

Anssi Ahvenjärvi

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN ANALYYSI JA OPTIMOINTI

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

2020



AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN ANALYYSI JA OPTIMOINTI

Ahvenjärvi, Anssi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2020
Sivumäärä: 37
Liitteitä: 4

Asiasanat: Aurinkosähköjärjestelmä, sähköenergia, optimointi, turvallisuus

Tässä opinnäytetyössä analysoitiin aurinkosähköjärjestelmää ensiksi teoriapainotteisesti keskittymällä aurinkovoiman valjastamisen historiaan ja kuinka auringon säteilystä käytännössä saadaan sähköenergiaa. Teoriaosuudessa analysoitiin myös aurinkosähköjärjestelmän haitallisia olosuhteita ja yritettiin löytää niihin toimivia ratkaisuja.

Kun aurinkosähkö oli teoriassa käyty läpi, siirryttiin tarkastelemaan kohteessa olevaa aurinkosähköjärjestelmää ja käytiin läpi sen tuottama sähköenergia. Kohteessa oli hie-man haitallisia varjokohtia, joiden epäiltiin aiheuttavan tuotannon alenemaa. Työssä yritettiin löytää oikeat keinot optimoida järjestelmää.

Tutkimuksessa tutkitaan, onko järjestelmän tuotanto optimaalinen sijaintiinsa nähden. Tutkimus toteutettiin vertailemalla saatua tuotantoa muihin Suomessa oleviin aurinkosähköjärjestelmiin ja ajamalla tietokoneella simulointiohjelman, joka arvioi kohteen teoreettisen sähköenergian tuotannon.

Tutkittava kohde sijaitsee voimalaitoksen katolla ja siellä huomattiin myös rakenteellisia ongelmia, jotka rasittavat kohteen kattorakennetta. Järjestelmän turvallisuus oli tärkein yksityiskohta, kun tutkittiin mahdollisia ratkaisuja ongelmiin.

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Ahvenjärvi, Anssi

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and automation engineering

February 2020

Number of pages: 37

Appendices: 4

Keywords: Solar photovoltaic system, electricity, optimization, safety

In this thesis the photovoltaic system was first analyzed with a theoretical focus, focusing on the history of solar power harnessing and how solar radiation turns into electricity in practice. The theoretical part also analyzed the harmful conditions of the solar photovoltaic system and tried to find workable solutions for them.

After the theory of the photovoltaics had been reviewed, we went over to look at their photovoltaic system on site and the electricity it produced. There were some harmful shadows that were suspected to cause a drop of the production. This work attempted to find the right ways to optimize the system.

The study investigates whether the system's production is optimal relative to its location. The research was carried out by comparing the obtained production with other solar photovoltaic systems in Finland and running a computer simulation program that evaluates the theoretical electricity production of the system.

The system under investigation is located on the roof of the power plant and there were also structural problems that stress the roof structure of the site. The safety of the whole system was the most important detail when exploring possible solutions to problems.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA.....	6
2.1	STEP.....	6
2.2	STEP Harjavalta.....	6
3	YLEISTÄ AURINKOSÄHKÖSTÄ	7
3.1	Aurinkoenergian historia	7
3.2	Auringon säteilyenergia.....	8
3.2.1	Suomen Säteily määrä.....	9
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	11
4.1	Järjestelmätyypit	11
4.2	Aurinkosähköjärjestelmät maailmalla.....	12
4.2.1	Järjestelmät Suomessa	13
4.3	Aurinkopaneelit.....	13
4.3.1	Toiminta	14
4.3.2	Aurinkokenno	15
4.4	Asennuspaikka ja ympäristö	17
4.4.1	Idealiset olosuhteet	18
4.4.2	Haitalliset olosuhteet.....	20
5	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TARKASTELU.....	23
5.1	Sjainti.....	23
5.2	Rakenne	23
5.3	Tuotto	26
6	VERTAILU	28
6.1	PVGIS.....	29
7	JÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI	31
7.1	Rakenne	31
7.2	Järjestelmätason muutokset	32
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	34
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on analysoida voimalaitoksen katolla olevan aurinkosähköjärjestelmän toiminta ja tutkia perusteellisesti minkälaisiin olosuhteisiin järjestelmä on rakennettu. Saatujen mittaustuloksien, sekä muiden havaintojen perusteella työssä keskitytään löytämään järjestelmän ongelmat ja löytämään niille paras mahdollinen ratkaisu.

Opinnäytetyössä perehdytään aluksi teoriapuoleen aurinkosähköstä keskittyen järjestelmän ideaalisiin olosuhteisiin ja selvittämään samalla yleiset tuotantoa laskevat häiriitekijät. Työssä pureudutaan myös järjestelmien erilaisiin rakennustapoihin ja tutkitaan niiden vaikutusta järjestelmän elinkaareen ja asennuspaikkaan kohdistuvaan mekaaniseen rasitukseen.

Vuodelta 2019 saatuja aurinkosähköjärjestelmän mittaustuloksia tarkastellaan, onko tuotanto optimaalista. Vertailua muihin järjestelmiin tehdään, jotta nähdään käytännön vaikutus esimerkiksi varjoilla energian tuotantoon. Sähköenergian tuotannon perusteella tutkitaan mahdollisia optimointitapoja ja niiden järkevyyttä.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää aurinkosähköjärjestelmän kipukohdat ja löytää niihin kannattavat parannukset, jotka parantavat energiantuotantoa, sekä järjestelmän elinkaarta. Järjestelmä sijaitsee suurella teollisuusalueella voimalaitoksen katolla, joten turvallisuus on ensiluokkaisen tärkeä asia.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

2.1 STEP

Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy tuottaa ja toimittaa teollisuuden asiakkaille kestäviä energiaratkaisuja. Keskeisessä asemassa ovat asiakkaiden tarpeet ja energiaratkaisujen räätälöiminen asiakkaan haluamaksi ja mahdollisimman energiatehokkaaksi. Tuotteita ovat muun muassa höyryn, lämmön, jäähdytysenergian ja paineilman tuotanto, sekä erilaisten prosessivesien valmistus teollisuuden käyttöön STEP on Veolian (51%) ja Pori Energian (49%) omistama yhteisyritys, jossa yhdistyy kansainvälinen osaaminen ja paikallinen tietotaito. (STEP www-sivut 2019.)

STEP on perustettu vuonna 2008 ja aluksi se oli Pori Energian pääomistuksessa, mutta vuoden 2015 osakeannissa Veolia lisäsi omistusosuuttaan ja siirtyi suurimmaksi omistajaksi. Toimipisteitä STEPillä on vain Suomessa. Toimipiste on Harjavallassa, Porissa, Helsingissä ja Koskenkorvalla. Voimalaitokset sijaitsevat Harjavallassa, Koskenkorvalla, Seinäjoella ja Kaustisissa. Viime tilikautena 12/2018 STEP teki yli 39 miljoonaa euroa liikevaihtoa ja sen nettotulos oli 1,36 miljoonaa euroa positiivinen. Henkilöstön määrä on viimeiset vuodet pysynyt noin 40 hengessä. (Kauppalehti www-sivut 2019.)

2.2 STEP Harjavalta

Harjavallan Suurteollisuuspuistossa toimiva STEPin voimalaitos tuottaa pääasiassa höyryä, lämpöä, paineilmaa eri painetasoilla ja vesituotteita Suurteollisuuspuiston yrityksille. Lisäksi voimalaitos tuottaa kaukolämpöä Harjavallan kaupungin kaukolämpöverkkoon, jota operoi Pori Energia Oy. Voimalaitoksen suurin kattila on 2015 valmistunut 30 MW höyrykattila, jonka polttoaineena käytetään puupellettiä. STEPin suurimmat kumppanit alueella ovat Nornickel Harjavalta Oy ja Boliden Harjavalta Oy. (STEP www-sivut 2019.)

3 YLEISTÄ AURINKOSÄHKÖSTÄ

3.1 Aurinkoenergian historia

Aurinkoenergiaa käytettiin ensimmäisenä hyväksi Aasiassa passiivisena energianlähteenä jo kauan ennen ajanlaskun alkua. Hyvä esimerkki tästä on suurien ikkunoiden sijoittaminen etelän suuntaan, jotta Auringon säteet pääsevät talvella lämmittämään taloa. Asumuksiin rakennettiin pitkät katon liepeet, jotta kesällä, kun Aurinko paistaa korkeammalta, se ei pääse kuumentamaan sisätiloja tukalan kuumaksi. Talvella Aurinko paistaa huomattavasti matalammalta eivätkä katon liepeet estä auringon säteilyä pääsemästä taloon.

