä seurata energiantuotantoa tarkemmin. Ilmainen versio tarjoaa mahdollisuuden tarkastella tuntikohtaisia energiantuotannon määriä viimeisimmiltä kolmelta päivältä, kun taas maksullisella palvelulla on mahdollista seurata sitä pidemmältä ajalta. Yleensä ilmaisversion ominaisuudet riittävät tavalliselle kuluttajalle.



Kuva 21. Asiakkaan näkymä Froniuksen SolarWeb-palvelussa. (33.)

Asiakkaan näkymässä on helposti nähtävissä kaikki tarpeellinen tieto järjestelmän toiminnasta. Invertteri päivittää reaaliajassa tiedon internet-yhteyden välityksellä verkkosivuille, josta asiakas voi käydä seuraamassa omaa energiantuotantoaan millä laitteella tahansa. Seurantapalvelu näyttää invertterin hetkellisen tehon ja sen, millä prosentilla maksimaalisesta tehosta se toimii, järjestelmän tuottaman energiamäärän koko päivän ajalta, säättietoja sekä useita erilaisia tuotantoon ja säästämiseen liittyviä lukemia. Näin tuotannon seurannasta tehdään käyttäjälle mielenkiintoista, ja tämä herättää ihmisiä seuraamaan tarkemmin tuotantomääriä esimerkiksi eri kuukausilta (Kuva 22). Asiakkaan seurattessa aktiivisemmin järjestelmänsä toimintaa myös tuotannon määrälliset epäkohdat tulevat herkemmin esiin, esimerkiksi jos aurinkopaneelijärjestelmä ei tuota asiakkaan oletamaa määrää vuodenaikana.



Kuva 22. Tuotannon määrä eri kuukausina kohteessa SolarWeb-palvelun mukaan. (33.)

Kuvassa 22 nähdään tuotannon jakautuminen vuoden eri kuukausille Helsingissä sijaitsevassa kohteessa. Kohteen rakennuksen katto on loiva saumapeltikatto, jonka suuntana on etelä. Tuotantomääristä on nähtävissä, että keväisin ja syksyisin tuotannon määrä on noin puolet kesäkuun vastaavasta. Marras- ja joulukuun osalta kuvaajasta puuttuvat tiedot. Näiden kuukausien lukemat on otettu vertailuun mukaan vuodelta 2019, jotta voidaan arvioida kokonaisen vuoden tuotantoa. Kohteessa koko vuoden osalta järjestelmä on tuottanut 930 kWh jokaista järjestelmän kilowattipiikkiä kohden, joten tuotannon voidaan katsoa olevan erinomaisella tasolla. Tuotantomääriä ja esimerkiksi eri vaiheiden tuottamia jännitteitä voidaan seurata tarkasti myös asiakkaan toimesta. Järjestelmän myyneelle yritykselle tiedot kohteen toiminnasta ovat hyvinkin tärkeitä varsinkin vikatapauksissa (Kuva 23)



Kuva 23. SolarWeb -palvelusta voidaan seurata myös monia muita tietoja, kuten paneeliketjun jännitettä eri kellonaikoina. (33.)

Järjestelmän tuottamia tietoja on helppo seurata SolarWeb -palvelun verkkosivuilta ja näin ollen järjestelmän toiminnasta saadaan vaivattomasti oleellista tietoa, kuten aurinkopaneelijärjestelmän tuotannon käynnistymisen ja loppumisen aika eri kohteissa. Näitä tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi järjestelmän vikojen löytämiseen ilman vierailua kyseisessä kohteessa (Kuva 23). Tämä säästää lukemattomia tunteja työaikaa vuoden aikana sekä antaa mahdollisuuden tarkastella tuotannollisia poikkeavuuksia etänä. SolarWeb-palvelu voidaan asettaa myös antamaan sähköpostitse virheilmoitus heti kun järjestelmään tulee jokin vika. Yleisimpiä vikakoodeja ovat esimerkiksi internet-yhteyden katkeaminen tai sähkökatkon aiheuttama järjestelmän toiminnan pysähtyminen. Asiakas näkee saamistaan dokumenteista mitä toimia asiakkaan tulee itse tehdä, että järjestelmä saadaan taas toimintaan. Tarvittaessa yritys voi lähettää myös asentajan korjaamaan vian.

