

Pasi Kauppinen

AKUSTOLLINEN AURINKOVOIMALA

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Pasi Kauppinen	Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööri (AMK)	Elokuu 2018
Opinnäytetyön nimi		49 sivua
Akustollinen aurinkovoimala		
Toimeksiantaja		
Lem-Kem Oy		
Ohjaaja		
Arto Kohvakka		
Tiivistelmä		
<p>Tämän työn tarkoituksena oli selvittää Lem-Kem Oy:n asentaman 5,2 kWp:n aurinkosähkövoimalan energiantuotantoa vapaa-ajan asunnossa Kuhmoisissa Keski-Suomessa. Kohteen aurinkosähkövoimalasta tehtiin suunnitelma PVSOL-Premium-ohjelmalla, ja sillä simuloitiin kohteessa mahdollisesti saatava energiantuotto vuoden aikana. Todelliset tuotantotiedot saatiin järjestelmässä olevasta kahteen suuntaan mittaavasta mittarista. Työssä selvitettiin, kuinka ohjelmalla simuloitu tuotto poikkeaa toteutuneesta tuotannosta.</p> <p>Aurinkosähkövoimalana käytettiin Fronius Energy Package -järjestelmää. Järjestelmän pääosia ovat invertteri, Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S. Mahdollinen ylimääräinen energia voidaan varastoida 12 kWh Fronius Solar Battery -akustoon. Järjestelmän aivoina toimii Fronius Smart Meter. Mittarin avulla pystyy seuraamaan järjestelmän toimintaa ja tuottoa reaaliajassa. Lisäksi laitteen muistista saadaan historiatietoja jopa vuoden ajalta. Voimala koostuu 20 aurinkopaneelista.</p> <p>Vuoteen mahtui monenlaista säätä. Kesä 2017 ei ollut kovin aurinkoinen. Talvella oli lunta paljon, ja se näkyi tuotannossa merkittävästi. Tuli pitkiä jaksoja, jolloin tuotantoa ei tullut ollenkaan. Lumien poistaminen paneelien päältä olisi kannattavaa, koska lopputalven aurinkosta saisi paljon energiaa. Sen sijaan kevät 2018 oli aurinkoenergian tuotannon kannalta aivan loistava. Simulaation laskemat ennusteet ylittyivät. Akuston vaikutusta omavaraisuusteeseen tutkittiin kesäkuulta 2018. Työn tavoitteena oli saada tietoa energian vuotuisesta tuotannosta ja akuston toiminnasta. Työn tuloksena saatiin kattavaa dataa aurinkovoimalan tuotannosta vuoden aikana. Akuston hajoamisen vuoksi todellinen tehokkuus jäi selvittämättä. Uskon että koko vuoden omavaraisuusaste olisi ollut suurempi ilman rikkoutumista.</p>		
Asiasanat		
aurinkosähkö, aurinkopaneeli, invertteri		

Author (authors)	Degree	Time
Pasi Kauppinen	Bachelor of engineering	August 2018
Thesis Title		49 pages
Solar power plant with batteries		
Commissioned by		
Lem-Kem Oy		
Supervisor		
Arto Kohvakka		
Abstract		
<p>The purpose of this bachelor thesis was to solve the energy production of 5,2 kW_p solar power plant in the leisure home in Kuhmoinen, middle part of Finland, which has been installed by Lem-Kem oy. The plan of the solar power plant was made by PVSOL Premium software and the possible yield of energy during one year was simulated. The real production data was got from the two-way energy meter, located in the system. In this thesis was solved how the simulates production made by software diverges for the real production.</p> <p>Fronius Energy Package system was used as the solar power plant. The main parts of the system are inverter, Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S. Possible external energy can be stored to the Fronius Solar Battery system. The brain of the system is Fronius Smart Meter. With this meter it is possible to follow the operation and the yield of the system at the real time. In addition the history data of the system is possible to get one year backwards. The solar power plant consists of 20 solar panels.</p> <p>The year contained many kind of weather. Summer 2017 was not sunny. The winter time was very snowy and it was possible to see at the production data. There was long periods, when there was no production at all. Removing the snow above panels would be profitable, because lot of energy is get for sunshine of the end of the winter. Instead the spring 2018 was great time for the energy production. The expectations of the production calculated by simulation were exceeded. The effect of the battery system for the self-sufficiency was researched during June 2018. The target of the thesis was to get information of the production during one year and how the battery system works. The comprehensive data of the production during one year was got as the result of the thesis. The real efficiency of the solar power plant wasn't detected, because the failure of the battery. I believe that without the battery system failure the self-sufficiency of the year would have been better.</p>		
Keywords		
solar power, solar panel, inverter		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LEM-KEM OY.....	8
3	AURINKO.....	8
3.1	Aurinko lukuina.....	9
3.2	Auringosta saatava säteilyenergia.....	9
3.2.1	Säteily maanpinnalla	10
3.2.2	Auringonsäteily Suomessa	11
4	AURINKOKENNO	12
4.1	Historiaa	12
4.2	Aurinkokennojen raaka-aineet.....	12
4.2.1	Yksikiteinen pii.....	13
4.2.2	Monikiteinen pii.....	14
4.2.3	Amorfinen pii	15
4.3	Aurinkokennon toimintaperiaate.....	16
5	AURINKOENERGIA.....	17
5.1	Aurinkoenergia Suomessa	17
5.2	Aurinkosähkön nykytilanne Suomessa.....	18
6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN LAITTEET	20
6.1	Aurinkopaneeli	21
6.1.1	Aurinkopaneelin tunnuslukuja.....	22
6.1.2	Aurinkopaneelin ominaiskäyrä.....	23
6.1.3	Paneelin maksimitehopiste MPP (Maximum Power Point)	24
6.1.4	On-grid-aurinkovoimalan mitoitus.....	25
6.1.5	Paneelien asennuksesta	25
6.1.6	Paneelien energiantuottoon vaikuttavat tekijät	27
6.2	Invertteri	28

6.3	Sähköverkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä	29
7	AKUSTOLLINEN AURINKOSÄHKÖKOHDDE	29
7.1	Kohteen järjestelmäkaavio	29
7.1.1	Järjestelmän suunnittelu.....	30
7.1.2	Aurinkopaneelit.....	31
7.1.3	Asennustelineet.....	32
7.1.4	Invertteri	34
7.1.5	Akusto	35
7.1.6	Fronius Smart Meter.....	36
8	KOHTEEN AURINKOSÄHKÖVOIMALAN SUUNNITTELU.....	37
8.1	PVSOL premium	37
8.2	Odotettavissa oleva tuotto.....	39
9	VOIMALAN TODELLINEN TUOTTO.....	40
9.1	Akuston vaikutus	42
9.2	PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)	44
10	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	47
	LÄHTEET	49

1 JOHDANTO

Aurinkoenergian hyödyntäminen kotitalouksissa sekä teollisuus- ja liikekiinteistöissä lisääntyy koko ajan hurjalla vauhdilla. Järjestelmät kehittyvät ja ovat nykyään jo erittäin luotettavia ja pitkäikäisiä, mutta samalla niiden hinnat tulevat alaspäin. Jos ajatellaan yksityistä kuluttajaa, parhaiten aurinkovoimalat soveltuvat omakotiasujille. Järjestelmällä voidaan tuottaa osa käyttösähköstä ja mahdollinen sähkön ylituotanto voidaan myydä verkkoyhtiölle, joka myy sen edelleen markkinoille. Kesämökeillä pienehköjä aurinkovoimaloita, joiden akkuihin varataan aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä, on ollut käytössä jo varsin kauan kohteissa, missä valtakunnan verkkoa ei ole lähistöllä tai muista syistä sen rakentaminen tulisi kohtuuttoman kalliiksi.

Luulen, että osaksi yksityisten ihmisten into laittaa aurinkovoimalaa asuinkiinteistöihin sekä asunto-osakeyhtiöihin junnaa paikallaan, koska energiatukea ei myönnetä kyseisiin kohteisiin rakennettaviin aurinkovoimaloihin. Kotitalousvähenhennys asennuskustannuksista on tällä hetkellä ainoa tukimuoto. Esimerkiksi monen kerros- ja rivitalon katolla olisi hyvää tilaa ja tasaista kattopintaa aurinkopaneeleille, joiden tuottama sähköenergia syötettäisiin kiinteistösähköön. Oikein mitoittamalla kiinteistösähkön jatkuvan kulutuksen mukaan järjestelmä on mahdollista saada kannattavaksi.

Ongelma ainakin vielä toistaiseksi on se, että Suomessa aikana, jolloin aurinkoenergiaa on hyvin saatavilla eli pitkien valoisien päivien aikana keväästä syksyyn, sähköntarve ja -kulutus ovat pienimmillään. Tulevaisuuden visiona on, että akkuteknologian edelleen kehittyessä on mahdollista saada varastoitua aurinkoenergiaa kannattavasti käytettäväksi sellaisiin ajankohtiin, jolloin aurinkoenergiaa ei ole saatavilla. Onhan akustoja käytössä jo tälläkin hetkellä, mutta niiden hankintahinnat ovat vielä varsin korkeita ja elinikä on paneeleihin verrattuna pieni, joten tuotetulle sähköenergialle tulee korkea hinta akkujen kalleuden takia.

Teollisuus- ja liikekiinteistöissä energiaa kuluu paljon muun muassa prosessien ja rakennusten sisätilojen jäähdytykseen. Eli kesäisenä päivänä auringon

paistaessa aurinkoenergian tuotanto on suurimmillaan, ja samanaikaisesti auringonpaiste aiheuttaa sen, että jäähdytystarve on suurinta.

Monella ihmisellä on ajatuksena se, että eihän Suomessa kannata investoida aurinkovoimaan, koska täällä on niin pitkä talvi ja pimeää muutenkin. Tosiasiassa Suomi, vaikka pohjoisessa sijaitseekin, on aurinkoenergian suhteen samalla viivalla kuin Pohjois-Saksa, lähes samaa luokkaa kuin Frankfurtin korkeudella.

Vaikka Suomessakin eletään vahvaa aurinkoenergian kasvun aikaa, matkaa monen muun maan kapasiteettiin vielä on. Tilastojen mukaan Suomessa menneinä vuosina aurinkoenergian kapasiteetin kaksinkertaistuessa investointikustannukset ovat pudonneet 20 %. Uskoisin, että jos yhteiskunnan tuki koskisi vaikkapa asunto-osaakeyhtiöitä, moni taloyhtiö asennuttaisi katolleen aurinkopaneelit.

Aihe opinnäytetyöhön herätti mielenkiintoni aurinkosähköjärjestelmiin. Aikaisempaa kokemusta aurinkosähköstä ei juurikaan ollut. Alalla on nousukausi menossa, kustannukset pienenevät koko ajan ja sähkön hintaa tulevaisuudessa ei kukaan varmasti uskalla ennustaa. Joten näen tässä alassa potentiaalia pitkälle tulevaisuuteen. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi aurinkosähkön kuuluvia asioita, kuinka auringonvalosta saadaan sähköä ja mitä laitteita vaaditaan aurinkovoimalan rakentamiseen. Lisäksi tässä opinnäytetyössä selvitetään Lem-Kem Oy:n asentaman 5,2 kW:n akustollisen aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelua, mitoitusta, asennuksessa huomioon otettavia asioita sekä järjestelmän tuottoa Keski-Suomessa sijaitsevalla vapaa-ajan asunnolla. Järjestelmä koostuu Hyundai-aurinkopaneeleista asennustelineineen, Fronius-invertteristä, Fronius Energy Package -akustosta, kaapeloinnista sekä älykkäästä kahteen suuntaan sähköenergiaa mittaavasta mittarista laitteiston ja sähköverkon välillä.

2 LEM-KEM OY

Lem-Kem Oy on suomalainen vuonna 1985 perustettu perheyrittys. Lem-Kem työllistää 49 työntekijää ja 33 alue-edustajaa. Liikevaihto oli 13,4 milj. € vuonna 2016. Lem-Kem tarjoaa kokonaisvaltaiset valaistusratkaisut kaikenlaisiin kiinteistö- ja teollisuuskohteisiin. Lem-Kem tarjoaa asiakkaille valaistuksen energiansäästökartoituksia, jolla selvitetään kohteen nykyinen valaistus ja kerrotaan asiakkaalle, kuinka voi saada jopa 65 % energiansäästön siirtymällä energiaa säästäviin valaistusvaihtoehtoihin. Kartoitushjelman avulla selviää, mistä kustannussäästöt syntyvät. Kartoituksen jälkeen tehtävällä valaistus-suunnitelmalla varmistetaan riittävä valon määrä ja laatu.

Lem-Kem Oy:ltä löytyy myös markkinoiden laajin lamppuvalikoima mm. oma lampputuotemerkki Lem-Lux Long Life ja kattava valaisinvalikoima. Kiinteistöjen energiansäästöä voidaan tehostaa myös aurinkoenergialla. Lem-Kem Oy:n tuotevalikoimaan kuuluvat tehokkaat ja asennusvalmiit aurinkovoimalapaketit. Paketteja on tarjolla kesämökeistä omakotitaloihin ja teollisuuteen. Aurinkoisen kesän ansiosta on kova kysyntä aurinkopaneeleista. Paneeleina projekteissa on käytössä mm. TrinaSolar-paneelit, invertteri- ja akkutoimittajana on mm. Fronius. Yhtenä esimerkkituotteena osana eduskuntatalon peruskorjausta Lem-Kem toimitti sekä rakensi modernin aurinkovoimalan pikkuparlamentin katolle. Voimalan tuottamalla sähköllä saadaan energiaa kiinteistön valaistukseen, ilmastointiin ja eri laitteiden lataukseen.

Lem-Kem Oy:n valikoimista löytyy myös kattava valikoima kiinteistöhoitotuotteita ammattimaisen kiinteistöhoiton tarpeisiin, mm. kiinteistöhoitotuotteet ja -välineet sekä teollisuuskemikaalit sekä korkealuokkaiset siivoustuotteet ja ammattitason siivousvälineet.

3 AURINKO

Aurinko on aurinkokuntamme keskustähti, jota maa ja kaikki aurinkokunnan planeetat kiertävät. Aurinko on maapallon merkittävin energialähde, lähes kaikki käyttämämme energia on lähtöisin auringosta. Suoran säteilyenergian lisäksi vesivoima, tuuli- ja aaltoenergia sekä kasvien bioenergiakin ovat kaikki auringon tuottamia. Myös fossiiliset polttoaineet, kivihiihi, öljy ja maakaasu ovat

alun perin lähtöisin auringosta. Nämä kaikki ovat muodostuneet aurinkoenergian tuottamista kasvien jäänteistä.