Albert Einstein julkaisi vuonna 1905 kuuluisan suhteellisuusteorian ja sen mukana myös selityksen valosähköisestä ilmiöstä, jonka Heinrich Hertz oli jo havainnut vuonna 1887. Einstein käytti hyväkseen esityksessään Max Planckin kvanttiteoriaa, jossa Planck oli kertonut, että lämpösäteily välittyy tietyn suuruisina kvantteina ja, että tämän kvantin energia on suoraan verrannollinen säteilyn taajuuteen. Einstein osoitti että, kvantin energia pysyy myös yhtä suurena, kun se absorboituu eli välittää energian yhden elektronin kanssa. Kvantin energian pitää olla riittävän suuri, jotta se pystyy irrottamaan elektroniverhosta yhden elektronin. (Valosähköisessä ilmiössä nykypäivänä käytetään yleisesti nimitystä fotoni, kun puhutaan kvantista). Valosähköisen ilmiön avulla juuri auringon säteily saadaan muutettua sähköenergiaksi. (Elert 2019.)

Kvantin eli fotonin energia lasketaan yhtälöstä

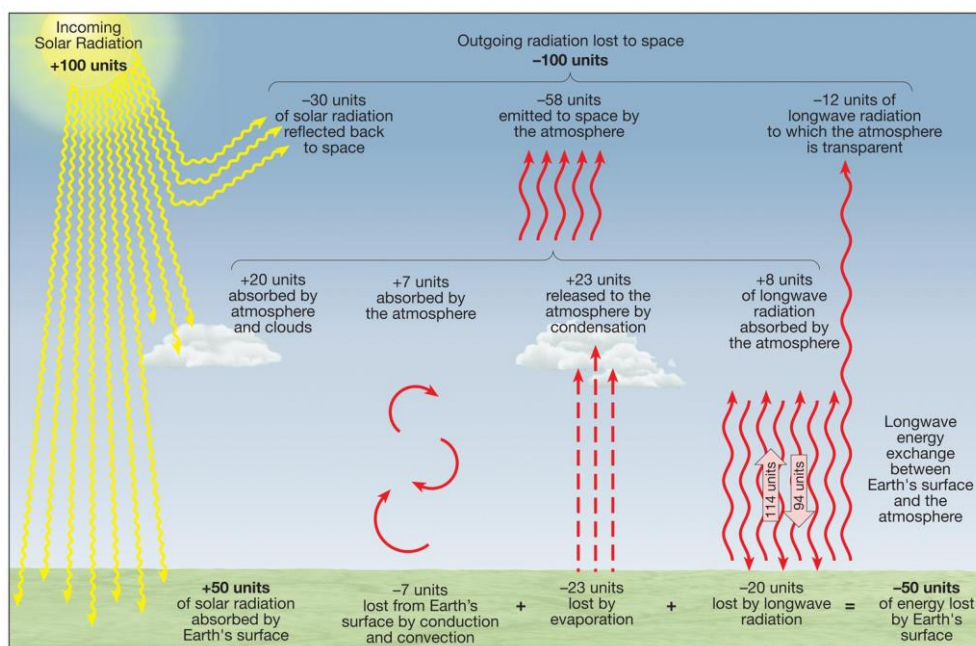
Kaava 1
$$E = hf$$

missä h on Planckin vakio ja f säteilyn taajuus. (Tekniikan kaavasto 2015.)

3.2 Auringon säteilyenergia

Tässä kappaleessa käsitellään suoraan auringosta hyödynnettävää energiaa, eikä epäsuorasti hyödynnettäviä, koska lähes kaikki energia on peräisin auringon säteilemästä energiasta. Insolaatio on auringosta saatavaa suoraa säteilyenergiaa, jota voidaan pitää tärkeimpänä elämän edellytyksenä. Oikeanlainen etäisyys säteilylähteestä, meidän tapauksessamme auringosta, on myös elintärkeää, jotta vesi pysyy nestemäisessä muodossa mahdollistaen elämän synnyn. Maa sijaitsee juuri optimaalisella etäisyydellä säteilylähteestä. (Lähde 2019.)

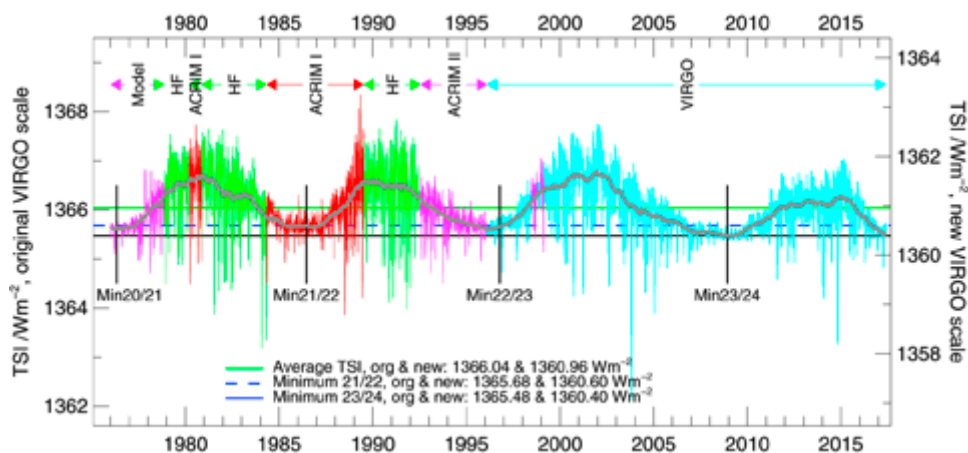
Auringon säteilemä energia on valtavan suuri, eikä siitä saavu Maahan, kuin häviävän pieni osa, koska suurin osa leviää ympäri aurinkokuntaamme avaruuteen. Silti säteilyenergiaa saapuu Maahan jatkuvasti keskimäärin 175 biljoonan kilowatin teholla. Tästä tehosta kuitenkin osa jää matkan varrelle, tai heijastuu takaisin. (Lähde 2019.) Kuvassa 1 on havainnollistettu Maan ilmakehään saapuva säteily ja mihin sen energia heijastuu.



Copyright © 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.

Kuva 1. Maan ilmakehän ja maanpinnan vaikutus säteilyyn (Pearson Prentice Hall 2007)

Säteilyenergian keskimääräistä kertymistä Maan ilmakehään kutsutaan nimellä aurinkovakio ja, se on noin 1360 wattia neliömetrille (W/m^2), joka hieman vaihtelee, koska maa ei ole täysin pyöreä, sekä Auringossa esiintyy jaksoittaisia pilkkujaksoja, jotka muuttavat hieman aurinkovakiota. (Ilmatieteenlaitos www-sivut 2019.) Kuvassa 2 nähdään, kuinka aurinkovakio on muuttunut 40 vuoden aikana. Kuvasta 2 on helppo nähdä esimerkiksi aurinkopilkkujaksot.