6 Aurinkosähköjärjestelmien tuotannon vertailu

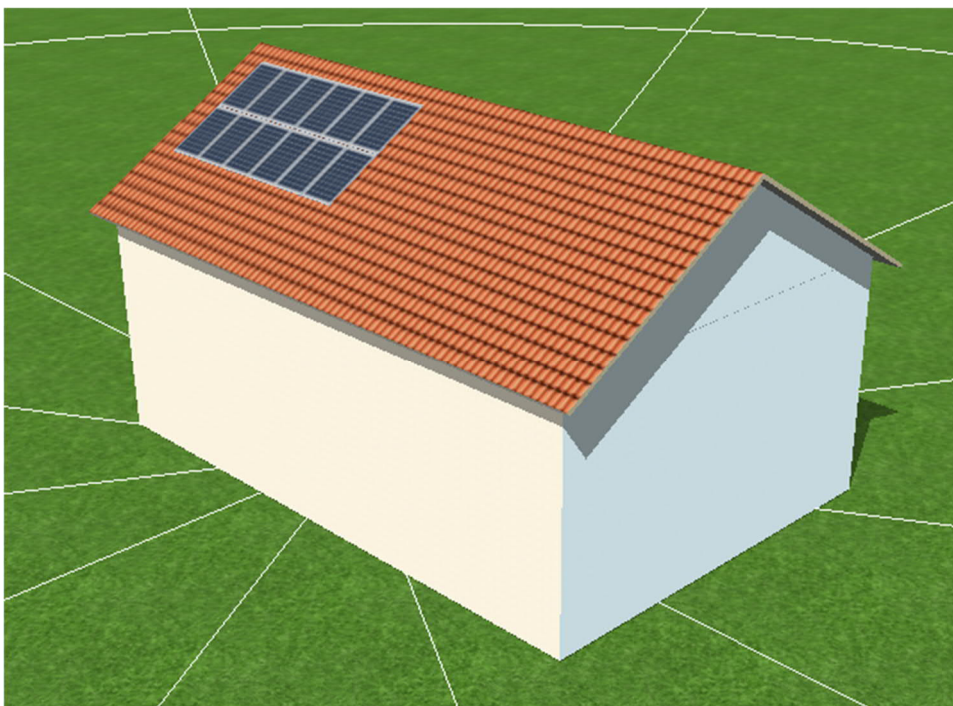
Vertailussa käytettiin oikeita jo toteutettuja kohteita vuodelta 2019, joista on saatavilla tuotantotietoja sähköntuotannosta koko vuoden ajalta ja PV*SOL-ohjelman simuloimalla tuotettua dataa optimaalisesta katosta paneeleineen eri ilmansuuntiin oleville katon lappeille asennettuna. PV*SOL on Valentin Softwaren kehittämä ohjelma tietokoneille, jolla voidaan tehdä mallinnus asiakkaan rakennuksesta sekä suunnitella sinne aurinkopaneelijärjestelmä. Ohjelma laskee tämän pohjalta kohteen arvioidun sähköntuotannon määrän valituilla komponenteilla. PV*SOL tekee aurinkosähköjärjestelmien suunnittelusta huomattavasti vaivattomampaa kuin perinteisesti suunnittelemalla. Valentin Softwaren ohjelma kertoo myös, jos järjestelmän komponentit ei ole yhteensopivia.

Tietosuojaan liittyvien säädösten vuoksi oikeista jo toteutetuista asiakaskohteista ei käytetä vertailussa muuta tietoa kuin sähköntuotantomäärä jokaista järjestelmän tehollista kilowattipiikkiä kohden.