Aurinkoa voi verrata hyvin suureen ydinvoimalaan. Joka sekunti 600 miljoonaa tonnia vetyä muuttuu auringossa tapahtuvassa ydinreaktiossa 596 miljoonaksi tonniksi heliumia. Reaktiossa runsas 4 miljoonaa tonnia ainetta vapautuu energiana. Ydinreaktiossa jokaisesta auringosta häviävästä grammasta syntyy 25 miljoonaa kWh energiaa. Tämä energiamäärä vapautuu auringosta säteilynä tasaisesti kaikkiin suuntiin. Auringon kokonaissäteilyteho on $385 \cdot 10^{21}$ kW. Suurin osa säteilytehosta menee maan ohitse avaruuteen, maahankin silti jää joka hetki $1,75 \cdot 10^{14}$ kW eli 175 biljoonaa kW. Teho vastaa 109 000 kertaa Olkiluodon kolmosvoimalan teho. (Perälä 2017, 7–8.)

3.1 Aurinko lukuina

Seuraavassa muutamia auringon tunnuslukuja, jotta saa jonkinlaisen käsityksen siitä, kuinka mahtavasta tulipallosta auringossa on kyse.

- Massa $1,99 \times 10^{30}$ Kg eli noin 330 000 kertaa maan massa
- Halkaisija 1 392 000 Km eli noin 109 kertaa maan halkaisija
- Pinta-ala $6,087 \times 10^{12}$ Km² eli noin 11930 kertaa maan pinta-ala
- Tilavuus $1,412 \times 10^{18}$ km³ eli noin 1 304 000 kertaa maan tilavuus
- Keskietaisyys maasta $1,496 \times 10^8$ km
- Pintalämpötila 5776 K
- Ytimen lämpötila noin 16 000 000 K
- Ikä arvion mukaan 5 miljardia vuotta.

Valon nopeuden ollessa 299 793 km/s auringon valo saavuttaa maan ajassa 8 min 18 s. (Tahkokorpi 2016, 21-22.)

3.2 Auringosta saatava säteilyenergia

Auringosta maapallon pinnalla saatavan säteilyn määrä lasketaan käyttämällä aurinkovakiota. Aurinkovakio on energiamäärä, joka auringosta tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän rajalla olevalle 1 m²:n pinnalle. Ilmakehän rajalla aurinkovakion arvo on 1,368 kW/m². Aurinkovakio vaihtelee maapallon kiertäessä elliptisellä radallaan +/- 3,5 %. Aurinkovakion arvoksi ilmoitetaan lähteestä riippuen 1,35-1,39 kW/m². Ilmakehä alentaa aurinkovakion arvon noin 60 pro-

senttiin. Käytännössä maan pinnalla suurin säteily määrä on enimmillään keskellä kirkasta päivää noin 0,8-1,0 kW/m², silloin puhutaan välittömästä aurinkovakiosta. Eli kyseessä on auringosta lähtöisin oleva energiamäärä, joka ilmakehän vaikutuksen jälkeen kohtaa sekunnissa tietyn pinta-alan maanpinnalla. Esim. kun säteilyteho 0,8 kW osuu pintaan tunnin aikana, saadaan energiaa 0,8 kWh. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 11.)

3.2.1 Säteily maanpinnalla

Auringonsäteiden pääsyä maanpinnalle heikentävät merkittävästi ilmakehä, joka koostuu lähinnä vesihöyrystä ja erilaisista molekyyleistä, sekä saasteet ja pöly. Auringonsäteilyn heikkenemisestä on sekä haittaa että hyötyä. Heikkenemisen vaikutuksesta aurinkovakio pienenee sitä enemmän, mitä pidemmän matkan säteily joutuu kulkemaan ilmakehän läpi ja saatu energiamäärä on pienempi. Auringonsäteilyn heikkenemisestä voidaan hyödyksi katsoa se, että ilmakehä säätelee meille haitallisen UV-säteilyn määrää maanpinnalla, jolloin ihmisten altistuminen auringon UV-säteilylle on pienempää. Maanpinnalle tuleva säteily voidaan jakaa ilmakehän vaikutuksen takia kolmeen ryhmään:

- Suora auringonsäteily (I_A), tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä
- Haja (diffuusinen) auringonsäteily (I_D), ilmakehässä olevien molekyylilien ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä
- Ilmakehän vastasäteily (I_V), jota aiheuttavat ilmakehässä oleva vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle.

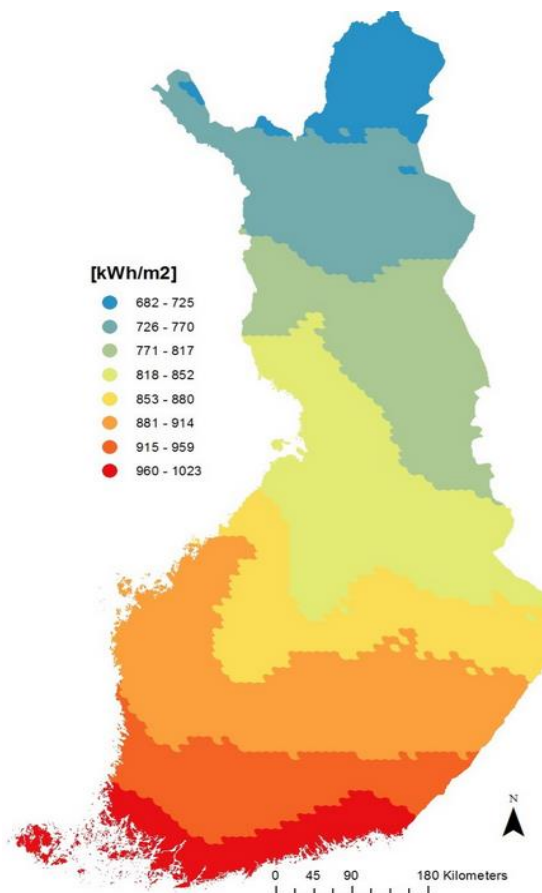
Pilvisenä päivänä 80 % valosta saattaa olla hajasäteilyä, kirkkaana kesäpäivänä osuus on noin 20 % mitattuna vaakasuoralla pinnalla. Näiden säteilyjen summa on pinnalle tuleva kokonaisenergia, josta on vähennettävä pinnan takaisin avaruuteen heijastama pitkäaaltoinen säteily (I_u), jolloin voimme laskea pinnan hyväksi jäävän tehon (I):

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

Suomessa keskimäärin puolet kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Aurinkosäteily mitataan yleensä vain vaakatasolla. (Erat ym. 2008, 12.)

3.2.2 Auringonsäteily Suomessa

Suomi on pohjoisesta sijainnista huolimatta hyvä aurinkoenergiamaa. Esimerkiksi Lappeenrannassa ja Frankfurtissa aurinkoenergiaa on saatavilla yhtä paljon, koska paneelit kallistetaan etelään päin hyödynnettävän säteilymäärän optimoimiseksi. Suomen pohjoisen sijainnin vuoksi vuosittainen säteilymäärä painottuu keväästä syksyyn. Eteläinen ja läntinen Suomi saavat auringonsäteilyä hieman enemmän kuin sisempi Suomi ja Suomen pohjoiset alueet. Rannikkoalueella on yleensä vähemmän pilviä kuin sisämaassa, joka selittää rannikkoalueiden korkeammat säteilymäärät. Suomessa auringonsäteily vaakatasolla ja vuositasolla vaihtelee ollen Etelä-Suomessa noin 1000 kWh/m² ja Keski-Suomessa noin 900 kWh/m². (Erat ym. 2008,13.) Aurinkopaneeliin osuvaan säteilyyn vaikuttaa säteilyn voimakkuuden lisäksi vain laitteen suuntaus. Kuvassa 1 näkyy Suomen vuotuinen säteilykertymä, ja kyseessä on pitkän ajan keskiarvo.



Kuva 1. Säteilykertymä, ilmatieteen laitoksen kartta (Yle 2018)

Kuvassa 1 olevat säteilyarvot ovat vuosien 1981-2010 välisen ajan keskiarvo. Kuten kuvasta käy ilmi, parhaat alueet aurinkosähkön kannalta ovat eteläisessä Suomessa ja länsirannikon alueella. Länsirannikon pilvettömämpi sää näkyy kertymämäärässä selvästi verrattuna saman leveyspiirin säteilykertymään sisämaassa.

4 AURINKOKENNO

4.1 Historiaa

Ilmiönä aurinkosähkö huomattiin jo vuonna 1839. Ranskalainen fyysikko Becquerel havaitsi, että elektrolyyttiin upotettujen elektrodien välinen jännite riippuu valon määrästä. Toisin sanoen Becquerel oli löytänyt valosähköisen ilmiön. Tätä havaintoa pidetään yleisesti aurinkoenergian syntymämerkkinä. Vuonna 1883 yhdysvaltalainen Fritts rakensi ensimmäisen toimivan aurinkokennon seleenistä. (Finlumo 2018.)

Vuonna 1954 yhdysvaltalaisessa Bell-Labs-keskuksessa tehtiin havainto valosähköisestä ilmiöstä piistä valmistetussa pn-liitoksessa. Tästä havainnosta syntyi ensimmäinen auringonvaloa sähköksi muuntava aurinkokenno. Pari vuotta myöhemmin tuli myyntiin aurinkopaneeli suurelle yleisölle, hintaa oli 300 dollaria per watti. (Finlumo 2018.)

1970-luvun loppupuolella markkinoille tuli ensimmäinen aurinkokennolla toimiva taskulaskin. Vuonna 2010 hinnat romahtivat materiaalien halpenemisen ja ylikapasiteetin vuoksi. Viime vuosina tuotantomäärät ovat hurjasti nousseet ja samalla hinnat laskeneet. (Finlumo 2018.)

4.2 Aurinkokennojen raaka-aineet

Aurinkokennojen valmistukseen käytetään puolijohdemateriaalia, pääasiassa piitä. Piitä on maaperässä hyvin saatavilla, se on maan kuoren toiseksi yleisin alkuaine hapen jälkeen, osuus noin 25 % maankuoren massasta, mutta sen puhdistus on isotöistä sekä kallista. Epäpuhtaudet raaka-aineessa laskevat

aurinkokennon hyötysuhdetta. Raaka-aine on joko yksikiteinen, monikiteinen tai amorfinen pii. Nämä ovatkin yleisimpiä aurinkopaneelien raaka-aineita ainakin vielä toistaiseksi.

Lisäksi on muita materiaaleja, esim. galliumarsenidi, joka muodostuu galliumista ja arseenista, jotka ovat piitä harvinaisempia ja lisäksi myrkyllisiä. Ohutkalvoteknologiassa on lisäksi muita raaka-aineyhdistelmiä, mutta ne eivät ole vielä kovin yleisiä.

4.2.1 Yksikiteinen pii

Kennojen valmistukseen käytettävä yksikiteinen pii valmistetaan Czochralskin menetelmällä. Sulatetulla puhtaalla p-tyyppiseksi boorilla seostetulla piillä täytettyyn astiaan lasketaan yksikiteisestä piistä leikattu ohut ja pitkä siemenkide. Kidettä pyöritetään hitaasti sulassa piissä, jolloin sen pintaan kiteytyy sulasta piistä lisää materiaalia. Kiteestä kasvaa näin vähitellen pyöreä, kokonaan yhtä ja samaa piikidettä oleva lieriö. Lieriön jäähtyttyä sen kyljistä sahataan irti 4 palaa niin, että poikkileikkaus on neliönmuotoinen. Kappaleen kulmiin jää pieni pyöritys, joista yksikiteisen kennon tunnistaa. Nykyisin kennon mitta on yleensä 156x156 mm, eli 6x6 tuumaa. Kappaleesta sahataan neliönmuotoisia noin 0,2 mm:n paksuisia levyjä. Levyjen yläpintaan seostetaan sen jälkeen fosforilla vajaan 1/1000 mm:n vahvuinen n-tyyppinen kerros.

Tämän kerroksen sekä p-tyyppisen pohjaosan välille muodostuu rajapinta, johon auringon säteily pääsee tunkeutumaan ohuen n-kerroksen läpi. Lisäksi kennoon liitetään vielä johtimia ja juotosalustoja, joilla kennon tuottama sähkö siirretään eteenpäin. (Perälä 2017, 40.) Yksikiteisen kennon hyötysuhde on parempi kuin monikiteisen kennon sekä tuottaa paremmin pilvisellä säällä, soveltuu esim. mökkikäyttöön paremmin kuin monikidekenno. Yksikiteisestä piistä valmistetun aurinkokennon hyötysuhde voi teoriassa olla korkeintaan 31 %, käytännössä hyötysuhde yksikidekennolla pyörii siinä 17-21 % välissä. (Perälä 2017, 43.)



Kuva 2. Yksikiteinen aurinkopaneeli (Aurinkovirta 2018)

Kuvasta 2 nähdään yksikiteisen aurinkokennon rakenne ja kennojen kulmissa selvästi havaittavat pyöristykset. Paremman hyötysuhteen ansiosta yksikiteinen aurinkopaneeli soveltuu paremmin myös kohteisiin, missä asennusala on rajallinen eli samalta pinta-alalta saadaan enemmän tuottoa kuin monikidepaneeleilla.

4.2.2 Monikiteinen pii

Monikiteiset kennot ovat halvempia, koska niiden valmistus ei vaadi niin tarkkaa työtä. Monikiteiset kennot valmistetaan valamalla, jolloin niihin saadaan silmällä selvästi havaittava monikidemuoto. Monikiteisen kennon hyötysuhde on hiukan matalampi kuin yksikiteisen, ollen noin 16-19 %. Etuna yksikidepaneeliin on, että osittainen paneelin varjostuminen ei alenna monikiteisten paneelien tuottoa yhtä paljon kuin yksikiteisten. Nykyisin monikidepaneelit taitavat olla jo yleisempiä kuin niitä kalliimmat yksikidepaneelit. Suurissa aurinkovoimaloissa käytetään pääsääntöisesti monikidepaneeleja. Paneelien edullisemman hinnan ansiosta menetetyt tuoton huonomman hyötysuhteen johdosta yksikidepaneeliin nähden voi sitten korvata useammalla paneelilla. (Perälä 2017, 44.)