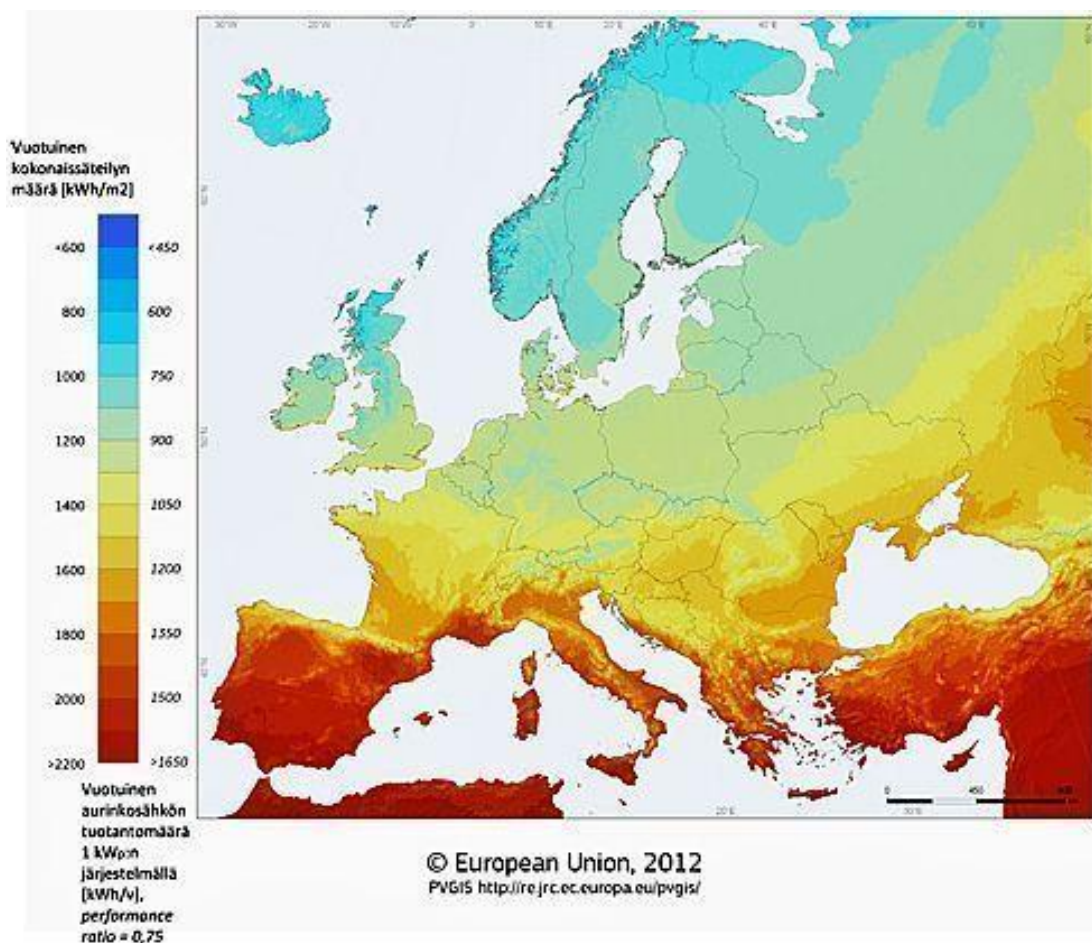
Kuva 2. Aurinkovakion vaihtelu 40 vuoden aikana (Ilmatieteenlaitos 2019)

3.2.1 Suomen Säteilymäärä

Auringon kokonaissäteily pitää sisällään suoraan tulevan säteilyn ja hajasäteilyn. Hajasäteily koostuu heijastuvasta säteilystä. Kuvassa 1 näkyy, kuinka auringon säteily voi heijastua esimerkiksi ilmakehästä tai pilvistä. Kasvihuoneilmiö lisää hajasäteilyn määrää, kun auringon säteily heijastuu maanpinnan ja ilmakehän välillä. Suomessa hajasäteilyn määrä on suuri ja Etelä-Suomessa se on noin puolet vuotuisesta kokonaissäteilymäärästä. (Motiva www-sivut 2019.)

Kun mietitään normaalin aurinkopaneelin tuotantoa, niin ei ole merkitystä onko saapuva säteily suoraa säteilyä vai hajasäteilyä. Mainoksissa näkyvät isot tracker-järjestelmät, jotka seuraavat Aurinkoa eivät välttämättä ole Suomeen se taloudellisin vaihtoehto, koska ne on suunniteltu keräämään tehokkaasti vain suoraa säteilyä. (Motiva www-sivut 2019.)

Etelä-Suomessa vuotuinen säteily määrä on samaa luokkaa, kuin esimerkiksi Pohjois-Saksassa. Suomen sijainnin huonona puolena on, että säteily keskittyy voimakkaasti kesään, joten tuotanto vaihtelee rajusti vuodenaikojen mukaan. Eteläisimmässä Suomessa säteily määrä on hieman alle 1000 W/m^2 ja Pohjois-Suomeen mentäessä se tipuu ja on noin 800 W/m^2 . (Motiva www-sivut 2019.) Kuvassa 3 on nähtävissä Euroopan alueen vuotuinen kokonaissäteily.



Kuva 3. Auringon säteily Euroopassa (PVGIS 2012)

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

4.1 Järjestelmätyypit

Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa kahteen erityyppiseen järjestelmään. On-Grid järjestelmiin tai Off-Grid järjestelmiin. Suomessa yleisempi järjestelmä on Off-Grid järjestelmä, joka on sähköjakeluverkosta erillään oleva järjestelmä, jossa tuotettu energia varastoidaan akustoon. Off-Grid järjestelmä on nykyään jo yleinen näky kesämökeillä Suomessa. Tarkkoja lukemia on vaikea saada, koska Off-Grid järjestelmien myynnistä ei kerätä dataa, mutta jälleenmyyjiltä saatujen tietojen mukaan Off-Grid järjestelmiä myydään enemmän, koska ne ovat pienempiä kokonaisuuksia. (IEA kansallinen selvitys 2018, 6.)

On-Grid järjestelmä on kytkettynä normaalin sähköjakeluverkon rinnalle, eli tuotettu energia käytetään kohteessa, mutta ylimääräisen sähkön voi myös tarvittaessa myydä valtakunnalliseen verkkoon. Jos järjestelmän tuotto ei riitä täyttämään kohteen tarpeita, niin sähköenergiaa voi myös ostaa normaalisti verkosta. Näitä järjestelmätyyppejä on tyypillisesti kaupungeissa ja esimerkiksi voimalaitoksien tai muiden julkisten rakennusten katoilla. Järjestelmät mitoitetaan yleensä niin, että kaikki tuotettu energia pystytään käyttämään kohteessa, eikä sitä tarvitse myydä eteenpäin verkkoon. Kuvassa 4 esitetään sähkön hinnan rakenne osto- ja myyntitilanteessa. Vaikka sähkön myyntimarginaali riippuukin sähköyhtiöstä, niin voidaan yleisesti sanoa, että on aina kannattavampaa käyttää sähköenergia kohteessa, kuin myydä sitä.

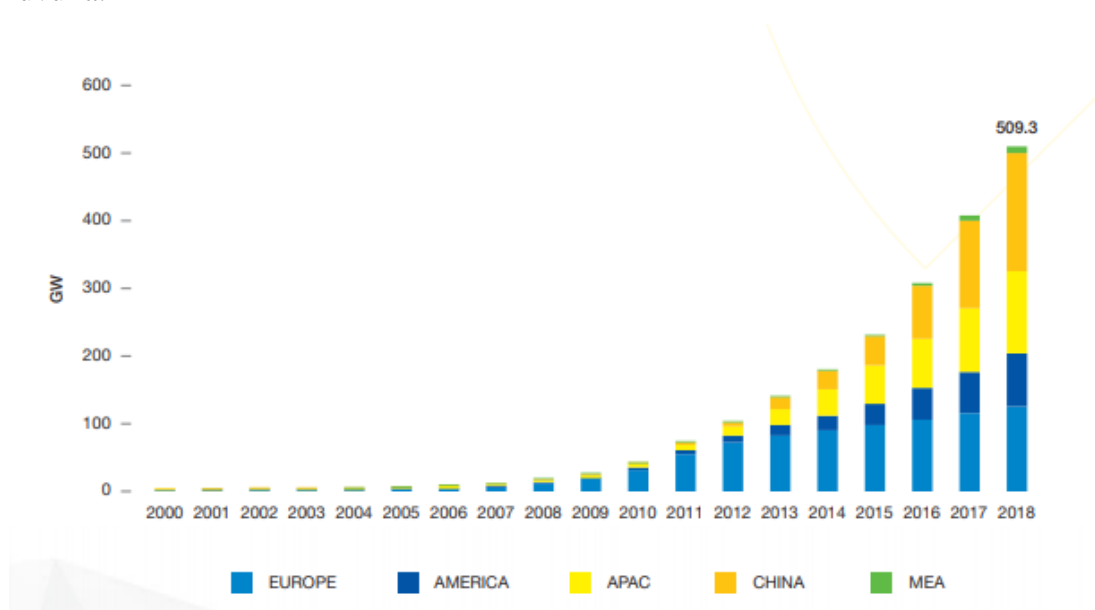


Kuva 4. Sähkön hinnan rakenne (Motiva 2019)

4.2 Aurinkosähköjärjestelmät maailmalla

Vaikka aurinkosähkön osuus on vielä pieni, kun puhutaan maailmassa tuotetusta energiasta, voidaan aurinkosähköä pitää nopeimmin kasvavana energianlähteenä. 2018 yli kolmannes asennetuista energiantuotantojärjestelmistä olivat aurinkoenergiaa hyväksikäyttäviä. Yhtenä syistä voidaan pitää aurinkoenergian taloudellisuutta, eli kuinka paljon energiaa saadaan tuotettua käytettyä euroa kohden. Viimeiset vuodet aurinkosähkön hinta on tullut todella kovaa vauhtia alaspäin ja on tällä hetkellä hyvin lähellä olla halvin energianlähde, jota käytetään maailmalla yleisesti. (SolarPower Europe Global Market Outlook 2019-2023, 2019.)