6.1 Tuotannon simulointi

Aurinkojärjestelmän toimivuutta kohteessa voidaan myös simuloida erilaisilla tietokoneavusteisilla ohjelmilla. Simulaatiossa käytettiin kuvitteellista kohdetta, jossa rakennuksen katon kulmana on 30°, paneelimääränä 12 kpl JA Solarin -paneeleita, 315 Wp:n tehoisia (JAM60S09-315/PR) monikiteisiä paneeleita asetettuna kahteen riviin eri ilmansuuntia kohden. Invertterinä toimi Froniuksen Symo 3.7-3-M -malli, joka on teholtaan lähes samankokoinen teholtaan kuin paneelien teho yhteenlaskettuna. Simulaatio-ohjelmana toimi Valentin Softwaren PV*SOL.

Ohjelmaan määritetään ensimmäisenä simuloitavan kohteen sijainti, jonka perusteella ohjelma hakee tietokannasta säteilymäärän ja keskiarvolämpötilan kyseiselle alueelle, joita ohjelma hyödyntää simulaation tekemisessä. Sijainniksi asetettiin Helsinki ja ohjelman mukaan tälle sijainnille säteilyn määräksi neliometriä kohden saadaan 963 kilowattituntia.



Kuva 24. PV*SOL -ohjelman simulaation mallirakennus. (35.)

Mallinnettava rakennus on hyvin tavallisen näköinen tiilikattoinen omakotitalo ja rakennuksen katolla on paneeleille hyvin tilaa (Kuva 24). Simulaatiosta jätettiin pois kaikki paneeleille mahdollisesti varjoa aiheuttavat tekijät, kuten puut, piiput, toiset rakennukset, koska talolla haettiin mahdollisimman optimaalista tilannetta aurinkopaneelien tuotannon simuloimista varten.

PV*SOL -ohjelmasta saadaan suoraan haettua eri aurinkopaneeli- ja invertterivalmistajien tuotteiden tiedot ja rajoitukset. Ohjelma laskee suoraan paneelien yhteenlasketut virta- ja jännitearvot ja ehdottaa valitun invertterivalmistajan tuotteista järjestelmään parhaiten sopivaa mallia.

Simulointiohjelma laskee rakennuksen maantieteellisen sijainnin mukaan auringon säteilykulman eri päivinä koko vuoden ajalta. Ohjelma vertaa sen jälkeen tätä auringon säteilykulmaa erilaisiin paneeleja varjostaviin tekijöihin samalla ajanjaksolla. Näin saadaan virtuaalisesti tehtyä mahdollisimman tarkka simulaatio kohteesta asiakkaalle jo tarjousvaiheessa, ennen kuin mitään on konkreettisesti rakennettu. Taulukosta 2 on nähtävissä eri ilmansuuntiin asetettujen järjestelmien oletetut tuotantoarvot.

Taulukko 2. PV*SOL -ohjelmalla saadut simulointitulokset. Itä-länsi asennuksessa on kuusi paneelia kummallakin puolella kattoa.

Ilmansuunta	Paneeli määrä	Paneelin teho Wp	Järjestelmän teho kWp	Tuotantoarvio kWh	Tuotantosuhde kWh/kWp
Itä	12	315	3,78	2847	753,2
Kaakko	12	315	3,78	3407	901,4
Etelä	12	315	3,78	3571	944,6
Lounas	12	315	3,78	3540	936,5
Länsi	12	315	3,78	2588	684,7
Itä-länsi	12	315	3,78	2685	710,3

Taulukon 2 tuloksista on nähtävissä, että aurinkopaneelien asentaminen lounaaseen suunnatulle katon lappeelle on yllättävän vähän eroavaisuuksia tuotannollisesti etelään päin suunnattuun järjestelmään verrattuna. Kolme parasta ilmansuuntaa tuotannon kannalta ovat etelä, lounas ja kaakko, sillä näihin suuntiin asennetun aurinkojärjestelmän tuotantomääriä voidaan pitää todella hyvinä. Idän, lännen tai molemmilla katon lappeilla olevan itä-länsi asennuksen simuloitujen tulokset ovat selvästi heikompia jäaden vuodessa jopa yli 1000 kWh arvioituissa tuotantomäärissä vertailtuna optimaalisempiin ilmansuuntiin.