Kuva 3. Monikiteinen aurinkopaneeli (Aurinkovirta 2018)

Kuvassa 3 olevan monikidepaneelin erottaa yksikidepaneelistä kulmista puuttuvista pyörityksistä. Tarkemmin paneelia katsellessa siinä on havaittavissa kennon monikidemuoto.

4.2.3 Amorfinen pii

Amorfista piitä käytetään ohutkalvokennoista koostuvien paneelien valmistukseen. Ohutkalvopaneelia voi taivutella, joten sitä voidaan käyttää kaarevilla pinnoilla. Kiteisestä piistä valmistetuissa kennoissa ongelmana olevaa tuoton huononemista lämpötilan noustessa ei ole ohutkalvopaneeleissa. Lisäksi ohutkalvopaneeli pystyy tuottamaan sähköä, vaikka olisi varjostuksia haittaamassa auringonsäteiden osumista paneelin pinnalle. Näiden paneelien hyötysuhde on noin 50 % yksikiteisten kennojen hyötysuhteesta. Hyötysuhdetta saadaan parannettua käyttämällä monikerrostekniikkaa. Ohutkalvopaneelin ongelmana on useiden kymmenien prosenttien tehon menetys ensimmäisten käyttövuosien jälkeen.



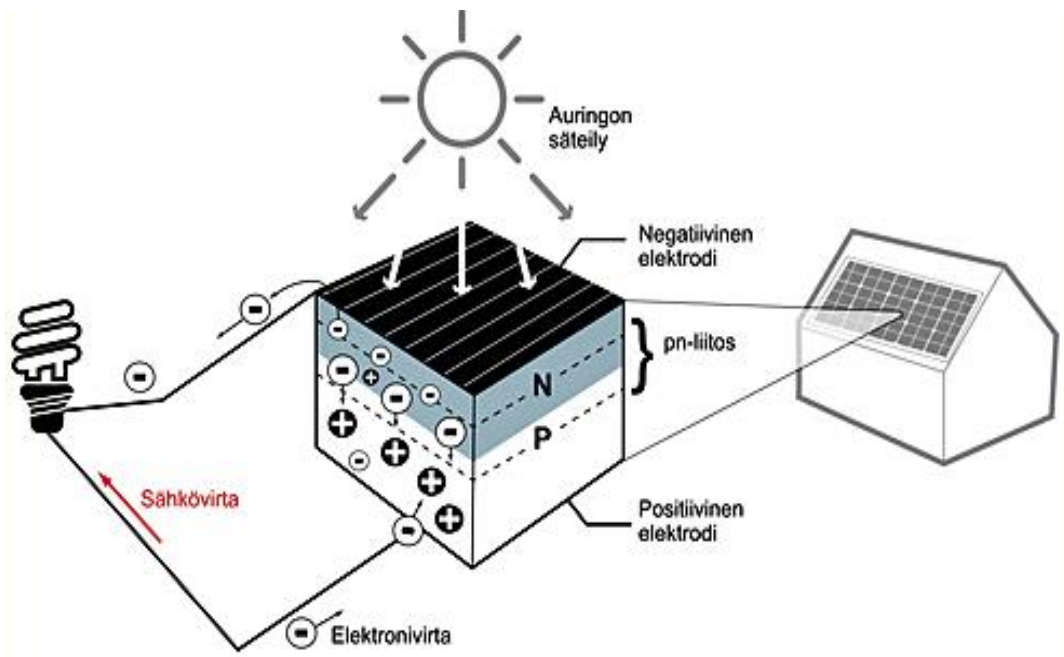
Kuva 4. Ohutkalvopaneeli (Nordic Energy 2018)

Kuvassa 4 olevalla ohutkalvopaneelilla on taipuisuuden ansiosta enemmän käyttökohteita kuin ”jäykällä” paneeleilla. Paneeli on mahdollista kiinnittää esimerkiksi suoraan kattomateriaaliin. Ohutkalvopaneeleita on nykyisin integroitu jopa vaatteisiin ja reppuihin. Koko ajan kehitellään uusia sovelluksia ja materiaaleja, missä ja miten esimerkiksi ohutkalvopaneeleja voidaan hyödyntää.

4.3 Aurinkokennon toimintaperiaate

Aurinkosähkökennot ovat puolijohdekomponentteja eli puolijohdediodeja, jotka tuottavat tasasähköä ns. valosähköiseen ilmiöön perustuen lähes säteilytehonsa verran. Kenno koostuu kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, n-tyyppin ja p-tyyppin puolijohteesta, joiden välissä on rajapinta. N-tyyppin kerroksessa on ylimääräisiä elektroneja ja p-tyyppin kerroksessa on elektroniaukkoja. (Erat ym. 2008, 120-121.)

Kuvassa 5 on nähtävillä pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate. Auringonsäteilyn massattomat alkeishiukkaset, fotonit kuljettavat aurinkon säteilyenergiaa. Fotonien osuessa aurinkokennoon ne luovuttavat energiansa elektroneille eli absortoituvat. Elektronit virtaavat ulkoisen virtapiirin kautta p-tyyppin puolijohteeseen, muodostaen noin 0,5-0,6 V tasajännitteen. Aukko eli positiivinen varauksenkuljettaja siirtyy kennon pn-liitoksessa n-puolelta p-puolelle. Tämä on myös virran kulkusuunta, koska virran suunta on määritetty positiivisten varauksenkuljettajien mukaan.



Kuva 5. Pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate (Motiva 2018)

Erona diodiin on, että diodin toiminta perustuu sen yli vaikuttavan jännitteen suuruuteen, aurinkokennossa fotonit muodostavat absorboituessaan pn-liitokseen sähkövirran. Lisäksi virran suunta diodin sisällä on p-puolelta n-puolelle, aurinkokennossa n-puolelta p-puolelle. Aurinkokennossa ei ole lainkaan liikkuvia osia, senpä vuoksi aurinkokennon tekninen toimintaikä on kymmeniä vuosia. Ainoastaan kennon teho heikkenee vuosien myötä, suuruusluokkaa noin 0,5 % per vuosi.

5 AURINKOENERGIA

5.1 Aurinkoenergia Suomessa

Pohjoisesta sijainnista huolimatta eteläisessä Suomessa on mahdollista saada aurinkoenergiaa yhtä paljon kuin Keski-Euroopassa. Suomen leveyspiireillä olevia pimeitä talvia kompensoi valoisa kesä, jolloin auringosta on mahdollista saada energiaa lähes ympäri vuorokauden. Lisäksi ilma on Suomessa puhtaampaa kuin esim. Saksassa. Koska aurinkokennon hyötysuhde ja tuotto huononee lämpötilan noustessa, Suomen viileämpi ilmasto ei haittaa vaan päinvastoin lisää aurinkosähköjärjestelmän tuottoa. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että Suomessa on mahdollista saada aurinkoenergiaa noin 800 kWh

asennettua aurinkopaneelikilowattia kW_p kohti (Käpylehto 2016, 96). Päästäkseen kyseiseen tuottoon asennusolosuhteiden täytyy olla hyvät, suuntaus optimaalinen, eikä saa olla varjostuksia esim. puita paneelien edessä. Vesistöjen rannoilla sijaitsevat rakennukset ovat hyviä aurinkoenergiakohteita säteilyn heijastumisen vuoksi.

5.2 Aurinkosähkön nykytilanne Suomessa

Juuri tällä hetkellä on menossa kova buumi aurinkosähköjärjestelmien asennuksessa ja sähköverkkoon liittämisenä. Osaltaan asiaa on vauhdittamassa energiatuki, jota voidaan myöntää 25 % kustannuksista uusiutuvan energian investointeihin vuonna 2017. Tukeen ovat oikeutettuja kaikenkokoiset yritykset, mukaan lukien ammatin- ja liikkeenharjoittajat sekä toiminimet. Energiatukeen eivät ole oikeutettuja asunto-osakeyhtiöt, asuinkiinteistöt, maatilat tai niiden yhteydessä toteutettavat hankkeet, valtionosuutta saavat perustamishankkeet eikä valtion virastot tai laitokset. Kotitaloudet eivät ole myöskään tuen piirissä, kotitalousvähennyksenä voi saada arvonlisäverollisesta työn osuudesta 50 %, enintään 2400 euroa vuodessa, edellyttäen että asennuksen tekevä yritys kuuluu ennakkoperintärekisteriin.

Sen sijaan yritykset ovat viime vuosina investoineet paljon aurinkovoimaloihin. Kauppakeskukset, teollisuuslaitokset yms. suurta tasaista kattopintaa sisältävät rakennukset ovat otollisia paikkoja suurillekin paneelimäärille. Vaikka Suomen kesä on lyhyt ja yleensä ei niin hirveän kuuma, silloin kun aurinko paistaa, monenlaisten liike- ja teollisuuskiinteistöjen jäähdytystarve on suurimmillaan.

Koko ajan suunnitellaan ja rakennetaan uutta aurinkoenergiakapasiteettia. Tällä hetkellä Suomen suurimmat aurinkovoimalat ovat teholtaan 900 kW. Seinäjoelle ollaan rakentamassa Atrian tehdasalueelle todella suurta aurinkovoimalaa, jonka teho tulee olemaan valmistuttuaan kaikkiaan noin 6 MW. Voimala sisältää yhteensä 24000 aurinkopaneelia, ja valmistuttuaan se tuottaa noin 5 % tehtaan tarvitsemasta sähköstä vuositasolla. Raumalle on suunnitella vielä suurempi noin 8,7 MW:n aurinkovoimala. Vuoden 2017 lopussa

Suomessa oli yhteensä 70 MWp verkkoon kytkettyä aurinkosähkötehoa, vuoden 2017 aikana kapasiteetti kasvoi 2,5-kertaiseksi (Energiavirasto 2018).

Taulukossa 1 on Suomen 20 suurinta aurinkosähkövoimalaa. Uusien aurinkovoimalaprojektien myötä alla oleva taulukko elää jatkuvasti. Koko ajan on rakenteilla ja suunnitteilla uusia hankkeita (Aurinkoenergiaa 2018).

Taulukko 1. Suomen 20 suurinta aurinkovoimalaa (Aurinkoenergiaa 2018)

1.	Nurmon Aurinko	Nurmo	3700 kW
2.	Ruokakesko Oy	K-citymarket Länsikeskus, Turku	900 kW
2.	Ruokakesko Oy	K-citymarket Kupittaa, Turku	900 kW
4.	Helen Oy	Kivikko, Helsinki	853 kW
5.	Suomen Voima Oy	Hamina	725 kW
6.	Porin Puuvilla	Pori	601 kW
7.	Ruokakesko Oy	Kokkola	528 kW
8.	Kauppakeskus Iso Omena	Espoo	519 kW
9.	Ruokakesko Oy	Tammisto, Vantaa	503 kW
10.	Sanomalehti Kaleva	Oulu	420 kW
11.	Halpa-Halli	Kokkola	397 kW
12.	Cargotec	Tampere	362 kW
13.	Helen Oy	Suvilahti, Helsinki	340 kW
14.	Astrum-liikekeskus	Salo	322 kW
15.	Sun Mikkeli	Mikkeli	300 kW
16.	Kauppakeskus Retail Park	Vantaa	258 kW
17.	HSY	Viikinmäki, Helsinki	257 kW
18.	Polar Spring Oy	Asikkala	254,5 kW
19.	Keravan Energia	Kerava	250 kW
20.	Vakuutusyhtiö Ilmarinen	Helsinki	236 kW

Taulukosta 1 voi huomata, että kauppakeskusten ja isojen päivittäistavara-

markettien katoille on rakennettu paljon suuria aurinkovoimaloita. Voimalainvestointeihin saatava investointituki sekä suurien kauppojen jäähdytystarve silloin kun aurinkovoimaa on hyvin tarjolla, eli tuotto ja kulutus kohtaavat, lie-nee vaikuttanut osaltaan aurinkovoimaloiden asennukseen. Toinen puoli on tuoda esille ympäristöllisiä arvoja mainitsemalla, että osa sähköstämme on tuotettu aurinkoenergialla. Vaikea sanoa, mitä asiakkaat ajattelevat: osa asiakkaista saattaa tehdä valinnan menemällä kauppaan, joka käyttää aurinkoenergiaa käyttämänsä sähköenergian tuottamiseen.

S-ryhmästä on tulossa Suomen suurin aurinkosähkön tuottaja mittavalla 37 000 paneelin eli noin 10 MW:n aurinkosähköhankkeella kauppojen ja huoltoasemien katoille. Tämän projektin jälkeen uskon tuon edellisen listan menevän uusiksi ainakin osittain suurimpien aurinkovoimaloiden osalta.

Vaikka Suomenkin suurimmat aurinkosähköjärjestelmät tuntuvat suurilta, niin maailman mittapuun mukaan ne ovat melko pieniä. Tällä hetkellä maailman suurin aurinkovoimala sijaitsee Kiinassa Tenggerin autiomaassa. Voimalan teho on 1550 MW, ja se kattaa 43 km² alueen. Euroopan suurin voimala sijaitsee Bordeaux'n lähellä Ranskassa, teholtaan 300 MW. (Tekniikka & Talous 2017.)

6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN LAITTEET

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän laitteiden kokoonpano pääpiirteittäin selviää seuraavasta kuvasta 6.



Kuva 6. Verkkoon kytketyn pientalon aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Motiva 2018)

6.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneelissa kytketään useita aurinkokennoja perättäin sarjaan siten, että niistä muodostuu verkkoon kytketyissä järjestelmissä yleensä 200–330 piikkiwatin nimellistehoinen paneeli (Tahkokorpi 2016, 137). Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan huipputehona eli ns. piikkiwatteina (W_p), $1000 W_p = 1 kW_p$. Paneelien nimellisteho on määritetty laboratoriossa standarditestiolosuhteissa (STC, standard test conditions), jossa säteilyintensiteetin arvo on $1000 W/m^2$, lämpötila $25^\circ C$ ja auringon spektri normitettu ilmassalle 1,5. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että auringonsäteet tulevat maahan sellaisessa kulmassa, että ne kulkevat ilmakehässä 1,5 kertaa ilmakehän paksuuden verran. Suomessa tällaiset olosuhteet voivat esiintyä kirkkaana ja kylmänä kevät- tai syyspäivänä. (Tahkokorpi 2016, 138–139.)