Vuoden 2018 lopulla saavutettiin kauan odotettu 500 GWp (Gigawatt-peak) raja nimellisteholtaan asennettuja aurinkosähköjärjestelmiä. Kiina tuottaa noin kolmanneksen maailman aurinkosähköstä ja on tehnyt viime vuosina isoja satsauksia aurinkosähkөөn. Kiinassa sijaitsee esimerkiksi maailman suurin aurinkosähköjärjestelmä Tenggerin aurinkopuistossa, joka valmistui vuonna 2015 ja se on nimellisteholtaan yli 1500 MWp (Megawatt-peak). Tulevaisuutta on vaikea ennustaa, mutta on varmaa, että Kiina jatkaa esimerkin näyttäjänä ja investoi uusiin järjestelmiin tulevinakin vuosina isosti. (SolarPower Europe Global Market Outlook 2019-2023, 2019.) Kuvassa 5 on nähtävillä hyvin, kuinka räjähdysmäisesti aurinkosähkön tuotanto on noussut 2000-luvulla.



Kuva 5. Aurinkosähkön tuotannon kehitys 2000-luvulla (SolarPower Europe Global Market Outlook 2019-2023, 2019)

4.2.1 Järjestelmät Suomessa

Suomen pohjoisesta sijainnista voisi aluksi luulla, että aurinkoenergian hyödyntäminen ei olisi mitenkään järkevää, saati taloudellista. Onneksi kuitenkin aurinkopaneelit osaavat hyödyntää hajasäteilyn runsaan määrän. Ilman hajasäteilyä ja sen hyväksikäyttöä pimeämpien kuukausien (lokakuu-huhtikuu) tuotanto jäisi paljon pienemmäksi. Suomen etuna voidaan myös pitää matalaa ympäristön lämpötilaa, joka nostaa aurinkokennojen hyötysuhdetta. (Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa 2019.)

Vuoden 2018 tilastojen mukaan Suomeen on asennettu 15 000 aurinkosähköjärjestelmää ja niiden kokonaisnimellisteho on noin 134 MWp. Suomessa aurinkosähkön suosio on lähtenyt viime vuosina räjähdysmäisesti nousuun, sillä esimerkiksi vuonna 2015 asennettujen aurinkosähköjärjestelmien nimellisteho oli vielä alle 20 MWp. Suomen aurinkosähköjärjestelmillä kuitenkin tuotetaan vain murto-osa sähköenergian tarpeestamme. Suomen sähköenergian tarve oli vuonna 2018 noin 87 TWh (Terawattitunti) ja aurinkosähköjärjestelmien arvioitu tuotanto oli noin 88 GWh (Gigawattitunti). Aurinkosähkön tuottama osuus Suomen sähköenergiasta oli siis noin 0,1% vuonna 2018, mutta kun katsoo kehityskaarta, niin voidaan arvioida, että jo muutaman vuoden kuluessa päästään yli prosenttiin. (IEA kansallinen selvitys 2018, 6.)

Atrian Nurmon tehtaan alueella Seinäjoella sijaitsee Suomen suurin aurinkovoimala, jonka nimellisteho on noin 4 MWp tällä hetkellä ja suunniteltu jopa 6 MWp. Järjestelmä tuottaa vuodessa noin 5,6 GWh sähköenergiaa, joka käytetään pelkästään Nurmon alueen tehtaissa. (Lukkari 2018.) Suomessa on rakenteilla tai suunnitteilla monta isoa aurinkosähköjärjestelmää, joista isoin on Rauman aurinkopuistoon suunnitteilla oleva 8,7 MWp järjestelmä, joka odottaa tukipäätöstä työ- ja elinkeinoministeriöltä. (Pukkila 2016.)

4.3 Aurinkopaneelit

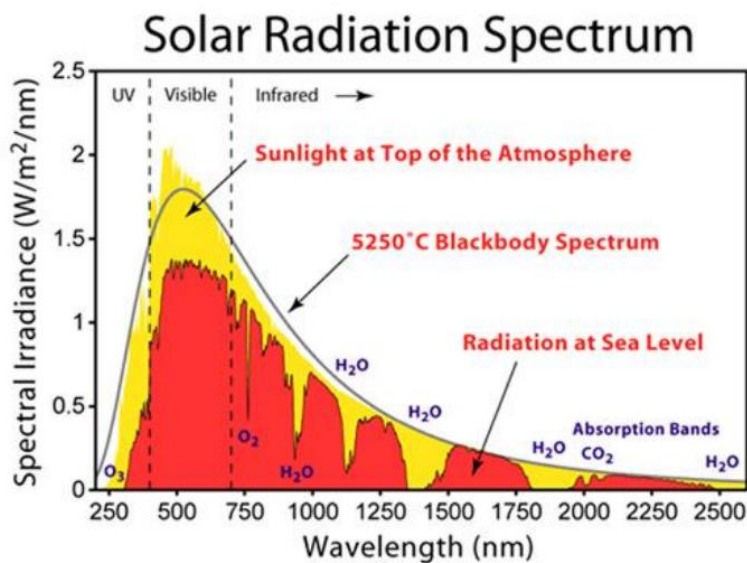
Aurinkopaneelit ovat yleisesti tekniikaltaan ja valmistustavaltaan aika yksinkertaisia ja helposti ymmärrettävissä. Samat paneelit sopivat hyvin moniin eri käyttökohteisiin.

Aurinkopaneeleja on tällä hetkellä käytössä kolmen tyyppisiä: yksikiteisiä, monikiteisiä ja ohutkalvoisia (thin-film). Näistä yleisimmin käytössä ovat yksikide- ja monikidepaneelit, jotka ovat rakenteeltaan hyvin samanlaisia ja hyötysuhteet molemmilla ovat kuluttajakäytössä 15-20%. Ohutkalvoiset paneelit ovat nimensä mukaisesti pieniä ja tarvitsevat paljon vähemmän materiaalia valmistuksessa, mutta niiden hyötysuhde on kuitenkin paljon huonompi, kuin kidepaneeleilla sekä valmistusmateriaalit eivät ole vielä niin tutkittuja, jotta niistä saisi parhaan irti. (Lähde 2019.)

Normaalisti kuluttajakäytössä olevat yksi- ja monikidepaneelit ovat keskimäärin teholtaan 200-300 Wp (Watt-peak). Tällä nimellisellä huipputeholla tarkoitetaan paneelin tuottoa STC-olosuhteissa (Standard Test Conditions), eli auringon säteilyn voimakkuus on tällöin 1000 W/m², paneelin lämpötila on +25°C ja AM (kerroin, joka kuvaa ilmamassaa) on 1,5. (Lähde 2019.)