6.2 Todelliset kohteet ja vertailu simuloiteihin

Aurinkosähköjärjestelmien tuotantotietoa etsittiin SolarWeb -palvelusta eri kohteista ja lisättiin Excel-taulukkoon tietojen helpompaa tarkastelua varten. Kohteet valittiin niin, että niistä on tuotantotietoja saatavilla kokonaisen vuoden ajalta, helppo päätellä ilmakuuvan perusteella paneelien suuntaus sekä niin, että kaikissa kohteissa on käytetty JA Solar -paneeleja ja Froniuksen inverttereitä. Taulukossa 3 on nämä kohteet lajiteltuna tuotantomäärien [kWh/kWp] sekä ilmansuuntien mukaan ja jokainen taulukossa oleva arvo vastaa yhtä kohdetta.

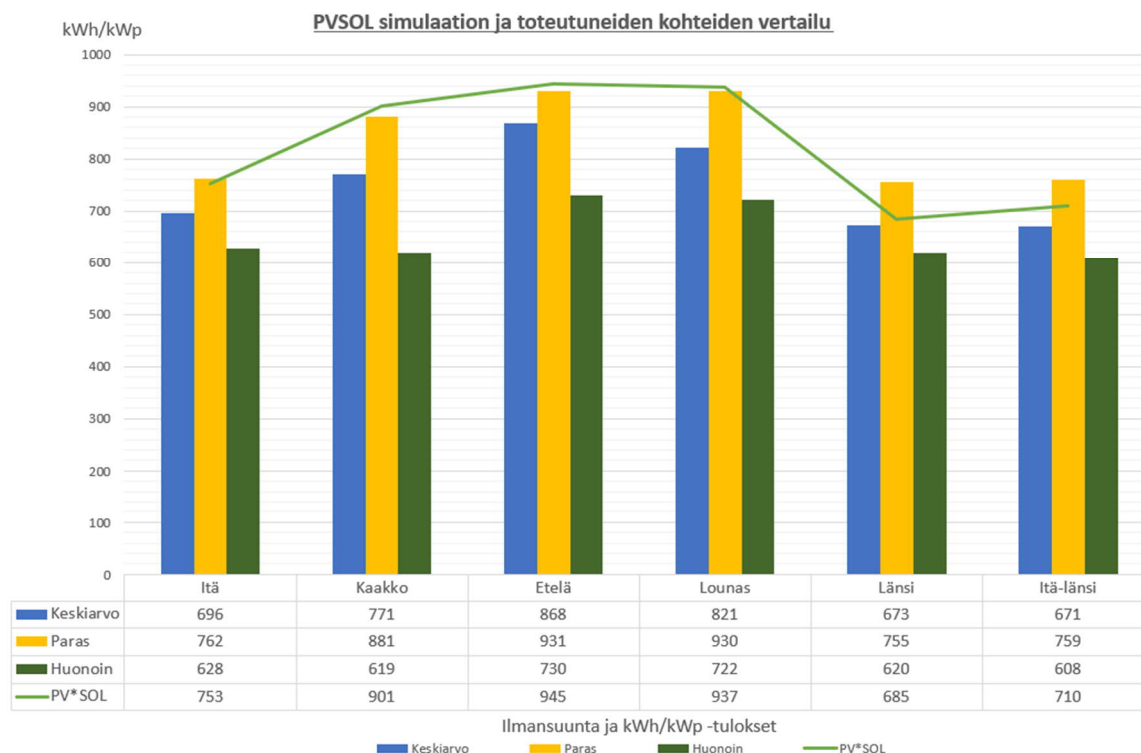
Taulukko 3. SolarWeb -palvelusta kerättyjen rakennusten tuotantomäärät kilowattitunteina joista kohteessa olevaa kilowattipiikkiä kohden eri ilmansuuntiin lajiteltuna Uudenmaan alueella.