On myös toinen tapa ilmoittaa paneelin toimintaa ja ominaisuuksia, NOCT-olosuhteet (nominal operating cell temperature). Olosuhteet ovat seuraavat: ilman lämpötila $+20^\circ C$, säteilyintensiteetti $800 W/m^2$, tuulennopeus $1 m/s$ ja paneelit vapaassa ilmankierrossa eli paneelin takasivu on vapaana. Näissä olosuhteissa kennon toimintalämpötila on noin $+45^\circ C$. Nämä olosuhteet ovat varmaan aika lähellä Suomen kesäpäivän olosuhteita. Paneelin tehontuotto on noin 20–30 % pienempi NOCT-olosuhteissa kuin STC-olosuhteissa.

Paneelin nimellisteho ei missään nimessä ole samalla paneelin maksimiteho. Suotuisissa olosuhteissa säteilystä ja lämpötilasta riippuen tuottaa pitkiäkin aikoja nimellistehoaan enemmän sähköä. Suomessa voidaan päästä yli nimellistehon kevättalvella, jolloin jyrkkään kulmaan asennettuihin paneeleihin osuu suora auringonpaiste sekä auringonsäteiden heijastuksia lumihangesta. Tässä tapauksessa on mahdollista päästä sähköntuotossa jopa 120 prosenttiin ilmoitetusta paneelin nimellistehosta. (Tahkokorpi 2016, 138.) Aurinkosähköpaneelin tuottamaan sähkön määrään vaikuttavat säteilyn määrä, laatu ja kennon materiaaliominaisuudet muuttaa säteilyenergia sähköksi.

Järjestelmän hyötysuhdetta laskevat invertterin ja kaapeloinnin aiheuttamat häviöt. Paneelin hyötysuhteeseen vaikuttaa myös lämpötila. Paneelin pinnalla

olevat epäpuhtaudet sekä esim. lumi ja kuura estävät tai vaimentavat fotonien kulkeutumisen pinnan läpi tuottamaan sähköä. Siksi paneelit on pidettävä puhtaina, jotta sähköntuotanto saadaan pidettyä mahdollisimman hyvänä. Etelä-Suomessa hyvissä olosuhteissa on mahdollista saada vuodessa noin 800 kWh/1kW_p aurinkoenergiaa. Tietenkin pilviset säät, varjostukset yms. vaikuttavat tulokseen.

Paneelin antama teho heikkenee vuosien myötä, valmistajat ilmoittavat esimerkiksi, kuinka paljon tehosta on jäljellä esim. 10 tai 20 vuoden päästä. Tuottavuuslaskelmissa on käytetty laskennassa oletuksena, että paneelin tuotto laskisi 0,5 %/vuosi. Se, kumman paneelin aurinkovoimalaan valitsee, yksikide vai monikide, huolimatta pienestä hyötysuhde-erosta yksikidepaneelin eduksi, ei vaikuta käytännössä juurikaan aurinkovoimalan vuosituottoon. Tänä päivänä kiinteistökäytössä yleisempiä ovat monikidepaneelit. Niiden hinta on huokeampi kuin yksikidepaneelien ja hyötysuhdetta olennaisempi ominaisuus on sähkön tuotantohinta eli mikä aurinkovoimalalla tuotetun sähkön hinnaksi tulee.

6.1.1 Aurinkopaneelin tunnuslukuja

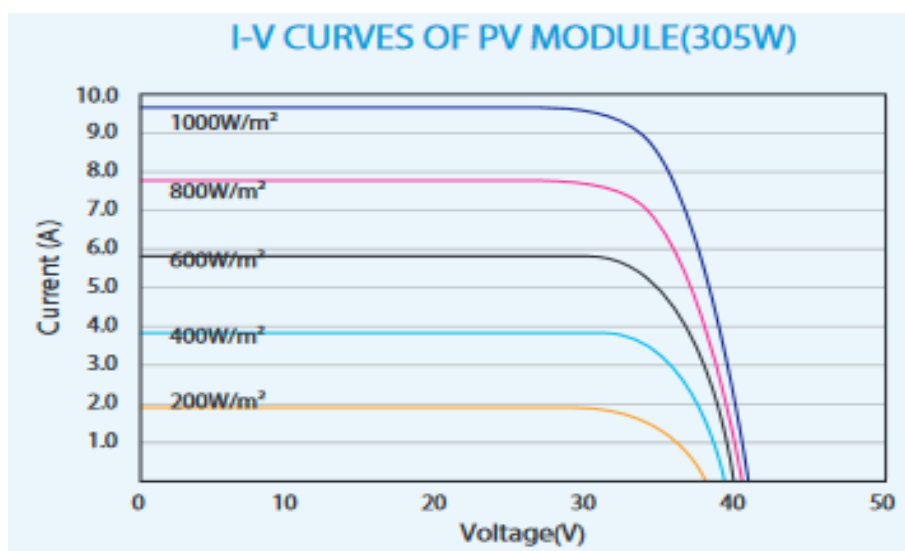
Aurinkopaneelin valmistaja ilmoittaa paneelista löytyvässä tyyppikilvessä teknisiä tietoja kyseisestä paneelista. Tyyppikilvessä on kerrottu, minkä standardin mukaan tiedot on ilmoitettu, joko STC (1000 W/m²) vai NOCT (800 W/m²). Seuraavassa lueteltavat sähköiset ominaisuudet ovat esimerkkejä, mitä arvoja paneelin tyyppikilvestä yleensä löytyy. Saattaa olla muitakin, esim. lumi-kuorma, riippuu valmistajasta. Esimerkeissä käytetty STC-olosuhteita.

- *Maksimiteho P_{max} = säteilyteholla 1000 W/m² paneelin tuottama teho*
- *Virta maksimiteholla I_{mp} = virta, jonka paneeli antaa maksimiteholla*
- *Jännite maksimiteholla V_{mp} = paneelin napojen jännite maksimiteholla*
- *Oikosulkuvirta I_{sc} = säteilyteholla 1000 W/m² oikosuljetun paneelin virta*
- *Tyhjäkäyntijännite V_{oc} = säteilyteholla 1000 W/m² kuormittamattoman paneelin jännite*
- *Järjestelmän maksimijännite = suurin jännite joka sallitaan paneelien sarjakytkennässä, voi olla esim. 1000 V DC, lasketaan tyhjäkäyntijännitteellä*

- Hyötysuhde = kuinka paljon valosta muuttuu sähköksi säteilyteholla 1000 W/m^2
- Tehon lämpötilakerroin = miten paneelin pintalämpötilan muuttuessa muuttuu paneelin tehon tuotto, yksikkö $\%/K$, esim. $-0,4 \%/K$. Eli lämpötilan noustessa asteen, teho vähenee $0,4 \%$
- Avoimen piirin jännitteen lämpötilakerroin, yksikkö myös $\%/K$
- Oikosulkuvirran lämpötilakerroin, yksikkö myös $\%/K$. Poiketen edellisistä, kerroin +-merkkinen, koska lämpötilan nousu suurentaa hieman oikosulkuvirtaa

6.1.2 Aurinkopaneelin ominaiskäyrä

Aurinkopaneelin ominaiskäyrä eli I/U-käyrä kertoo paneelin antaman virran ja jännitteen välisen riippuvuuden eli millä jännitteellä paneeli voi toimia. Ilman kuormaa paneelin virta on 0 A ja navoissa vaikuttaa tyhjäkäyntijännite V_{oc} . Kuorman kasvaessa eli virran noustessa jännite laskee alussa hitaasti, kuorman kasvaessa jännitteen lasku nopeutuu. Otettaessa paneelista maksimivirta, niin paljon kuin paneeli pystyy syöttämään eli oikosulkuvirta I_{sc} , paneelin jännite laskee nolnaan. Kuvassa 7 on erään 305 W aurinkopaneelin ominaiskäyrä.



Kuva 7. Aurinkopaneelin ominaiskäyrä

Yleisimmin paneelivalmistajat ilmoittavat ominaiskäyrät säteilyteholla 1000 W/m^2 . Suomessa useimmiten säteilyteho on alempi. Kuvassa 7 on ominais-

käyrät myös pienemmille säteilytehoille 200,400,600 ja 800 W/m². Kuvasta näkyy miten säteilytehon laskeminen pienentää oikosulkuvirtaa lähes lineaarisesti. Tyhjäkäyntijännitteeseen säteilyn heikkeneminen vaikuttaa varsin vähän.

Säteilytehon lisäksi paneelin tuottoon vaikuttaa lämpötila. Paneelin oikosulkuvirta hieman kasvaa lämpötilan noustessa, mutta jännite sen sijaan alenee nopeammin. Kylmä aurinkopaneeli tuottaa paremmin kuin lämmin, ilmiö johtuu puolijohteen ominaisuuksista. Paneelin lämpötilan muuttuessa 50 astetta, paneelin tuottama teho muuttuu noin 20 % (Käpylehto 2016, 61).

6.1.3 Paneelin maksimitehopiste MPP (Maximum Power Point)

Maksimitehopisteessä aurinkopaneelin tuottama teho on suurimmillaan eli kyseisessä kohdassa on paneelin optimaalinen toimintapiste. Tätä maksimitehopistettä on käytännössä vaikea saavuttaa, koska siihen vaikuttavat säteilyolosuhteet saattavat muuttua hyvinkin nopeasti. Nykyisin ainakin laadukkaimmissa verkkoinverttereissä ovat kehittyneet MPPT-säätimet ja ohjausalgoritmit, joilla voidaan paneeleita kuormittamalla saavuttaa optimaalinen toimintapiste, josta seurauksena on suurin mahdollinen ulos saatava teho. Suuremmissa verkkoinverttereissä voi olla useampia MPPT-säätimiä, joka mahdollistaa eri olosuhteissa olevien paneeliryhmien kytkennän invertteriin esimerkiksi kahdessa tai jopa useammassa eri ryhmässä.

Rakennuksen katon lappeiden ollessa itä-länsisuunnassa voidaan yhden säätimen sisääntuloon kytkeä itään eli aamuaurinkoon päin suunnattu paneeliketju ja toisen säätimen sisääntuloon länteen eli ilta-aurinkoon päin suunnattu paneeliketju. Näin saadaan parempi tuotto kuin kytkemällä kaikki yhteen säätimeen. Asennuksessa on huomioitavaa, että samassa ketjussa olevat paneelit ovat tulee olla samassa valaistusolosuhteessa. Myöskin mikäli osa paneelistosta kärsii esim. puiden aiheuttamista varjostuksista, on suotavaa tuoton kannalta jakaa paneelit eri ketjuihin niin, että osan paneeleista varjostuessa se ei vaikuta koko järjestelmän tuottoon.

6.1.4 On-grid-aurinkovoimalan mitoitus

Kuinka suuri voimala on järkevää ja kannattavaa sekä mahdollista asentaa, riippuu eri tekijöistä. Kannattavan mitoituksen edellytyksenä on tuntea ja arvioida kohteen kulutustiedot, jotka olemassa olevista kohteista ovat saatavilla verkkoyhtiöltä vähintään kuukausittaisina arvioina. Voimalan maksimikokoon vaikuttaa kohteen sähköliittymän pääsulakkeen koko. Eli voimalan nimellisvirta voi olla maksimissaan yhtä suuri kuin sähkökeskuksen etusulakkeen nimellisvirta. (Sähkötieto ry 2017, 75.)

Tavoitteenahan olisi käyttää tuotetusta energiasta mahdollisimman paljon itse, koska sähkön myynti verkkoyhtiölle ei ole kannattavaa.

Mitoitusperusteena voivat olla

-pohjakulutus

-keskimääräinen kuukausikulutus

-käytettävissä olevat asennuspaikat ja niiden pinta-alat.

Pohjakulutukseen perustuvassa mitoituksessa haetaan se kuukausi, jolloin on pienin kokonaiskulutus, sekä mahdollisuuksien mukaan otetaan tarkasteluun tuntikohtaiset kulutukset ja haetaan pienin mahdollinen kulutus. Näin mitoitettuna verkkoon päin syötetään hyvin vähän, jos ollenkaan energiaa.

Keskimääräiseen kuukausikulutukseen perustuvassa mitoituksessa järjestelmän koko hieman kasvaa ja energia käytetään pääosin omassa kiinteistössä. Käytettävissä olevien asennuspaikkojen pinta-alojen mukaan mitoittaessa paneelien sijoituspaikalta kartoitetaan käytettävissä oleva varjostamaton pinta-ala, johon paneelit voidaan asentaa mekaanisesti luotettavasti. (Sähkötieto ry 2017, 78.)

6.1.5 Paneelien asennuksesta

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa ja asennettaessa on otettava huomioon monia asioita. Asennustapa voi olla rakennuksen katolle, seinäasennus rakennuksen julkisivuun tai sitten maan pinnalle rakennettuun telineeseen. Katolle asennettaessa on varmistuttava, että katto kestää tulevien paneelien

painon asennustarvikkeineen. Yleensä tästä ei tule ongelmaa, koska Suomessa katot on suunniteltu kestäämään suuriakin lumikuormia ja aurinkopaneelien asennus katolle vähentää katolle kertyvää lunta. Katon pintamateriaali vaikuttaa paneelien kiinnitystelineiden asentamiseen käytettävään kattokiinnitykseen. Katolle asennettaessa on kyseessä tiilikatto, huopakatto tai normaali peltikatto, asennustyö on hieman työläämpi. Tiilikattoasennuksessa joudutaan poistamaan tiiliä kannakkeiden asennuksen ajaksi, pelti- ja huopakatoilla tarvitaan huolellista tiivistämistä kannakkeiden kiinnityksessä, koska joudutaan menemään pinnoitteen läpi.

Konesaumattuun peltikattoon asennettaessa päästään asennustyössä kaikista helpoimmalla. Kiinnitystapa ei vaadi reikiä katteeseen, jolloin pintamateriaali säilyy ehjänä. Kiinnike puristetaan peltikaton saumaan ruuvilla tai pultilla ja mutterilla. Valmistajasta riippuen kiinnikkeen rakenne poikkeaa toisistaan, mutta periaate on sama kaikissa, ei tarvitse tehdä reikiä kattoon. Kuvassa 8 on opinnäytetyön kohteessa käytettyjä kannakkeita konesaumakattoon.



Kuva 8. Konesaumapeltikaton kiinnike (Orima Oy)

Paneelien asennuskiskot, jotka normaalisti ovat alumiinisia, kiinnitetään kannakkeisiin pulttiliitoksella. Alumiini on hyvä materiaali asennuskiskoihin, kevyttä käsitellä, helppo työstää ja hyvä korroosionkesto. Tavallisimmat kannatusrakenteet ovat 1-kisko ja 2-kiskorakenteet. 2-kiskorakenteessa paneelit tu-

levat enemmän irti kattopinnasta kuin 1-kiskorakenteessa, ilma kiertää paremmin paneelien alla, joka auttaa paneelien jäähtymistä, joka puolestaan parantaa paneelien tuottoa.