4.3.1 Toiminta

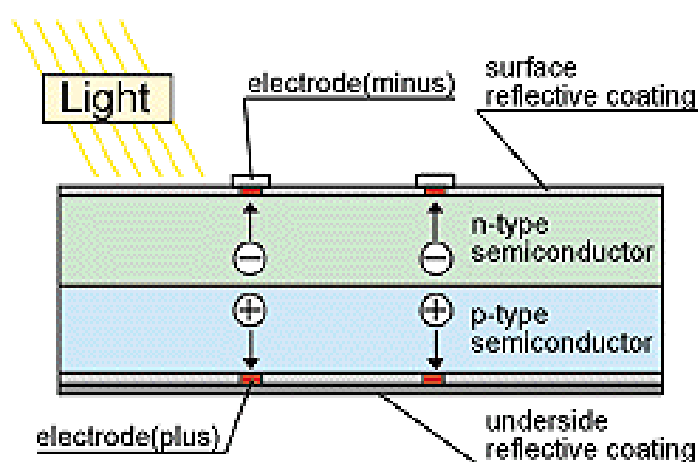
Aurinkopaneelin toiminta ja sen sähköenergian tuotanto perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohde materiaalin pii (Si) hyväksikäyttöön. Valosähköisessä ilmiössä, tässä tapauksessa auringon säteily irrottaa aurinkokennossa olevan piin pinnalta elektronin. Elektronin irrotukseen saatava energia saadaan auringon säteilyssä mukana kulkevilta fotoneilta. Tämän ilmiön avulla paneelit saadaan tuottamaan sähköenergiaa. Auringon säteilystä pystytään hyödyntämään aallonpituudet 250 nm (nanometri) - 1400 nm eli UV-NIR (Near infra red) alue. (Lähde 2019.) Kuvassa 6 havainnollistettuna Auringon säteilyn voimakkuus eri aallonpituuksilla.



Kuva 6. Auringon säteilyn voimakkuus eri aallonpituuksilla (Researchgate 2018)

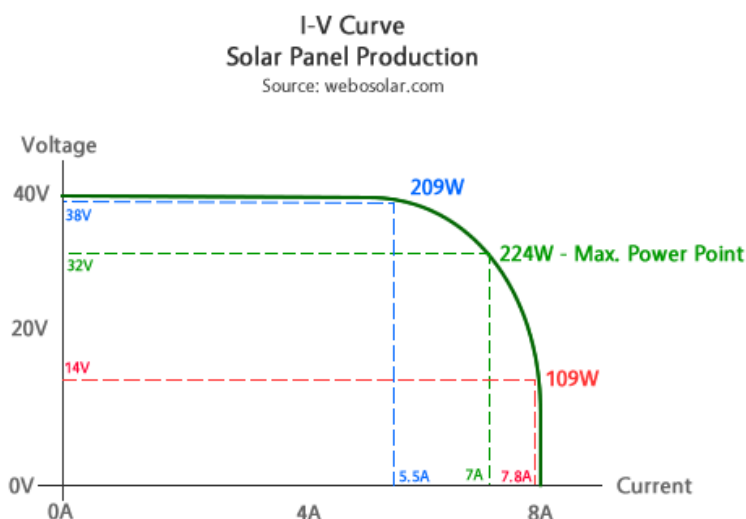
4.3.2 Aurinkokenno

Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, jotka ovat usein sarjaankytkettynä toisiinsa, eli plusnavat ovat kytkettynä miinusnapoihin. Kennot valmistetaan yleensä piistä ja niihin sekoitetaan hieman booria. Aurinkoon suunnattua pintaa kutsutaan n-tyyppiseksi ja siinä on fosforiatomeita. Piikiekot muodostavat p-tyyppisen pinnan alapuolelle, jättäen ohuen kaistaleen rajapinnaksi pintojen väliin. (Lähde 2019.) Kuvassa 7 aurinkokennon rakenne pelkistettynä.



Kuva 7. Aurinkokennon rakenne (P-N junction) (Global Kyocera 2019)

Aurinkokennoilla ja siten myös paneeleilla on aina omanlaiset ominaiskäyrät, missä kuvataan aurinkokennon jännitteen muuttumista ja käyrästä on luettavissa paneelin maksimitehopiste (MPP). Aurinkokennoille on tyypillistä, että yksi kenno tuottaa noin puolen voltin tasajännitteen (DC). Näin ollen jännitettä voidaan kasvattaa kytkemällä lisää kennoja sarjaan. (Lähde 2019.) Kuvassa 8 nähdään Virta jännitteen funktiona ja paneelin MPP-piste.



Kuva 8. Aurinkopaneelin MPP-piste (Webosolar 2019)

Aurinkopaneelin ja kennon tehon laskemiseen voidaan soveltaa tehon kaavaa

Kaava 2
$$P = U \cdot I$$

Missä P on teho (W), U on jännite (V) ja I on virta (A). (Tekniikan kaavasto 2015.)

Kuluttajalle tärkeä asia on tietenkin aurinkopaneelin hyötysuhde, eli kuinka paljon aurinkosäteilyä se pystyy muuttamaan sähköenergiaksi. Yleiset käytössä olevat kidepaneelit ovat hyötysuhteeltaan 15-20%. Aurinkopaneelin hyötysuhde η lasketaan kaavalla 3

Kaava 3
$$\eta = \frac{P}{S \cdot A} \cdot 100\%$$

Jossa P on teho (W), S on auringonsäteilyn voimakkuus (W/m²) ja A on paneelin pinta-ala (m²). (Motiva www-sivut 2019.)

4.4 Asennuspaikka ja ympäristö

Ennen aurinkosähköjärjestelmän asennusta tulee ottaa huomioon useita eri muuttujia ja mahdollisia häiritseviä tekijöitä. Suunnitteluvaiheessa tulee tarkastella, miten maksimoidaan paneelien saama säteily. Onko järjestelmän lähellä varjostusta aiheuttavia objekteja päiväsaikaan. Järjestelmää pitää myös tarpeen tullen päästä huoltamaan vaivattomasti. Rasiutusta aiheuttavat tekijät, kuten tuuli, lumi ja vesi täytyy ottaa huomioon suunnittelussa. Asennuspaikan tulee kestää myös järjestelmän aiheuttama mekaaninen rasitus, esimerkiksi huopakaton pitää miettiä mahdollisimman kevyitä rakenteita. Tärkeää on myös muistaa sijoittaa järjestelmän erotuskytkin eli AC-turvakytkin sellaiseen paikkaan, että siihen pääsee verkkoyhtiö tarvittaessa helposti käsiksi. (Spiegel 2019.)

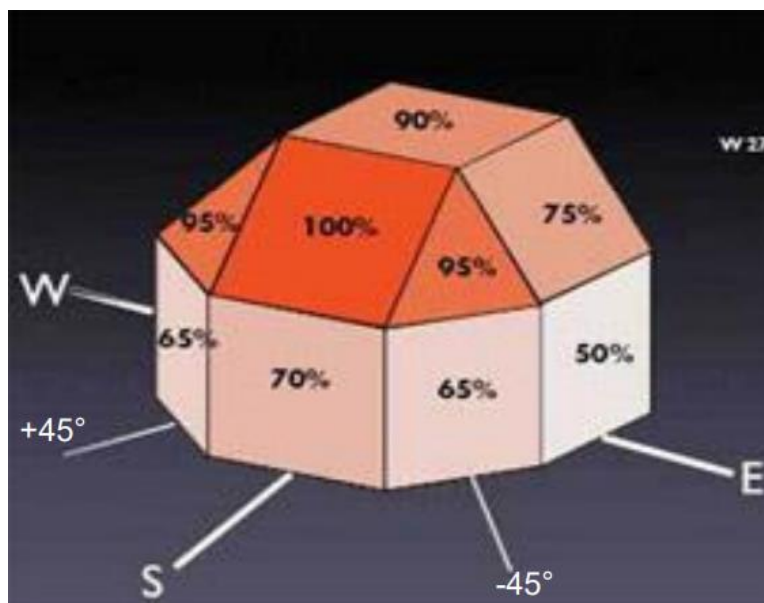
Aurinkosähköjärjestelmiä voidaan asentaa moneen paikkaan, mutta kuluttajakäytössä yleisin vaihtoehto on sijoittaa paneelit talon katolle. Järjestelmän voi myös asentaa maahan tai seinään, mutta ne ovat kuluttajakäytössä harvinaisempia. Järjestelmän voi asentaa helpoiten asentamalla vain talon katolle kiinnityskiskot ja kiinnittämällä paneelit siihen. Tällöin kallistuskulma on sama, kuin katon harjan kaltevuus. Erilaisten toimistorakennusten katot ovat kuitenkin nykyään tasakattoja, joten sinne tarvitsee asentaa erilliset jalustat, joihin paneelit kiinnitetään. Jalustarakenteen saa usein ostettua samasta paikasta, mistä paneelitkin ja ne ovat yleensä valmistettu kevyestä alumiinista. Jalustarakenteen voi myös rakentaa puutavarasta ja niihin kiinnittää kiinnityskiskot, mutta järjestelmän mekaaninen rasitus katolle kasvaa tällöin huomattavasti. Kuvassa 9 näkyy perinteinen alumiininen tukijalusta, josta esimerkiksi kallistuskulman säätö haluamukseen onnistuu vaivattomasti.