Etelä	Lounas	Kaakko	Länsi	Itä	Itä-länsi
930,6	929,8	881,2	754,8	743,8	758,6
920,0	901,6	843,2	670,2	761,9	684,4
906,6	873,0	833,3	648,3	650,3	632,9
901,2	867,4	832,0	619,8	627,5	607,7
899,5	791,2	783,6			
866,5	757,1	701,5			
789,7	728,6	672,7			
730,4	722,2	619,0			

Yllä olevista tuloksista on tulkittavissa se, että etelään ja lounaaseen suunnattujen paneelien välinen tuotannollinen ero on pieni. Kaakon suuntaan asennetut paneelit jäävät hiukan etelän ja lounaan vastaaville, mutta tämä voi johtua vertailussa käytettyjen kohteiden vähyydestä.

Kolme selkeästi parasta ilmansuuntaa ovat tulosten mukaan etelä, lounas ja kaakko, mikä olikin jo etukäteen hyvin odotettua. Idän, lännen ja näiden yhdistelmien arvojen vertailua on hankala tehdä kohteiden määrän vähyyden vuoksi, mutta niistä on nähtävissä se, että energiantuotannon määrät ovat hyvinkin samanlaisia riippumatta siitä mihin katon lappeelle aurinkojärjestelmä on asennettu.

Taulukko 4. Simulaation [PV*SOL] ja toteutuneiden kohteiden tuotannon vertailu.



Yllä olevasta taulukosta on nähtävissä vertailuna arvio ja toteutunut tuotanto. Simulaation käyrä noudattaa suhteellisen hyvin parhaiden tuotantoarvojen omaavia kohteita. Itä-länsi asennuksen vertailua on hankala tehdä, koska rakennuksen katon kulma vaikuttaa merkittävästi tuotannon määrään. Jos katto on jyrkkä, aurinkojärjestelmä ei välttämättä tuota missään vaiheessa molemmilta puolilta rakennuksen kattoa, kun taas matalaharjaisella katolla aurinko pääsee paistamaan ainakin osittain molempiin paneelikenttiin ja näin ollen molemmat paneelikentät voivat tuottaa samaan aikaan.

6.3 Johtopäätökset tuloksista

PV*SOL -ohjelma antaa selvästi ylioptimistiset arviot tuotannosta, mutta tämä todennäköisesti johtuu vain ohjelman asetuksista, joilla voidaan vaikuttaa järjestelmästä syntyvien tuotannollisten häviöiden määrään. Vertailun jatkuessa jo valmiita simuloiteja korjataan tältä osin sekä tehdään myös toiset simulaatiot, joissa rakennuksen kattoharja on huomattavasti loivempi. Näin vertailupohjasta saadaan laajempi ja parempi. Täytyy

myös muistaa, että simulaatioissa on haettu optimitilannetta energiantuotantoon ja siksi siitä puuttuu kaikki tuotantoa huonontavat tekijät, kuten aurinkopaneeleja varjostavat tekijät, paneelien ja invertterin liian korkealla käyvä lämpötila ja niin edelleen. Toteutuneiden kohteiden määrän takia samanlaisia lähes optimaalisia olosuhteita sisältäneitä kohteita on vaikea löytää varsinkin pelkän satelliittikuvan perusteella. Simulaatioon voisi päivittää tuotannon häviön prosenttia suuremmaksi vastaamaan edes osittain oikeita kohteita.

Taulukko 5. Prosentuaaliset eroavaisuudet simulaatioiden ja toteutuneiden kohteiden kWh/kWp -arvon minimin, maksimin ja keskiarvon välillä.