6.1.6 Paneelien energiantuottoon vaikuttavat tekijät

Aurinkopaneeliin tulevan energian määrään vaikuttaa säteilyn voimakkuuden lisäksi sen suuntaus. Paneelin suuntaukseen liittyy kaksi kulmaa: kallistuskulma eli deklinaatio ja atsimuuttikulma eli poikkeama etelästä. Kallistuskulma on vaakatason ja laitetasen välinen kulma. Atsimuuttikulma määritellään siten, että suuntaus etelään on 0 astetta, länteen +90 astetta ja itään -90 astetta. Kun säteily osuu kohtisuoraan paneelin pintaan, tulokulma on 0°, mikä on energian tuotannon kannalta paras tulokulma. Maapallon pyörimisliikkeestä akselinsa ympäri johtuen 0° tulokulma kiinteällä pinnalla toteutuu vain kerran tai kaksi kertaa vuodessa. (Tahkokorpi 2016, 17.)

Laitteet tulee sijoittaa aina varjottomaan paikkaan niin, että koko laitteisto saa tasaisesti säteilyä. Etenkin talvella auringon ollessa alhaalla ja varjojen ollessa pidempiä kuin kesäaikaan laitteiston sijainnilla on ratkaiseva vaikutus energiantuottoon. Mitä korkeammalla ja kauempana lähimmistä puista tai muista esteistä paneelit sijaitsevat, sitä parempi on niiden energiantuotto. Paneelien kennojen sarjakytkennän takia yksikään kenno ei saa jäädä varjoon, sillä se ehkäisee täydellisen virrankulun paneelissa. Jos kaikesta huolimatta varjotuksia jää, paneelien pinta-alaa täytyy suurentaa tuottaakseen tarvittavan energiamäärän. Järjestelmän ollessa kiinteästi asennettava suunnataan se yleensä etelään.

Jos laitteiston edessä on esimerkiksi varjostava talo, voidaan se suunnata myös länteen tai itään. Tällä tavalla energiantuotto jää pienemmäksi kuin optimaalisella suuntauksella. Kuormitushuipun ajankohdasta riippuen järjestelmä kannattaa suunnata itään, jos huippu on aamulla ja länteen jos huippu on illalla. Laitteiston sijainnin leveysaste vaikuttaa keskimääräiseen auringon korkeuteen. Suomi sijaitsee 60-70 leveyspiirien välissä, ja nyrkkisääntönä on, että paras kallistuskulma on leveysaste-20 astetta. Eli Suomessa optimikallistus olisi lähellä 45 astetta. Tällä kulmalla laite antaa vuositasolla parhaan

mahdollisimman tehon. Suomessa auringon korkeus horisontista vaihtelee huomattavasti. Jos on mahdollista säätää kallistuskulmaa, voidaan kulma optimoida eri vuodenajoille erikseen. Talvella optimaalisen tehon saadakseen kallistuskulman täytyy olla lähes pystysuorassa. Seinäasennetut paneelit tuottavat hyvin myös keväällä ja syksyllä. On myös olemassa seurantalaitteita, jotka seuraavat auringon liikettä, pitääkseen säteilyn tulokulman pienenä. Paras sovellus seurantalaitteista on kahden akselin seuranta, laite säätää sekä kallistuskulmaa että suuntaa niin että tulokulma on lähellä 0 astetta. Kahden akselin seurantalaite tuottaa lisäenergiaa noin 30 %, mutta on tietysti kalliimpi hankkia kuin kiinteästi asennettu järjestelmä. (Tahkokorpi 2016, 18-19.)

6.2 Invertteri

Aurinkopaneeleilla tuotettu tasasähkö on muutettava verkkoon kytketyissä järjestelmissä sähköverkkoon sopivaksi vaihtosähköksi. Siinä tapauksessa käytetään invertteriä, suomen kielellä vaihtosuuntaajaa, tässä yhteydessä puhutaan verkkoinvertteristä. Pienissä järjestelmissä, yleensä teholtaan alle 3 kW käytetään 1-vaiheisia inverttereitä. Yli 3 kW järjestelmissä käytetään 3-vaiheisia inverttereitä. Verkkoyhtiöiden ohjeiden mukaan vain alle 16 A 1-vaiheinvertterit, eli alle 3680 W tehoiset ovat vinokuorman välttämiseksi sallittuja. 3-vaiheinvertterillä voidaan syöttää paneeleilla tuotettua sähköä rakennuksen sähköverkon kaikkiin kolmeen vaiheeseen.

Suomen sähköverkkoon kytkeminen onnistuu parhaiten, kun verkkoinvertteri on standardin VDE-AR-N-4105 mukainen ja tehtaalla valmiiksi konfiguroitu kyseisen standardin vaatimilla asetuksilla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että invertteri on ohjelmoitu niin, että se ei aiheuta häiriöitä eikä ongelmia sähköverkkoon. Esimerkiksi jännitteen tai taajuuden noustessa tiettyjen rajojen yli tai niiden laskiessa rajojen ali, invertterin tulee kytkeytyä pois verkosta. Verkkojännitteen hävitessä invertterin tulee myös kytkeytyä irti nopeasti. Samoin on määriteltävä aika, jolloin verkkojännitteen palaututtua invertterin tulee kytkeytyä takaisin verkkoon. Hyvälaatuisen invertterin elinikä Suomessa on todennäköisesti yli 25 vuotta. Tehtäessä kustannus- ja kannattavuuslaskelmia ennen laitteiston hankintaa on varauduttava siihen, että invertteri täytyy vaihtaa kerran järjestelmän eliniän aikana.

Hyvälaatuisen verkkoinvertterin hyötysuhde on noin 97,5–98,5 %. Hyötysuhde ilmoittaa kuinka suuren osan invertteri muuttaa aurinkopaneelien tuottamasta tasasähköstä verkkojännitteiseksi vaihtosähköksi.

Kytettäessä aurinkopaneeleita invertteriin täytyy varmistua, että sarjaankytettyjen paneelien jännite ei nouse suuremmaksi kuin verkkoinvertterin suurin sallittu jännite MPP-jännitealueella. Valmistaja ilmoittaa nimellisen tasajännitteen arvon, jolle invertterin sähköiset ominaisuudet on suunniteltu. Tällä jännitteellä invertteri toimii parhaalla hyötysuhteella. Paneelien kytkentöjä suunniteltaessa sisääntulojännite olisi oltava mieluummin jännitealueen yläpäässä, jolloin saadaan parempi hyötysuhde kuin pienemmällä jännitteellä alueen alapäässä.

6.3 Sähköverkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä

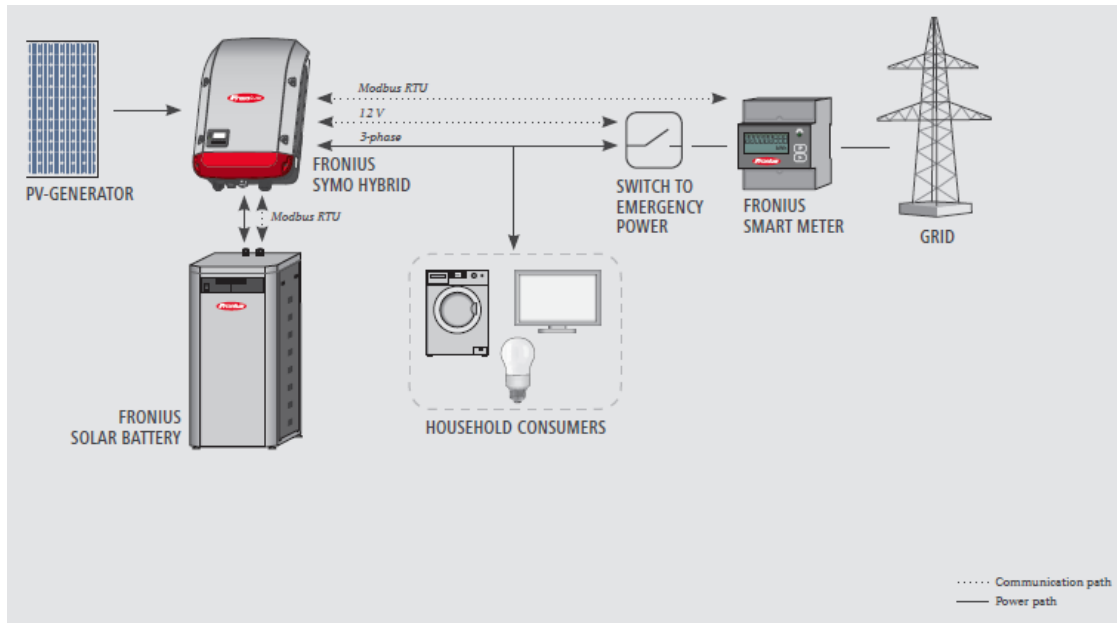
Verkkoon kytketyllä aurinkosähköjärjestelmällä (On-Grid-järjestelmä) tarkoitetaan järjestelmää, jossa aurinkopaneeleilla tuotettu tasasähkö muutetaan invertterillä sähköverkkoon ja jakeluverkkoon sopivaksi vaihtosähköksi. Kun tuottoa ei ole tarpeeksi, puuttuva sähkö saadaan normaalisti sähköverkosta. Ylimääräinen tuotettu sähkö voidaan syöttää verkkoon, mikäli omaa kulutusta ei ole tarpeeksi. On-Grid-järjestelmässä voi olla lisäksi akusto, johon voidaan varastoida energiaa myöhäisempää käyttöä varten.

7 AKUSTOLLINEN AURINKOSÄHKÖKOHDE

7.1 Kohteen järjestelmäkaavio

Kuhmoisessa sijaitsevassa vapaa-ajan asunnossa on asennettuna kuvan 9 mukainen Fronius Energy Package-aurinkovoimalajärjestelmä paneelitehoaan 5,2 kW_p. Vapaa-ajan asunto on epäsäännöllisessä käytössä. Järjestelmän pääosia ovat **aurinkopaneelisto**, jonka tuottama tasasähkö muunnetaan **invertterillä** verkkoon sopivaksi vaihtosähköksi, joko omaan kulutukseen tai syötetään järjestelmässä olevaan **akustoon**. Akustossa oleva lataussäädin katkaisee latauksen akun täytyttyä, jonka jälkeen ylimääräinen energia, mikäli

sitä tulee, syötetään valtakunnan verkkoon. Järjestelmässä oleva **Smart Meter** on älykäs kahteen suuntaan mittaava mittari, joka mittaa verkkoon syötetävän sähköenergian sekä kohteen verkosta ottaman sähköenergian määrän.



Kuva 9. Fronius Energy Package (Fronius 2018)

7.1.1 Järjestelmän suunnittelu

Järjestelmän suunnittelussa on käytetty Valentin Softwaren PVSOL Premium -ohjelmaa. Kyseisellä ohjelmalla voidaan suunnitella 3D-malleja rakennuksista, joiden pintoihin, kattoon tai seinään, ollaan suunnittelemassa aurinkovoimaa. Ohjelma laskee sijainnin perusteella kohteen tuottoennusteen asennettavaksi aiotun voimalan tietojen perusteella, jotka on syötetty ohjelmaan. Ohjelma käyttää säätietoina Meteo Syn sääpalvelun tietokantaa vuosilta 1991–2010. Ohjelmasta löytyy kaikki Suomesta löytyvät sääasemat, joiden mittaus-tietokantaa käytetään laskennassa hyödyksi.

Asennustelineiden suunnittelu on tehty K2 Systems -suunnitteluohjelmalla. Ohjelmaan kerrotaan voimalan sijainti, jonka perusteella ohjelma laskee lumi-kuorman ja tuulen vaikutuksen asennukseen ja sitä kautta käytettäviin asennusmateriaaleihin. Näin saadaan varmasti Suomen välillä jopa haastaviin olosuhteisiin riittävän tukevat telineet paneelien asennusta varten.

7.1.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelien asennusalustana on konesaumattu peltikatto. Paneeleina kohteessa olevassa aurinkovoimalassa on kesäkuussa 2017 autokatoksen katonle 15 asteen kulmaan etelän suuntaan asennettu 20 kpl Hyundai HiS-S260MG -aurinkopaneeleita. Yksittäinen paneeli koostuu 60 kpl yksikiteisistä aurinkokennoista kooltaan 156x156 mm. Koko järjestelmän tehoksi saadaan 5,2 kWp. Paneeliston pinta-ala on 32,3 m². Paneelien asennussuunta vaaka-suoraan.

Paneelin tunnuslukuja, kaikki STC-olosuhteissa:

- Maksimiteho 260 W
- Jännite maksimitehopisteessä 31,0 V
- Virta maksimitehopisteessä 8,4 A
- Jännite ilman kuormaa, avoin piiri 37,8 V
- Järjestelmän maksimijännite 1000 V
- Oikosulkuvirta 8,9 A
- Hyötysuhde 16,1 %
- Tehon lämpötilakerroin -0,45 %/K, eli -1,17 W/K
- Avoin piiri jännite lämpötilakerroin -0,33 %/K, eli -0,125 V/K
- Oikosulkuvirran lämpötilakerroin 0,032 %/K, eli 0,0028 A/K
- Suurin vastakkaissuuntainen virta, jonka paneeli kestää 15 A.