Kuva 9. Paneelin alumiininen tukirakenne (Cneverfaith 2020)

4.4.1 Idealiset olosuhteet

Aurinkopaneelit sijoitetaan yleisesti kohti etelää, tai niin lähelle, kuin mahdollista. Myös kaakko-lounas-välille on mahdollista suunnata paneelit ilman huomattavaa tuotannon laskua. Suomessa optimaalinen paneelin kallistuskulma vaihtelee vuodenaikojen mukaan, koska sijaitsemme niin kaukana päiväntasaajalta. Talvella paneelit tulisi olla melkein pystysuorassa optimaalisen tuoton kannalta, mutta yleensä talven tuotantoon ei keskitytä, koska tuotanto on muutenkin minimaalista. Keväälle ja syksyille optimaalisin kallistuskulma on noin 50° - 60° . Kesälle optimaalinen kallistuskulma on noin 30° . Suomi on varsin pitkä maa ja yleistä optimaalisinta kallistuskulmaa ei voi sanoa, koska pohjoisessa Aurinko ei nouse niin korkealle kuin etelässä eli siellä kallistuskulma on yleensä enemmän kuin etelässä. Yleensä kallistuskulmaa ei kuitenkaan vaihdeta, vaan se asennetaan tiettyyn kulmaan. Suomessa paneelit asennetaan 35° - 45° kallistuskulmaan riippuen sijainnista. (Lähde 2019.) Kuvassa 10 on hahmoteltu paneelin mahdollisia tuottoja eri kallistuskulmilla ja eri suuntauksilla.

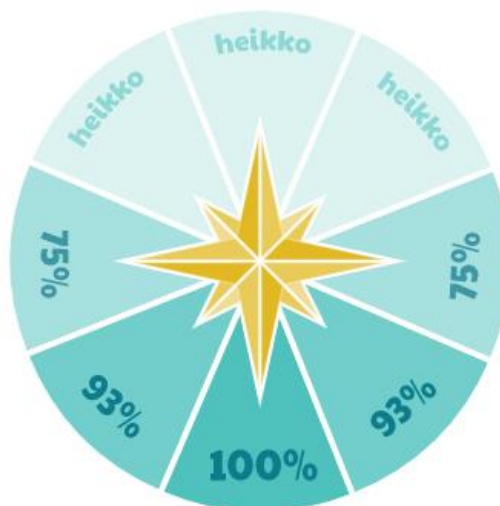


Kuva 10. Paneelin tuotanto eri kallistuskulmilla ja suuntauksilla (Bipv 2019)

Aurinkosähköjärjestelmän ideaalinen olosuhde on se, missä sen tuotanto on maksimaalinen. Maapallolla isoin määrä Auringon säteilyenergiaa säteilee kääntöpiirien väliselle alueelle, joten siellä olisi teoriassa myös parhaat olosuhteet aurinkosähkön tuotannolle. Kääntöpiirien välisellä alueella on kuitenkin paljon sellaista maa-aluetta johon asentaminen ei olisi käytännössä mahdollista, esimerkiksi kääntöpiirien välissä sijaitsevat kaikki maapallon aavikot ja etenkin lämpötila on todella korkea. Lämpötilalla on myös vaikutusta paneelien hyötysuhteeseen. Kaikki paneelit saavat valmistajalta nimellisen huipputehon, joka on yleensä 200Wp–300Wp. Tämä arvo on kuitenkin mahdollinen saavuttaa STC-olosuhteissa, jossa lämpötila on +25°C. Jokainen paneelivalmistaja antaa paneelilleen lämpötilan aiheuttaman hyötysuhdehäviön, joka on yleensä 0,5-1% jokaiselta asteelta, joka ylittää STC-olosuhteissa olevan +25°C. Todella lämpimissä maissa päivälämpötilat ylittävät +40°C ja paneelitkin ovat tummia ja imevät itseensä auringonvaloa, joka aiheuttaa, jopa 20% tehohäviön paneeleille (Lähde 2019). Todella lämpimien kohteiden järjestelmistä löytyy vähän tutkimustietoa, mutta voidaan olettaa, että jatkuvasti korkeassa lämpötilassa toimiva järjestelmä on myös elinkaareltaan lyhyempi, sekä hyötysuhde kääntyy nopeammin ja jyrkempään laskuun verrattuna esimerkiksi Saksassa olevalle järjestelmälle.

4.4.2 Haitalliset olosuhteet

Aurinkopaneelien oikea suuntaus on tärkeää maksimaalisen tuoton kannalta, mutta normaalissa kuluttaja-asennuksessa järjestelmä asennetaan yleensä talon katolle ja talon katon harja määrittää paneelien suunnan. Kaikista huonoin mahdollinen on sellainen talo, jonka harja on itä-länsi-suuntainen se tarkoittaa Suomessa noin 25% tuotannon menetystä verrattuna etelän suuntaan asennettuun järjestelmään. Itään suunnattu järjestelmä on perusteltu, jos asennuskohteessa on paljon kulutusta ennen, kuin Aurinko on noussut korkeimmilleen, eli aamupäivällä. Länteen suunnattu järjestelmä on taas hyvä, jos kulutus tapahtuu iltapäivästä, kun Aurinko on jo lähtenyt laskemaan. Molemmissa tapauksissa kuitenkin säteilyn saanti keskipäivällä jää vajavaiseksi. Kuvassa 11 on esitettyä paneelien suuntauksen vaikutusta sähköntuottoon. (Aurinkosahkoakotiin [www-sivut](http://www-iv.fi) 2020.)

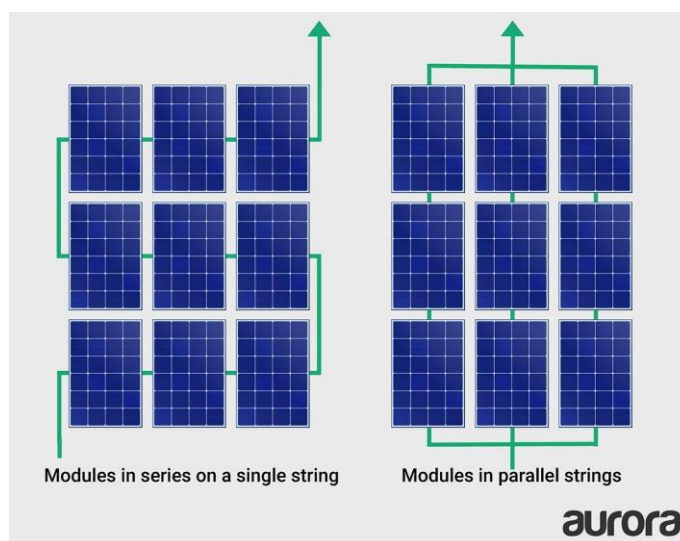


Kuva 11. Paneelin suuntauksen vaikutus tuottoon (Aurinkosahkoakotiin 2020)

Aurinkopaneelien sijoituksessa tulee olla tarkkana, jotta ne saavat maksimaalisen määrän säteilyä. Suurin tuotannon häviöitä aiheuttava tekijä on yleensä varjot, koska niiden vaikutus tuotantoon aliarvioidaan. Yleensä puiden ja oksien aiheuttama varjostus saattaa jäädä huomioimatta varsinkin, jos asennusta ei suorita alan ammattilainen. Yleisiä varjojen aiheuttajia on puut ja muut korkeat objektit, myös talon katolla voi olla esimerkiksi savupiippuja tai muita varjoja aiheuttavia rakenteita.