Ilmansuunta	PV*SOL kWh/kWp	Toteutuneiden keskiarvo	Toteutuneiden paras	Toteutuneiden huonoin
Itä	753	-8 %	1 %	-17 %
Kaakko	901	-14 %	-2 %	-31 %
Etelä	945	-8 %	-1 %	-23 %
Lounas	937	-12 %	-1 %	-23 %
Länsi	685	-2 %	10 %	-9 %
Itä-länsi	710	-6 %	7 %	-14 %

Täytyy silti muistaa, että simulaatio on simulaatio ja näin ollen varsin kaukana todellisesta kohteesta. Simulaatiosta saadaan kuitenkin hyvä arvio siitä, mitä tuotanto voi olla parhaimmillaan ja sen nämä tulokset osoittavat. Laskelman mukaan simulaatio oli hyvin tarkka parhaimpien tulosten ja simulaation välillä eron ollessa enimmillään 10 % länteen päin asennetuissa aurinkojärjestelmissä. Kaikista ilmansuunnista tarkimmat arvot ovat kaakon, etelän, lounaan ja idän välillä. Simulaation mallintaessa optimia tilannetta, ero oli luonnollisesti todella iso huonoimman tuotantoarvon ja simulaation välillä.

Simulaation käyttöä pienissä kohteissa, kuten omakotitaloissa, rajoittaa sen viemä aika. Omakotitalojen katot voivat olla hyvinkin monimuotoisia ja näin ollen vaikeita simuloitavia. Lisäksi rakennuksien mallintamiseen vaikuttaa myös siitä saatavien ilmakuvien laatu. Jos rakennuksesta ei ole kolmiulotteista satelliittikuvaa, on vaikea mallintaa rakennuksen katon kulma ja nähdä, mitkä asiat saattavat varjostaa paneeleja. Simulaatiotyökalu on loistava väline, kun järjestelmän koko on hieman isompi, kuten kerrostaloissa. Yleensä kerrostaloalueilta on ympäri Suomen saatavilla kolmiulotteiset satelliittikuvat ja

näin ollen simulointi on helppo tehdä. Simulaatiotuloksen perusteella voidaan järjestelmä suunnitella niin tarkkaan, että voidaan tilata kaikki tarvittavat tarvikkeet kohteen asennusta varten.

Kohteista kerättyä Excel-taulukkoa päivitetään jatkossakin ja sinne lisätään kohteita, joista tulee saataville tuotantomäärät yli vuoden ajalta. Lisäksi sinne lisätään eriteltynä kymmeniä muita kohteita, jotka jätettiin tämän työn vertailusta pois niiden sisältämien epäselvyyksien takia. Tällaisia epäselviä kohteita, kuten rakennuksia, joista ei selvinnyt mille puolelle rakennuksen kattoa paneelit oli asennettu ja kohteet, joiden varjojen määrän tulkitseminen oli vaikeaa.

7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli vertailla sähköntuotantoa erilaisissa kohteissa ja saada tästä tuotantoarvoja vertailua varten, jotta työn tuloksia voidaan hyödyntää aurinkopaneelijärjestelmien myynnissä. Vertailusta saadut tulokset auttavat molempia osapuolia, sekä myyjää että ostajaa. Myyjän puolella tämä helpottaa myymistä sekä auttaa tuottamaan parempia palveluja asiakkaille. Näin asiakastyytyväisyys paranee ja asiakkaiden luottamus yritykseen kasvaa. Aurinkosähköjärjestelmiä on näin ollen helpompi myydä asiakkaille, kun voidaan osoittaa suoraan paljonko arviolta sähköntuotantoa olisi odotettavissa vuoden ajalta. Tämä määrä tietysti vaihtelee erinäisten varjostavien ja muiden tuotantoa alentavien tekijöiden takia, mutta ammattitaitoinen myyjä osaa ottaa nämä huomioon järjestelmää suunniteltaessa. Yrityksen toiminta myyntitilanteessa on täten avoimempaa ja myyjän ammattitaito herättää asiakkaassa luottamusta.