Järjestelmän kaikki paneelit on kytketty sarjaan paneeliketjuksi (string), ja tässä tapauksessa paneeleilta tuleva virta on maksimitehopisteessä 8,4 A. Kyseisillä paneeleilla sarjakytkenässä järjestelmän maksimijännite on 1000 V. Kohteessa oleva invertterin MPPT-säätimen jännitealue on 320-800 V, joka tarkoittaa, että paneeliketjun jännitteen noustessa yli 800 V, säädin lakkaa toimimasta. 20 paneelin sarjakytkenässä jännite on $20 \times 37,8 \text{ V} = 756 \text{ V}$ eli ollaan säätimen jännitealueella. Lämpötilan laskiessa Suomessa talvella esimerkiksi -25°C:een standardiolosuhteen +25°C:sta lämpötilakertoimen vaikutus avoimen piirin jännitteeseen on $(0,33\%/^{\circ}\text{C} \times 50^{\circ}\text{C} \times 37,8 \text{ V}) + 37,8 \text{ V} = 44 \text{ V}$. Eli näin laskien jännite olisi $20 \times 44 \text{ V} = 880 \text{ V}$. Säteiläteho on talvella paljon pienempi kuin standardiolosuhteiden 1000 W/m² eli todennäköisesti jännite ei nouse

kuitenkaan yli 800 V. Invertterin suurin sallittu DC-sisääntulojännite on 1000 V. Tasajännitteen noustessa yli 1000 V invertteri sammuttaa itse itsensä ja palautuu normaalikäyttöön jännitteen laskettua alle 1000 V. Paneelit on varustettu kosteussuojatuilla MC4-liittimillä varustetuilla poikkipinnaltaan 4 mm²:n ja 1 metrin pituisilla liitosjohdoilla. Paneelissa on sisäänrakennettuna 3 ohitusdiodia estämään varjostuksien aiheuttamia tehonmenetyksiä. Yksi paneeli painaa 19 kg, eli kohteessa olevat 20 paneelia painavat yhteensä 380 kg. Kyseiselle paneelille valmistaja lupaa, että 10 vuoden päästä paneeli tuottaa vielä 90 % nimellistehosta ja 25 vuoden päästä tuotto on 80 %.

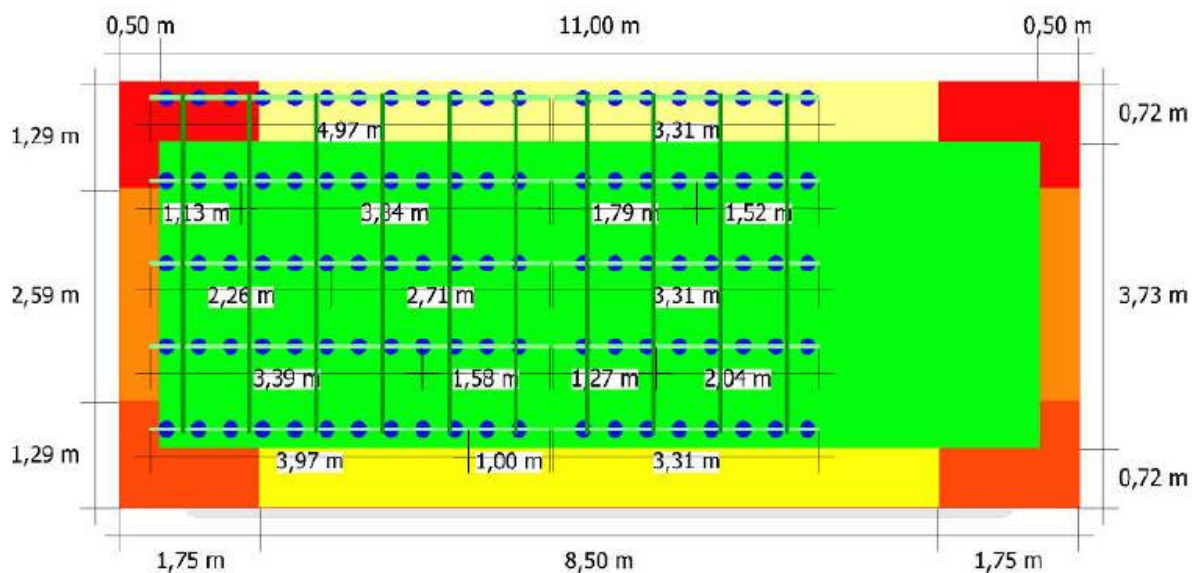
7.1.3 Asennustelineet

Kohteen asennuksessa on käytetty 2-kiskojärjestelmää. Ensimmäiset asennuskiskot 10 kpl on asennettu katon pitkien sivujen suuntaisesti, eli poikittain konesaumakaton pelteihin nähden. Näiden päälle on asennettu toinen kiskosto konesaumakaton suuntaisesti, joiden päälle on vaakasuoraan kiinnitetty paneelit. Kuvassa 10 on kohteessa käytetty asennuskiskotyypä.



Kuva 10. Asennuskisko K2 SolidRail Alpin 60 (K2 Systems)

Asennuskiskot ovat 6,1 m pitkiä. Suunnitteluohjelma mitoittaa kiskostolle kannakkeiden kiinnityspaikat, kiskojen katkaisukohdat niin että hukkapätkiä ei juurikaan jää. Suunnitelman perusteella asentajien on helppo työmaalla suorittaa asennustyö annettujen mittojen perusteella. Eli työmaalla aikaa vievä suunnittelu jää vähemmälle. Kuvassa 11 on ohjelmalla tehty kiskosuunnitelma. Alempien kiskojen pituus, kuvassa vaakasuorassa olevat kiskot, niiden kokonaispituus on 8,28 m ja niitä tulee yhteensä 5 kpl. Ylempien kiskojen pituus on 4,11 m.



Kuva 11. Asennuskiskojen suunnitelma

Kuvassa 11 näkyy alemmissä kiskoissa olevat siniset ympyrät, jotka kuvaavat konesaumakattoon tulevia kannakkeita. Kannakkeita on 20 kpl/kisko eli yhteensä 100 kpl. Kannakkeiden asennusvälinä 400 mm, joka on kyseisen katon pellin saumojen väli.

Ohjelma laskee lisäksi kaikki tarvittavat asennustarvikkeet, mitä järjestelmän asennus vaatii. Kuvassa 12 on listaus asennuksen vaatimista tavaroista.

BILL OF MATERIAL

Position	Number	Article	Quantity	Weight
1	1000888	S-5! Clamp (Kalzip) M10	100	12,500 kg
2	1000637	K2 T-bolt 28/15 M10x20 A2	100	1,670 kg
3	1000042	Hexagon flange nut with serration M10, DIN 6923, A2	100	1,130 kg
4	1000028	K2 SolidRail Alpin 60; 6,10 m	15	156,200 kg
5	1004110	K2 Set Stainless steel angle bracket V2A, 90°	50	7,950 kg
6	1004109	Set Rail connector for K2 SolidRail Medium 42 and Alpin 60	11	4,980 kg
7	1005169	K2 Set End Clamp 34-36mm	20	1,500 kg
8	1005148	K2 Set Middle Clamp, 34-38mm	30	2,430 kg
Sum				188,34 kg

Kuva 12. Kohteen telineiden asennukseen tarvittavat materiaalit

Ohjelma helpottaa suunnittelutyötä. Tarvittavat tavarat voidaan tilata suoraan työmaalle. Listasta löytyy annettujen tietojen perusteella kaikki tarvittava materiaali kiskoista paneelin kiinnitykseen käytettäviin kiinnikkeisiin asti.

7.1.4 Invertteri

Verkkoinvertterinä järjestelmässä on käytössä Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S. Kyseinen invertteri on ns. hybridiversio, eli ylimenevä sähkö voidaan varastoida järjestelmässä olevaan akustoon, mikäli omaa kulutusta ei ole tarpeeksi. Laite on kolmivaiheinen sähköverkkoon tahdistuva 5 kW:n invertteri tiedonkeruujärjestelmällä, jonka voi yhdistää kätevästi kiinteistön sähköverkkoon sekä Fronius-akustojärjestelmään. Invertterin asennus on tehty varsin helpoksi. Invertterissä on seinäkiinnike, joka laitteesta irrottamalla voidaan asentaa ensiksi asennusalustaan. Asennuskorkeus olisi hyvä olla sellainen, että näyttö olisi silmäkorkeudella eli 150–170 cm lattiasta. Seinätelineen asennuksen jälkeen nostetaan invertteri paikalleen telineeseen. AC-liitynnän kaapelin minimipoikkipinta-ala on 2,5 mm² ja maksimipoikkipinta-ala on 16 mm². Kohteessa kaapelina on käytetty MMJ 5x2,5 S kaapelia. DC-liitynnässä kytkentä tapahtuu kytkentäliittimiin ja kaapelin minimipoikkipinta-ala on 2,5 mm² ja maksimipoikkipinta-ala on 10 mm². Järjestelmässä on käytetty 6 mm²:n poikkipintaista aurinkosähkökaapelia, jonka jännitekestoisuus on 1000 V ja määräysten mukaan on lisäksi oltava UV-suojattua eli kestää auringonvaloa vaativissa olosuhteissa.



Kuva 13. Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S (Fronius 2018)

Invertterin teknisiä tietoja:

- Teho 5,0 kW

- 1 kpl MPPT-säädin
- DC-jännitealue 150-1000 V
- Maksimi sisääntulovirta (DC) 16 A
- DC-jännitealue 150-1000 V
- Nimellinen DC-jännite 595 V
- MPPT-jännitealue 320-800 V
- DC-kytkentäpaikkoja 2 kpl
- Maksimi AC-teho 5000 VA.

7.1.5 Akusto

Järjestelmässä akustona on Fronius Solar Battery 12.0. Akusto on asennettu laitekaappiin, koko 955 x 570 x 611 mm (kuva 14). Akkuina järjestelmässä on käytetty litium-rautafosfaattiakkuja (LiFePO_4). Kyseinen akkutyypin on pitkäikäinen ja turvallinen, sekä lisäksi edullisin litiumakkutyypin. Se häviää energiatiheudessa muille litiumakkuille, mutta energiatiheys on esimerkiksi lyijyakuun verrattuna kolminkertainen, noin 100 Wh/kg.

Litium-rautafosfaattiakun yhden kennon jännite on 3,34 V. Akusto on kasattu akkumoduuleista, joiden nimellisjännite on 50,1 V eli moduulissa on 15 kennoa sarjassa. Yksi akkumoduuli painaa 17 kg. Akkukaapin kokonaispaino on 176 kg. Akkumoduulit on kytketty sarjaan, joten akuston jännite on 400 VDC. Yhden akkumoduulin kapasiteetti on 1,5 kWh eli 12 kWh:n järjestelmä koostuu 8 kpl akkumoduuleja. Laitekaappiin mahtuu maksimissaan 8 akkumoduulia eli tässä tapauksessa laajennusvaraa ei ole. Akuston toimintajännite on 120-460 VDC eli akustossa tulee olla vähintään 3 kpl 50 VDC akkumoduuleita. Akustossa on myös akkujen latausta ja purkamista ohjaava BMS-valvontajärjestelmä (Battery Management System).



Kuva 14. Akkukaappi (Fronius 2018)

Käytettävää kapasiteettia akustossa on 9,6 kWh eli 80% kokonaiskapasiteetista. Nimellinen latausteho on 6,4 kW, samoin purkausteho on myös 6,4 kW. Tarkoittaa sitä, että akuston maksimi lataus- ja purkuvirta on 16 A, jännitteen akustossa ollessa 400 VDC.

Akustot ovat vielä edelleen kallis investointi aurinkovoimalaan. Kuitenkin hinnat laskevat koko ajan tekniikan kehittyessä. Tulevaisuudessa akustojen kannattavuus aurinkovoimalassa voi olla ihan toinen.

Harmittavasti kohteessa akuston latausta ja purkua säättävä ohjausjärjestelmä oli hajonnut ja koska kohde ei ole vakituksessa asuinkäytössä, kesti melko pitkään ennen kuin asia tuli ilmi. Vika oli purkanut akuston, jolloin akusto oli vikaantunut toimintakyvyttömäksi. Akusto on siis uusittu kerran ensimmäisen vuoden aikana, takuu korvasi akuston.

7.1.6 Fronius Smart Meter

Fronius Smart Meter on älykäs kahteen suuntaan mittaava mittari. Mittari on DIN-kiskoon asennettava, leveys 4 moduulia. Maksimivirta on 3x63 A. Se mittaa sähköverkosta mm. virran, jännitteen, taajuuden ja tehon. Kyseinen mittari on tämän järjestelmän aivot. Sen avulla pystytään seuraamaan mitä

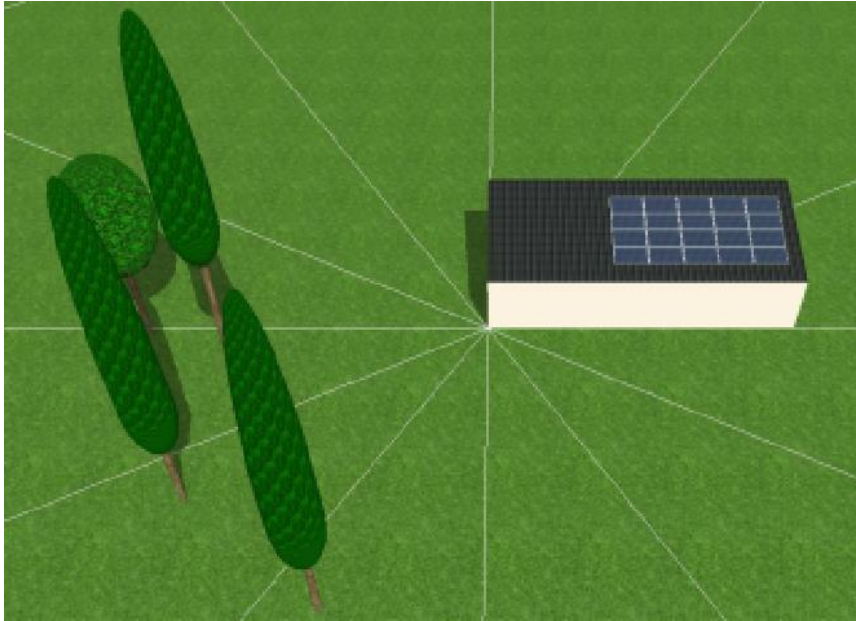
järjestelmässä tapahtuu, paljonko voimala tuottaa, paljonko siitä menee suoraan kulutukseen, paljonko akustoon ja paljonko verkkoon tai paljonko verkosta joudutaan ottamaan ostosähköä. Järjestelmässä invertteri, akusto ja smart meter ovat kytketty toisiinsa Modbus RTU -protokollan välityksellä. Voimalan tuottoa pystyy seuraamaan verkon kautta SolarWeb-palvelun avulla. Esimerkiksi jos itse on poissa kotoa, palvelun avulla on kätevää seurata, mitä aurinkovoimala tuottaa tai kotoa vaikkapa vapaa-ajan asunnolla olevan voimalan tuottoa.