Kiderakenteisissa aurinkopaneeleissa aurinkokennot ovat kytkettynä sarjaan, joten yhdenkin kennon varjostuminen vaikuttaa myös koko paneelin muihinkin kennoihin ja voi aiheuttaa, että yhden paneelin tuotto laskee jopa yli 75%, ainoastaan sillä, että pieni objekti varjostaa aurinkopaneelin alareunaa. Aurinkopaneelin toiminta perustuu siihen, että sen kaikki kennot toimivat samalla virta arvolla, kun siihen ei kohdistu varjoja. Sama pätee myös, kun varjo tulee yhden kennon päälle ja kaikkien muiden kennojen virta arvo tippuu vastaamaan varjostuneen kennon virtaa. Tämä sama periaate jatkuu myös eteenpäin koko järjestelmään, kun paneelit ovat sarjaankytkettyinä. Muiden paneelien virta arvo tippuu vastaamaan sitä paneelia, joka on varjostunut. Näin yksi varjo voi laskea sähköenergian tuotantoa koko järjestelmästä jopa 75%. (Brown 2016.)

Varjostukseen on kuitenkin olemassa auttavia ratkaisuja, jos varjojen aiheuttajista ei pääse muuten eroon. Yksi tapa on kytkeä järjestelmässä paneelit rinnan pienempiin sarjaankytkettyihin ryhmiin. Tämä onnistuu kuitenkin vain, jos järjestelmässä on hie- man enemmän paneeleita. Jos järjestelmää suunniteltaessa on jo huomattu, että yksi puu varjostaa järjestelmän toista reunaa jatkuvasti, niin yksi ratkaisu on kytkeä varjostuneet paneelit omaan ryhmään sarjaan, niin ne eivät pääse vaikuttamaan muuhun järjestelmään. (Brown 2016.) Kuvassa 12 on kokonaan sarjaankytketty järjestelmä ja siten järjestelmä, joka on jaoteltu pienempiin ryhmiin, jotka ovat rinnan. Rinnankytkennässä on ideana, että jos oikean reunan yhtä paneelia varjostetaan niin, kaksi viereistä rinnankytkettyä ryhmää toimii normaalisti.



Kuva 12. Sarjaan- ja rinnankytketty järjestelmä (Aurorasolar 2016)

Ohitusdiodit ovat sisäänrakennettuja osia aurinkopaneelissa, jotka antavat virran ohittaa varjostuneet kohdat. Esimerkiksi 36 kennoisessa aurinkopaneelissa olisi 12 kennon välein ohitusdiodi. Jos paneelin reuna on varjossa niin ohitusdiodi antaa virran ohittaa sen 12 kennon kytkennän ja muut 24 kennoa toimivat normaalisti. Jos ohitusdiodi antaa virran hypätä ohitseen, niin se tarkoittaa, että kaikki 12 aurinkokennoa ovat pois käytöstä, vaikka joillain niistä olisikin tuotantoa. (Brown 2016.)

Viimeisenä apukeinona voidaan käyttää DC-optimoijaa. Nämä erilliset laitteet asennetaan sarjaan jokaisen paneelin kanssa. Optimoija säätelee jännitettä, jotta maksimaalinen teho saadaan paneeleista irti. Esimerkiksi varjostunut paneeli tuottaa sähköenergiaa pienellä virralla, jota optimoija korottaa vastaamaan muiden paneelien virtaa, jotta muut paneelit eivät tiputtaisi virtaansa vastaamaan varjostunutta paneelia. Tämä tehon korotus tulee kuitenkin kompensoida alentamalla jännitettä. Aurorasolarin simulaatiossa testattiin kuinka DC-optimoijat vaikuttavat vuotuisen tuottoon, jos aurinkosähköjärjestelmän vieressä on koko ajan varjostavia objekteja. Vuotuinen tuotto nousi yli 17% verrattuna normaaliin järjestelmässä, jossa jokaisen paneelin kanssa toimi DC-optimoija. (Brown 2016.)

5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TARKASTELU

5.1 Sijainti

Aurinkosähköjärjestelmä sijaitsee Harjavallan Suurteollisuuspuistossa suuren biohöyrylaitoksen katolla. Sijainti korkealla katolla on itsessään todella hyvä asia, koska se minimoi varjotekijöitä pois, kuten esimerkiksi puut tai muut rakennukset eivät pääse varjostamaan Aurinkoa. Järjestelmän sijainti korkealla katolla ja aukealla alueella edesauttaa myös paneelien pysymistä viileämpinä ja näin tuottavimpina touko-elokuussa, kun tuuli auttaa lämmön poistumista paneelien pinnasta. Kohteeseen on erillinen sisäänkäynti ulkoa kierreportaita pitkin, jossa on lukittava ovi. Katolla on rakennettu puulevyistä pienet huoltokäytävät järjestelmän ympärille. Myös muille paneeleille on esteetön pääsy, eikä katolla ole mitään ylimääräistä tavaraa estämässä liikumista.

5.2 Rakenne

Koko järjestelmä on tilattu Satmatic Oy:ltä ja aurinkopaneelit ovat Tenka Solarin valmistamia 60 kennoisia paneeleja. Aurinkosähköjärjestelmä koostuu 45 monikidepaneelistä. Yhden paneelin nimellinen huipputeho on 250W ja koko järjestelmän huipputeho on 11 250W. Järjestelmän atsimuuttikulma on noin +20° eli se on suunnattu etelän ja lounaan välille. Paneelit ovat asetettu 25° kallistuskulmaan, eli optimoitu kesän tuotantoa varten. Järjestelmä on jaettu kahteen sarjaankytkettyyn osaan ja molemmat ovat kytkettynä Fronius Symo 12.5-3-M kolmivaiheiseen invertteriin. Fronius on varustettu langattomalla Ethernet yhteydellä, mutta kohteessa tuotantodatan keruu on tehty kiinteällä langoituksella Valmet DNA -automaatiojärjestelmään virtaviestillä 4-20mA. Järjestelmän sähköasennukset hoidettiin Jarsec Oy:n toimesta ja silmämääräisellä havainnoinnilla kohteessa voi todeta, että he ovat onnistuneet hyvin työssään. Mitään johtoja ei roiku vapaana paneelien takana ja keskuksen päässä kaapelit ovat siististi niputettuina. Järjestelmän varoituskilvet ovat myös oikeilla paikoillaan, sekä turvakytkin on asennettu helposti saataville invertterin viereen, kuin kuvasta 13 näkyy.



Kuva 13. Järjestelmän invertteri ja turvakytkin (STEP 2019)