Työn tavoite täyttyi ainakin osittain, koska koen, että tälläkin nykyisellä tuotantoarvojen vertailun määrällä saadaan parannettua aurinkosähköjärjestelmiä myyvien ja ostavien ihmisten ymmärrystä tuotannon potentiaalista erilaisissa kohteissa. On toivottavaa, että mahdollisimman moni myyjä ja ostaja perehtyisi näihin seikkoihin, koska markkinoilla on monia yrityksiä, joiden esittämiä arvioita tuotannon potentiaalista ei välttämättä voida pitää luotettavina, mikä taas voi haitata taloudellista kilpailua. Arvioinneissa voi tietysti tapahtua virheitä, mutta tärkeää olisi, että arviota voitaisiin pitää pääpiirteittäin luotettavina.

Kohteita tutkiessa selvisi, että joidenkin kohteiden tuotantomäärät olivat erikoisen alhaiset arvioituun verrattuna, eikä syy tähän paljastunut Google Mapsin satelliittikuvia tarkasteltaessa. Näitä kohteita ei voitu tässä työssä ottaa huomioon, vaan nämä kohteet vaativat lisätutkimuksia, joita voidaan selvittää kohteesta paikan päältä otettujen kuvien avulla, jotka voivat paljastaa syyn tuotannon pienuuteen.

Työn vertailuosuus on tällä hetkellä vielä hyvinkin suppea, mutta sen työstämistä jatketaan edelleen ja vertailun tuloksia tarkastellaan uudestaan kohteiden määrän kasvaessa ympäri Suomea. Toivottavasti tästä työstä ja sen antamista tiedoista on kuitenkin jo nyt apua myynnin kasvua tavoiteltaessa ja tästä saadaan hyvä tietopohja myyjien toiminnan tukemiseksi.

Lähteet

- 1 Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti lisääntyi 82 % vuodessa. Verkkoaineisto 2019. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-lisaantyi-82-vuodessa>>. Luettu 5.9.2020.
- 2 Auringon rakenne ja elinkaari. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>>. Luettu 5.9.2020.
- 3 Auringon kierto ja korkeus taivaalla. Verkkoaineisto 2015. Mika Karjalainen. <<https://docplayer.fi/384600-Aurinkoenergia-auringon-kierto-ja-korkeus-taivaalla.html>>. Luettu 5.9.2020.
- 4 Declination angle and calculation. Verkkoaineisto. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/Declination-angle-Declination-angle-is-calculated-by-the-following-equation_fig1_298318962>. Luettu 10.2.2021.
- 5 Aurinkoenergia. Verkkoaineisto. Suntekno. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>>. Luettu 5.9.2020.
- 6 Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 – 2010. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Luettu 6.9.2020.
- 7 Aurinkolämpösanasto. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolamposanasto>. Päivitetty 5.8.2020. Luettu 6.9.2020.
- 8 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa>. Päivitetty 5.8.2020. Luettu 7.9.2020.
- 9 Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>>. Luettu 7.9.2020.
- 10 Sunrise, sunset, dawn and dusk times, table Helsinki, Finland. Verkkoaineisto. Gaisma. <<https://www.gaisma.com/en/location/helsinki.html>>. Luettu 8.9.2020.
- 11 Helen Virtuaaliakku. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku>>. Luettu 8.9.2020.