8 KOHTEEN AURINKOSÄHKÖVOIMALAN SUUNNITTELU

Aurinkosähköhän Suomessa on saatavilla tosiaan lähes yhtä paljon kuin Pohjois-Saksassa. Näitten muutamien sateisten ja ei niin aurinkoisten kesien jälkeen ihmisten usko aurinkosähköön saattaa olla koetuksella. Välillä sataa välillä paistaa, siitä johtuen vuotuinen tuotto vaihtelee suuntaan tai toiseen noin 10 %. Pidemmällä tarkastelujaksolla vuosittaiset vaihtelut tasaantuvat. Ja vaikka Suomi pitkä maa onkin niin samanlaisella aurinkovoimalalla, toinen Helsingissä ja toinen Rovaniemellä, niiden ero vuosituotannossa on vain noin 10 % (Käpylehto 2016,116). Tosiaankin, vanhaan kohteeseen voimalaa suunniteltaessa on hyvä käyttää sähköyhtiöltä saatuja kohteen sähkönkulutustietoja, jolloin saadaan sopivan kokoinen voimala, eikä turhaan tuoteta liikaa ylijäämäsähköä myytäväksi sähköyhtiölle, joka ei ole kannattavaa. Koska tässä tapauksessa kyseessä on uudehko kohde, kohteen sähkönkulutustietoja sähköyhtiöltä ei ole saatavilla.

8.1 PVSOL premium

Kohteen asennus sekä energian tuotto-odotukset on luotu Valentin Softwaren PVSOL premium -ohjelmalla. Voimalan laitteiston suunnittelua varten ohjelman tietokannasta löytyy lukematon määrä eri valmistajien inverttereitä ja aurinkopaneeleita. Voimalan sijaintia määriteltäessä ohjelmassa on valmiina useita sääasemia Suomestakin. Paikan sää tietoina ohjelma käyttää MeteoSyn-sääpalvelun tietokantaa ja historiatietoja vuosilta 1991–2010. Ohjelmalla saadaan kohteesta 3D-mallinnus, johon kerrotaan tietoja kohteesta. Kuvassa 15 kohteen 3D-kuva ohjelmalla suunniteltuna.



Kuva 15. 3D-mallinnus kohteesta

Kuvassa 15 näkyy voimalan asennuspaikkana käytetty autokatos/varasto. Kuvasta nähdään myös paneelien asennussuunta eli tässä tapauksessa vaakasuoraan. Katon kaltevuus on 15° ja atsimuuttikulma 0° eli asennussuunta on suoraan etelään. Kohde sijaitsee järven rannalla ja kuvan vasemmassa reunassa näkyvät puut aiheuttavat paneeleille jonkin verran varjostuksia, joka heikentää voimalan tuottaman sähkön määrää. Varjostuksista huolimatta puut on haluttu säilyttää. Ohjelman laskema varjostuksien vaikutuksesta aiheutuva vuosittaisen säteilyn määrän putoaminen näkyy kuvassa 16.



Kuva 16. Varjostuksien aiheuttamat tuoton alenemat paneeleissa PV-SOL-ohjelman mukaan

Ohjelman laskema vuotuinen tuoton alenema varjostuksista johtuen on noin 3 % eli tämän kokoluokan voimalassa tällä asennuspaikalla puhutaan reilun 100 kWh:n menetyksestä. Myöskään lumen vaikutusta tuottoon ohjelma ei ota huomioon, vaan olettaa paneelien olevan vapaana lumesta ympäri vuoden. Tämänlaisessa 15 asteen kulmaan asennetuissa paneeleissa lumi ei helpolla poistu itsestään paneelien päältä. Sen takia oletettu tuotto on pienempi kuin ohjelman laskema, koska viime talvi oli luminen ja paneelien päältä ei ole poistettu lunta missään vaiheessa.

8.2 Odotettavissa oleva tuotto

PVSOL Premium -ohjelmalla saadaan kohteesta annettujen tietojen: sijainnin, paneelien määrän ja asennustavan ja -suunnan perusteella voimalalle vuotuinen tuotto-odotus. Ohjelman laskeman simulaation mukaan kokonaisvuosituotto tulisi olemaan 3822 kWh. Seuraavaksi esitellään laskennan tuloksia, kuinka tähän on päästy.

Kyseisellä paikalla vuotuinen säteily määrä vaakasuuralla pinnalla on 858,5 kWh/m². Kyseinen arvo on suora auringonsäteily, jonka lisäksi paneeleihin vaikuttavaa säteily määrää lisää 15° asennuskulma sekä ympäristön heijastuksista tuleva säteily. Kun näiden vaikutus otetaan huomioon ja säteilystä vähennetään mm. paneelien heijastuksista aiheutuvat tuoton menetykset, päästään säteilyarvoon 886,24 kWh/m².

Paneelien kokonaispinta-ala on 32,34 m² ja näin saadaan koko aurinkopaneeliston alalle tuleva säteilyenergia vuoden aikana, 886,24 kWh/m²x 32,34 m²=28 661 kWh/vuosi.

Paneelin hyötysuhde kertoo, kuinka paljon paneeleihin vaikuttavasta säteilyenergiasta saadaan muutettua sähköksi. Kohteessa olevilla paneeleilla hyötysuhde on 16,1 %. Eli tällä paneelien hyötysuhteella saadaan vuotuisesti tuotoksi 4614 kWh. Tästä energiamäärästä järjestelmässä tapahtuvat häviöt vievät vielä oman osansa tuotosta. Häviöitä muodostuu mm. DC/AC-muunnoksesta, kaapeloinneista, akustoon ladattaessa ja sieltä purettaessa, laittei-

den kuluttamat energiat ja lisäksi esim. paneelien pienet sähköiset erot aiheuttavat häviöitä. Kaiken kaikkiaan häviöitä tapahtuu kohteen järjestelmässä noin 800 kWh eli päästään ohjelman laskemaan tuottoon 3822 kWh.

9 VOIMALAN TODELLINEN TUOTTO

Asennettaessa aurinkosähköä totta kai kiinnostaa voimalalla tuotetun energian määrä. Järjestelmässä oleva Smart Meter mittaa tuotetun, kulutetun sekä myydyn ja ostetun sähkön, ja mittarista saa historiatietoja jopa vuoden ajalta taaksepäin. Vuodet ja varsinkaan kesät eivät ole veljiä keskenään. Se on nyt saatu viimeisen parin kesän aikana todeta. Kesä 2017 muistetaan kovista saateista ja minimaalisesta auringonpaisteesta. Ihmisten usko aurinkoenergiaan lienee ollut koetuksella. Kevät ja kesä 2018 on ollut aivan toista maata. On ollut paljon aurinkotunteja, niinpä aurinkopaneelikauppa on käynyt vilkkaana, voimaloita on asennettu kiihtyvällä tahdilla.

Seuraavaksi tarkastellaan, miten kohteesta saatiin tuottoa. Voimalan sähköntuotannosta on kerättyä mittausdataa aikavälillä 23.7.2017–22.7.2018 eli tasan vuosi. Koska tiedon keräys alkoi kesken heinäkuun, laskemalla yhteen 23.–31.7. 2017 sähköntuotanto ja 1.–22.7.2018 sähköntuotanto, saadaan kuukausittainen sähköntuotanto täysin kuukausin. Heinäkuun tuotto-odotus on jaettu vuosien välillä käyttämällä heinäkuun kuukausituotto-odotusta 666 kWh ja jaettu se heinäkuun päivien lukumäärällä 31. Heinäkuussa 2017 9 vrk tuotto-odotus 194 kWh ja heinäkuussa 2018 22 vrk tuotto-odotus 472 kWh. Taulukossa 2 on kuukausittainen tuotto ja odotettu tuotto sekä niiden välinen ero.

Taulukko 2. Tuoton ja odotetun tuoton vertailu

		Tuotanto		Odotettu tuotto		Erotus	
heinäkuu	2017	135 kWh		194 kWh		-59 kWh	
elokuu	2017	406 kWh		477 kWh		-72 kWh	
syyskuu	2017	196 kWh		291 kWh		-95 kWh	
lokakuu	2017	66 kWh		102 kWh		-36 kWh	
marraskuu	2017	18 kWh		16 kWh		2 kWh	
joulukuu	2017	1 kWh		5 kWh		-4 kWh	
tammikuu	2018	2 kWh		31 kWh		-29 kWh	
helmikuu	2018	0 kWh		84 kWh		-84 kWh	
maaliskuu	2018	0 kWh		307 kWh		-307 kWh	
huhtikuu	2018	257 kWh		531 kWh		-274 kWh	
toukokuu	2018	769 kWh		644 kWh		125 kWh	
kesäkuu	2018	695 kWh		668 kWh		27 kWh	
heinäkuu	2018	473 kWh		472 kWh		1 kWh	
yhhteensä		3018 kWh		3822 kWh		-804 kWh	

Tuotannon määrää verrattuna odotettuun tuottoon on helppo vertailla taulukon 2 perusteella. Seuraavaksi pientä pohdiskelua, päätelmiä ja muutama asia, jotka tuloksista voisi nostaa esille.

Heinäkuu 2017 oli tosi sateinen ja tuotanto sen mukainen. Kelit muuttuivat suotuisimmaksi aurinkoenergialle elokuun puolella, eikä tuotto-odotuksesta jääty niin paljoa, kuitenkin jäätiin noin 2,3 kWh/vrk. Syksy edelleen sateinen ja pimeä. Lokakuun loppupuolella 26. –28.10. tuli ensilumi maahan. Paneelit lumen peitossa, tuotantoa 0 kWh kyseisenä ajankohtana, ennen ja jälkeen on tullut noin 1–2 kWh/vrk. Marraskuussa myös 4 lumista päivää, tuotanto 0 kWh, silti tuotantoa enemmän kuin ennustettu. Runsaslumisesta talvesta johtuen aikavälillä joulukuu-maaliskuu tuotantoa ei käytännössä tullut laisinkaan. Varsinkin maaliskuussa tuli ”lunta tupaan” oikein kunnolla. Maaliskuun tuotanto 0 kWh, odotettu tuotto yli 300 kWh.

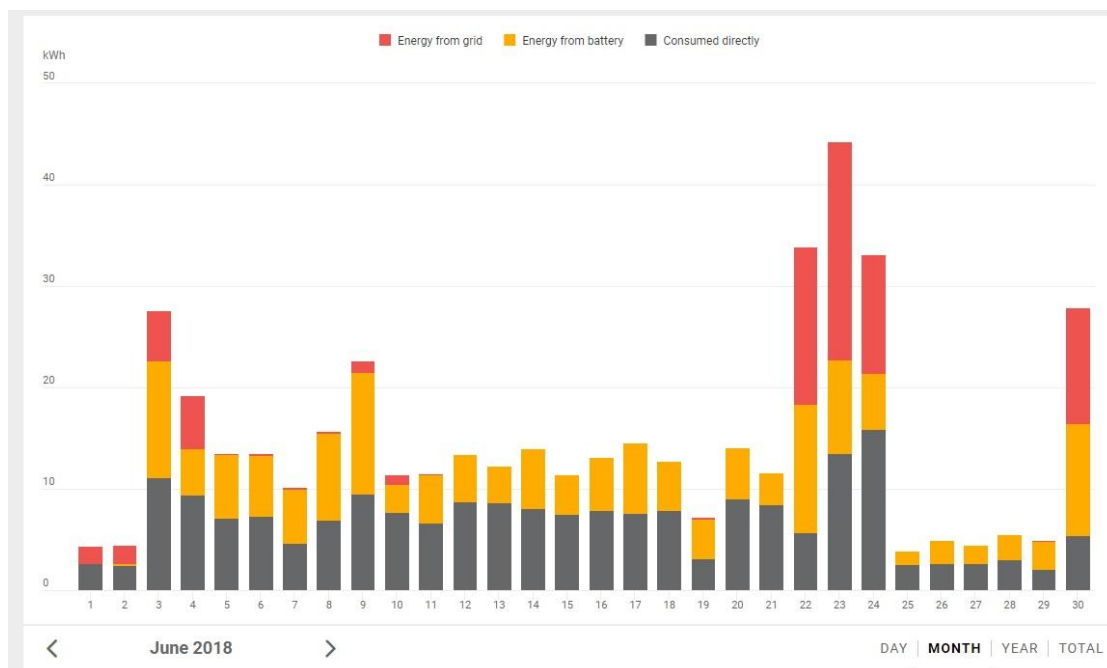
Vielä huhtikuun vuorokausituotannosta on nähtävissä, kuinka lumi on peittänyt paneelit 13.4. asti, ja ainakin osittain siitä syystä huhtikuun tuotanto jäi alle puoleen ennustetusta. Toukokuussa päästiinkin sitten nauttimaan auringosta

ja voimala tuottikin melkein 20 % enemmän kuin oli odotettavissa. Kesäkuusakin tuli enemmän kuin povattiin, ja heinäkuu 2018 meni juuri ennusteen mukaan. Koko vuoden tuotanto jäi 21 % pienemmäksi kuin odotettiin. Pelkästään maaliskuuhuhtikuussa tuotto oli melkein 600 kWh pienempi kuin odotettiin, suurimpana syynä uskon olevan lumen peittämät paneelit.

Suurin yhden päivän tuotto löytyy 12.6.2018. Kyseisenä päivänä voimala tuotti yhteensä 33,4 kWh. Parhaan kuukauden tuotantokeskiarvo vuorokautta kohti on toukokuulta 2018, 24,8 kWh/vrk. Vuosituotantomäärä 3018 kWh vastasi 24,3 % kyseisenä ajankohtana käytetystä kokonaisenergiämäärästä 12412 kWh. Kokonaisuutena tuotto, joka oli yhteensä vuoden ajalta 3018 kWh, oli noin 79 % siitä, mitä oli simuloinnilla saatu tuotto-odotukseksi. Tuotto saattaa tuntua pienelle ennusteeseen nähden. Mutta kuten jo edellä todettiin, mahdollisuudet kyseisessäkin kohteessa parempaan tuottoon ovat olemassa. Pienellä vaivalla paneelien puhdistamisesta lumesta saisi tuottoa enemmän heijastusvaikutuksen ansiosta aikana, jolloin lunta on vielä maassa ja mahdollisesti katolla paneelien vieressä.