- 12 Aurinkopaneelit. Verkkoaineisto. Suntekno. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>>. Luettu 11.9.2020.
- 13 Solar Cell Characteristics. Verkkoaineisto. PvResources. <<http://www.pvresources.com/en/solarcells/solarcells.php>>. Luettu 10.2.2021.
- 14 Strong global solar market outlook. Verkkoaineisto. SolarPower Europe. <https://www.solarpowereurope.org/strong-global-solar-market-outlook/?fbclid=IwAR3LGa7VUJfczJDuzjxeG9igrSQBhq4-ue4LLhBpS9gxU_wDfc-hMCCw3Q>. Luettu 12.9.2020.
- 15 Aurinkosähköjärjestelmien hinta. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta>. Luettu 12.9.2020.
- 16 Energia-avustus. Verkkoaineisto. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. <https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus>. Päivitetty 17.8.2020. Luettu 13.9.2020.
- 17 Aurinkosähkön kokoonpano. Verkkoaineisto. Aurinkosähkökotiin.fi. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkosahko-kokoonpano/>>. Luettu 13.9.2020.
- 18 The Photoelectric effect. Verkkoaineisto. ThoughtCo. <<https://www.thoughtco.com/the-photoelectric-effect-2699352>>. Luettu 16.9.2020.
- 19 Esko Ala-Myllymäki. Aurinko demo. Verkkoaineisto. Oy Merinova Ab, 2016. <https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf>. Luettu 18.9.2020.
- 20 Solar panel components construction. Verkkoaineisto. Jason Svarc Clean energy reviews. <<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>>. Luettu 18.9.2020.
- 21 Crystalline Cells. Verkkoaineisto. SunLink PV. <<https://sunlinkpv.com/products/pvcell.html>>. Luettu 20.9.2020.
- 22 Monocrystalline solar panel. Verkkoaineisto. Amerisolar. <<https://www.weamerisolar.eu/best-solar-panels/monocrystalline-solar-panel/>>. Luettu 20.9.2020.
- 23 Poly vs. Mono crystalline. Verkkoaineisto. TindoSolar. <<https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/>>. Luettu 20.9.2020.

- 24 JA Solar PV Modules. Verkkoaineisto. JA Solar. <<https://www.ja-solar.com.cn/html/en/2018/6.html>>. Luettu 20.9.2020.
- 25 Thin Film Solar Panels. Verkkoaineisto. Top DIY Solar Panels. <<http://topdiysolarpanels.com/3rd-generation-of-solar-panels-thin-film/>>. Luettu 20.9.2020.
- 26 Aurinkopaneeli usein kysyttyä. Verkkoaineisto. Finnwind. <<https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysyttya/>>. Luettu 21.9.2020.
- 27 Fronius invertterin kytkeytyminen järjestelmään. Verkkoaineisto. Swenergia.fi <<https://www.swenergia.fi/aurinkoenergia-kotiin-ja-yrityksille/aurinkoenergia-omakotitalot/fronius-symo-10-20-kw>>. Luettu 10.2.2021.
- 28 Solar homes sell for a premium. Verkkoaineisto. Energy.gov. <<https://www.energy.gov/eere/solar/downloads/solar-homes-sell-premium>>. Luettu 15.2.2021.
- 29 Vuosituotannon jakautuminen eri kuukausille. Yrityksen sisäinen materiaali. Luettu 23.9.2020.
- 30 Kuva asennuksesta tasakatolle. Yrityksen sisäinen materiaali. Luettu 25.9.2020.
- 31 Anders Lindfors, Aku Riihelä, Antti Aarva, Jenni Latikka, Janne Kotro. Auringon säteily Helsingin Östersundomissa. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos 2014. <<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135830/2014nro5.pdf?sequence=1>>. Luettu 27.9.2020.
- 32 Aurinkopaneelien hankintaopas. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/aurinkopaneelien_hankintaopas.pdf>. Luettu 28.9.2020.
- 33 Solarweb. Verkkoaineisto. Fronius International GmbH. <<https://www.solarweb.com/PvSystems/Widgets>>. 28.9.2020.
- 34 Aurinkojärjestelmän telineille asennettavien painojen määrä. Oma kuva ohjelmasta. BayWa r.e. <<https://www.solar-planit.de/solarplanit/>>. Luettu 10.2.2021.
- 35 PV*SOL -ohjelman simulaatio. Valentin Software. Oma suunnitelma. Luotu 10.2.2021.