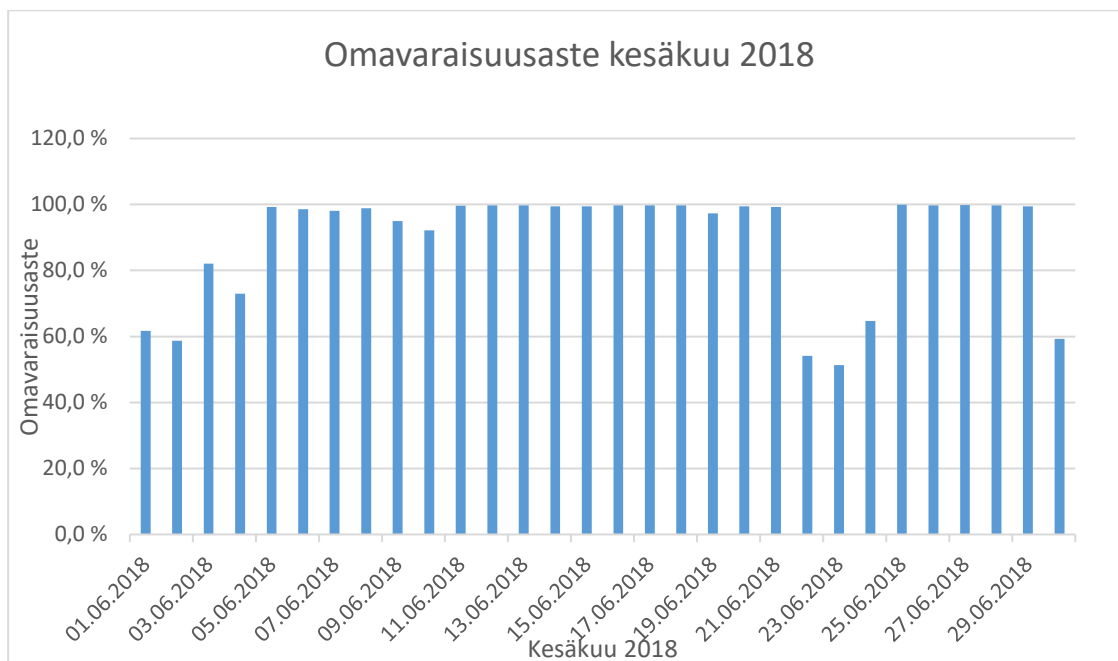
9.1 Akuston vaikutus

Järjestelmässä oleva akusto toimii energiavarastona, mikäli energiasta on ylituotantoa. Solar Web -sovelluksella on mahdollista seurata voimalan tilaa reaaliajassa tai tarvittaessa palata tuotantohistoriassa taaksepäin ja tarkistaa miten voimala on tuottanut. Kaaviossa 1 on kesäkuulta 2018 tallennettua dataa kohteen vuorokausikohtaisesta kokonaiskulutuksesta pylväskaaviona sekä siitä, mistä energia on saatu.



Kaavio 1. Kohteen kulutus kesäkuu 2018

Kohteen ollessa vapaa-ajan asunto, jossa ei asuta vakituisesti, kulutusluke-
mista näkee hyvin päivät, milloin siellä on oleskeltu. Kaaviossa punainen ker-
too verkosta otetun eli ostetun energian, keltainen akustosta puretun ja har-
maa voimalan tuottaman energian, joka on kulutettu suoraan kiinteistössä.
Matalimmat pylväät ovat kiinteistön pohjakuormaa, ilmastointi, lämmityksiä,
mahdollisesti valaistusta. Todennäköisesti näinä päivinä kohteessa ei ole oltu.
Kaaviosta näkyy, kuinka päivinä, jolloin energiankulutus on ollut pienempää,
verkosta ei juurikaan ole tarvinnut energiaa ostaa. Omavaraisuusaste kuvaa,
kuinka paljon voimala pystyy tuottamaan tarvittavasta energiasta. Kaaviossa 2
on kesäkuun 2018 voimalan omavaraisuusaste.



Kaavio 2. Omavaraisuusaste

Akuston vaikutus näkyy hyvänä omavaraisuusasteena aikana, jolloin aurinkoenergiaa on hyvin saatavilla. Päivällä ylimääräinen energia varastoidaan akustoon, josta se sitten yöllä puretaan. Mikäli akustoa ei olisi, päivällä tuotettu ylimääräinen energia olisi myytävä sähköyhtiölle huonoon hintaan ja sitten tarpeellinen määrä energiaa ostettava takaisin päin korkeampaan hintaan. Kesäkuussa 2018 kokonaistuotanto oli 695 kWh, myytäväksi ylijäämäenergiaa jäi 314 kWh ja energiaa ostettiin 78 kWh. Kokonaisuutena voi todeta, että hyvän tuoton aikaan akusto on hyvä ratkaisu, jos haluaa välttää ostoenergiaa. Korkeiden hintojen vuoksi akustojen takaisinmaksuajat venyvät pitkiksi. Tulevaisuudessa tilanne voi olla ihan toisin.

9.2 PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)

On muitakin ohjelmia, joilla voidaan laskea tuotto-odotuksia. Yksi sellainen on verkosta löytyvä PVGIS. Kyseinen sovellus on EU:n rahoituksella tehty työkalu aurinkosähkön tuotannon laskemiseen ja määrittämiseen missä tahansa Euroopassa ja Afrikassa sekä suuressa osassa Aasiaa. Laskennassa sovellus käyttää sijaintia, aurinkopaneelien suuntaa ja kallistusta tuotannon laskemiseen. Vertailun vuoksi suoritin laskennan myös PVGIS-ohjelmalla käyttämällä

samaa kallistuskulmaa 15° ja atsimuuttikulmaa 0° eli suoraan etelän suuntaan. Kuvassa 17 ohjelmaan syötetyt kohteen tiedot. Vertailtaessa näitä kahta ohjelmaa tuloksissa varsinkin kuukausituotoissa on pieniä eroja.

The screenshot shows the PVGIS Interactive Maps interface. The top navigation bar includes logos for JRC and CM SAF, and the title "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps". Below the navigation bar, there are search fields for "Europe", "Africa-Asia", and "Europe", with a search button. The map displays a location in Finland, with a red pin marker. The configuration panel on the right is titled "Performance of Grid-connected PV" and includes the following settings:

- Radiation database: Classic PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 5.2 kWp
- Estimated system losses [0;100]: 14 %
- Fixed mounting options:
 - Mounting position: Free-standing
 - Slope [0;90]: 15° (Optimize slope checkbox is unchecked)
 - Azimuth [-180;180]: 0° (Also optimize azimuth checkbox is unchecked)
- Tracking options:
 - Vertical axis: Slope [0;90] 0° (Optimize checkbox is unchecked)
 - Inclined axis: Slope [0;90] 0° (Optimize checkbox is unchecked)
 - 2-axis tracking: (checkbox is unchecked)
- Horizon file: Selaa... (No selected file)
- Output options:
 - Show graphs: (checkbox is unchecked)
 - Show horizon: (checkbox is unchecked)
 - Web page: (radio button is selected)
 - Text file: (radio button is unselected)
 - PDF: (radio button is unselected)

A "Calculate" button is visible at the bottom of the configuration panel.

Kuva 17. PVGIS-käyttöliittymä

Ohjelmaan syötetään teho, paneelityyppi, asennuskulma, atsimuuttikulma ja häviöt, yleensä käytetään 14 % oletuksena. Laskennan tuloksena saadaan taulukon 3 kaltainen ikkuna. Taulukosta löytyy seuraavat tiedot kuukausittain:

E_d = Keskimääräinen päivittäinen sähköntuotanto kWh

E_m = Keskimääräinen kuukauden sähköntuotanto kWh

H_d = Keskimääräinen päivittäinen säteilysumma neliometriä kohti kWh/m²

H_m = Keskimääräinen kuukauden säteilysumma neliometriä kohti kWh/m²

Taulukko 3. PVGIS-ohjelmalla tehty tuottoennuste

Fixed system: inclination=15°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.39	43.2	0.34	10.5
Feb	5.66	158	1.29	36.2
Mar	10.40	323	2.42	75.1
Apr	17.30	518	4.17	125
May	21.70	671	5.46	169
Jun	21.50	646	5.56	167
Jul	21.00	652	5.50	170
Aug	15.30	476	3.93	122
Sep	9.70	291	2.40	71.9
Oct	4.71	146	1.13	35.1
Nov	1.52	45.5	0.37	11.1
Dec	0.66	20.4	0.17	5.20
Yearly average	10.9	333	2.74	83.3
Total for year		3990		999

15 asteen kulmaan asennettujen paneelien vuoden sähköntuotanto olisi asennuskohteessa taulukosta 3 nähtävissä oleva 3990 kWh. PVGIS, kuten myös PVSOL antaa todellisuudesta poikkeavasti hieman eri lukemia, esimerkiksi ohjelma ei huomioi paneelien päällä mahdollisesti olevaa lunta tai jäätä. Tästä syystä vuodenvaihteen molemmin puolin lukemat ovat PVGIS-sovelluksessa korkeammat kuin todellisuudessa. Sen sijaan kesäkuukausina touko-elokuussa todellisuudessa tulee suurempaa tuottoa kuin PVGIS antaa tuotoksi. Käyttämällä paneelien asennuskulmana suositeltavaa 45 asteen kulmaa, jolla saadaan maksimaalinen tuotto koko vuotta silmällä pitäen, kokonaistuotto olisi 4300 kWh. Eli tässä tapauksessa asentamalla paneelit 15 asteen kulmaan 45 asteen sijaan, tuotto laskee 7,2 %. Kokeilumielessä 30 asteen kulmalla saadaan tuottoa 4250 kWh eli vain 1,2 % vähemmän kuin 45 asteen kulmalla. Pieniä eroja ohjelmien kesken on, mutta suuruusluokat ovat lähellä toisiaan. Yleensä ottaen ennustetut tuotot pitävät melko hyvin paikkaansa.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Oli asia sitten mikä tahansa, aina löytyy monenlaisia mielipiteitä. Monen sateisen ja pilvisen kesän ansiosta en ihmettele yhtään ihmisten ennakkoluuloja aurinkoenergiaa kohtaan. Meitä on moneksi, kannattavuus ja takaisinmaksuaika on varmaan eniten kysymyksiä herättävä aihe puhuttaessa aurinkoenergiasta. Lainatakseni alan guria Janne Käpylehtoa, ”Kysytäänkö auton hankinnan takaisinmaksuaikaa”, ei kysytä, ja vaikka kysyttäisiin, sataprosenttisen varmasti aurinkovoimalan takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin auton takaisinmaksuaika.

Voimalan tuotto reilu 3000 kWh tarkoittaa sähkölaskussa 300–400 euron säästöä riippuen sopimuksesta, millä hinnalla energian saa. Näin laskien investoinnin takaisinmaksuaika kasvaa pitkäksi. Tulevien vuosien sähkön hintaa ei kukaan pysty varmasti ennustamaan, mutta todennäköisesti se ei ainakaan tule laskemaan. Todennäköistä on, että energian hinnan noustessa ja tekniikan halventuessa investointien takaisinmaksuajat tulevat lyhenemään. Sähkön energian hinta on vain osa koko sähkölaskusta. Siirtohinnoissa tuntuu olevan koko ajan korotuspaineita, sekä sähköverot ovat jatkuvasti nousseet. Tekniikan kehittyessä, varsinkin paneelien ja akkuteknologian kehittyessä ja järjestelmien hintojen laskiessa, näen kannattavana investoida aurinkosähköön. Mittoittamalla järjestelmän oikein välttää ylimääräisen energian myynnin sähköyhtiölle huonoon hintaan.

Nykyaikaiset laitteet mahdollistavat tuoton seurannan jopa reaaliajassa ja sitä kautta ihmisten sähkönkäyttö saattaa muuttua, ja sehän näkyy sitten sähkölaskussa asiakkaan eduksi. Varsinkin näin sähköalalla työskentelevänä oli mielenkiintoista seurata, miten opinnäytetyön kohteena oleva voimala on tuottanut.

Aurinkovoimalan sijoituksessa on tärkeää löytää asennuspaikalta paras mahdollinen paikka. Mikäli tarve vaatii, on järkevää ja kannattavaa kaataa mahdollisesti paneeleita varjostavat puut pois. Paneelien jakaminen vaikkapa useamman invertterin kesken, jos asennusolosuhteet niin vaativat, esimerkiksi rakennuksen sijainnin vuoksi, on kannattavaa.

Lisäksi Suomessa lunta on yleensä talvesta riippuen enemmän tai vähemmän. Siksi paneeleiden puhdistaminen varsinkin siinä vaiheessa talvea, kun kevätaurinko alkaa paistaa helmi-maaliskuussa, on kannattavaa. Tietenkin on oltava varovainen, ettei riko paneeleja. Keväällä ilma on puhdasta, ja pitämällä paneelit puhtaina lumesta ja muistakin roskista varmistaa maksimaalisen tuoton. Eli pienellä vaivalla saa suuren hyödyn.

Aurinkoenergiaan ja aurinkosähköön tutustuminen tämän opinnäytetyön tiimoilta entisestään lisäsi mielenkiintoa aihetta kohtaan. Ainakin nyt olen sitä mieltä, että jossakin vaiheessa oman taloni kattoa tulee peittämään aurinkopaneelit. Uskallan myös suositella niitä mahdollisesti minulta asiaa tiedusteleville. Aurinkoenergia on siisti juttu, ottakaamme siitä kaikki irti. Eli kaikki joukolla aurinkosähköä asentamaan!

LÄHTEET

Aurinkoenergiaa 2018. WWW-dokumentti. Muokattu 2.7.2018. Saatavissa: <http://www.aurinkoenergiaa.fi/aurinkoenergiaa.html> [viitattu 14.7.2018]

Aurinkovirta 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/aurinkopaneelit/> [viitattu 15.5.2018]

Energiavirasto 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/-/sahkonpientuotanto-kovassa-kasvussa-aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-2-5-kertaistui-vuodessa> [viitattu 17.7.2018]

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

Finlumo 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finlumo.fi/aurinkoenergian-historiaa/> [viitattu 17.6.2018]

Fronius 2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/Datasheets/SE_DS_Fronius_Energy_Package_EN.pdf [viitattu 17.7.2018]

Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus.

Motiva 2018. WWW-dokumentti. Alkuperäinen kuva: Ahoranta, J. Aurinko-
kenno. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat [viitattu 13.5.2018]

Motiva 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma [viitattu 13.5.2018]

Nordic Energy 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nordic.energy.fi/pv-sovellustuotteet-ciggs/7-ohutkalvopaneelit-300w.html> [viitattu 17.7.2018]

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer /Karisto Oy.

Sähkötieto ry. 2017. ST-Käsikirja 40, Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus.

Yle 2018. WWW-dokumentti. Julkaistu 9.11.2015. Muokattu 12.11.2015. Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/09/suomen-saan-valoisa-puoli-aurinkopaneeli-tuottaa-parhaiten-kylmassa> [viitattu 15.5.2018]