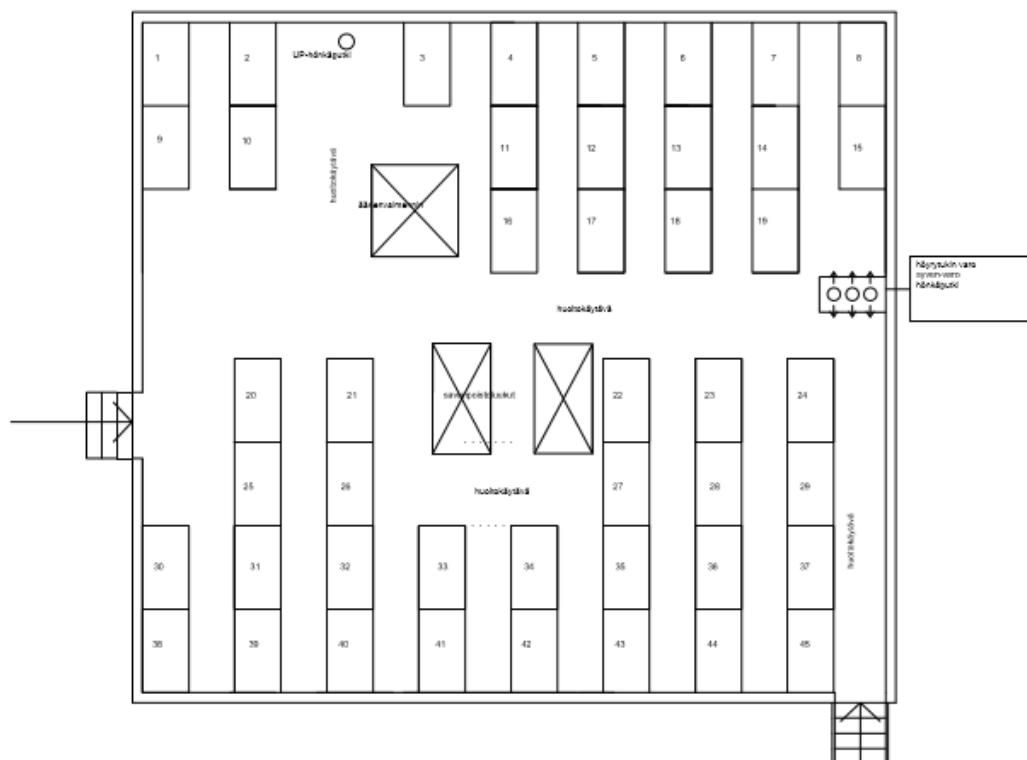
Järjestelmän asennusta on hankaloittanut hieman katolla olevat korkeat reunukset. Tästä syystä katolle on täytynyt asentaa korkea tukirakenne, jotta paneelit eivät varjostuisi reunuksista. Järjestelmän puusta rakennettu tukirakenne on hyvin nähtävillä liitteessä 3. Voimalaitoksen katto on päällystetty bitumilla ja on näin ollen hieman joustava. Tämä yhdistettynä puusta rakennettuun isoon tukirakenteeseen on saanut aikaan sen, että järjestelmä on alkanut joistakin kohdista hieman upota kattoon. Järjestelmän tukirakenne on pultattu ainoastaan katon reunuksiin kiinni, eli puinen tukirakenne pääsee hieman elämään ja liikkumaan varsinkin, kun katto on tietysti hieman kallellaan. Järjestelmää varten rakennettu iso tukirakenne myös estää sade- ja sulamisveden pääsyn normaalia reittiä kaivolle. Varsinkin keväisin tämä on ongelma, koska tukirakenteen yksi nurkista on käytännössä sulavan lumen alla koko ajan ja vesi pääsee kuluttamaan puuta ja tämä nurkkaus näyttikin selvästi muuta osaa vanhemmalta ja kuluneelta, koska se oli ollut veden alla. Kuvassa 14 on nähtävillä, kuinka järjestelmän puosa on suoraan kattoa vasten ja on uponnut siihen. Katto viettää kuvassa oikealle, mutta uppoamiskohdassa katto hieman nousee, koska vieressä on höyrykattilan savunpoistoluukut. Tämä on aiheuttanut puun terävän reunan uppoamisen kattorakenteeseen.



Kuva 14. Rakenteiden elämistä bitumikatolla (STEP 2019)

Järjestelmän sijainti vaikutti aluksi hyvältä, koska se oli niin korkealla sijainnilla ja aukealla alueella. Lyhyen tarkastelun jälkeen katolla, mihin järjestelmä on rakennettu, näytti kuitenkin olevan todella monta varjostumista aiheuttavaa objektia, että lopulta sijainti ei näyttänytkään hirveän hyvältä. Ensimmäinen varjostava tekijä on katon reunukset, joka on paneelien etupuolella yli metrin korkea. Vaikka paneelit ovatkin tukirakenteen ansiosta korkealla, niin iltauringon paistaessa reunus aiheuttaa silti pientä varjostusta paneeleille. Myös alkukevästä ja loppusyksystä, kun Aurinko ei vielä nouse hirveän korkealle niin paneelit jäävät hieman varjoon. Käytännössä reunukset syövät tuotantoa niiltä ajoilta, jolloin tuotanto olisi muutenkin heikko.

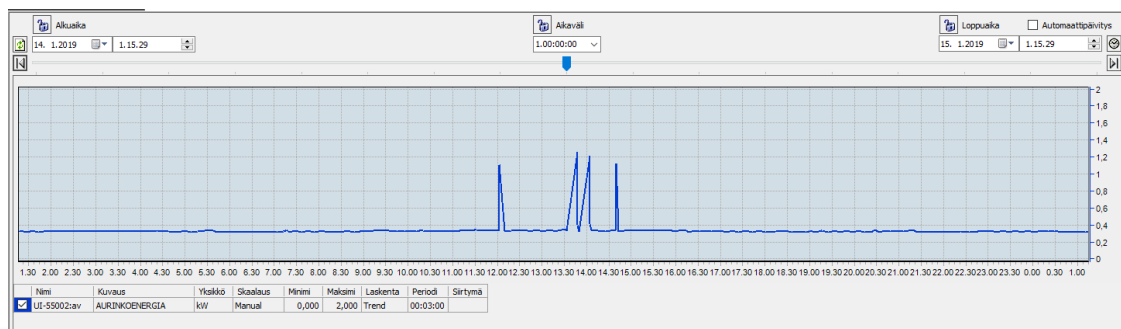
Toisena varjostavana objektina on alapuolella olevasta voimalaitoksesta tuleva äänenvaimennin, joka on todella massiivinen ja aiheuttaa varjon neljälle paneelille, jotka ovat sen takana. Lisäksi katolla on kaksi hönkäputkea, joista tulee vaaleaa höyryä käytännössä 24/7 ja ne aiheuttavat myös pienen varjon. Nämä ovat nähtävillä hyvin liitteessä 4. Kuvassa 15 on sijoituspiirustus järjestelmästä ja tässä näkyy myös varjoja aiheuttavat objektit.



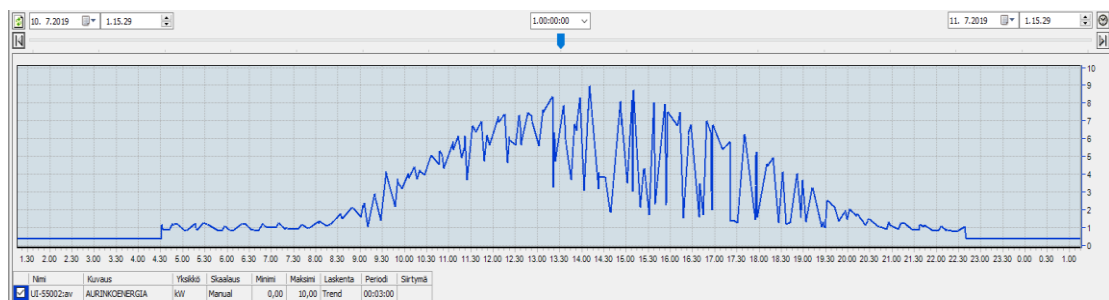
Kuva 15. Järjestelmän sijoituspiirros (STEP 2019)

5.3 Tuotto

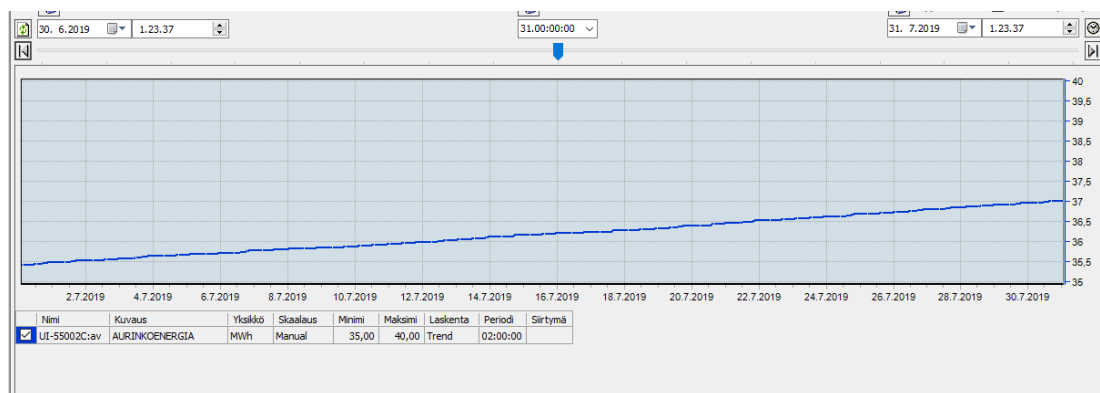
Järjestelmän tuotto on saatavilla voimalaitoksen Valmet DNA -automaatiojärjestelmästä. Tässä työssä tarkastellaan neljää mittauskohtaa. Ensimmäinen mittaus on tyypillinen talvipäivä, toinen mittaus on tyypillinen kesäpäivä, kolmas mittaus on heinäkuun tuotto ja viimeinen mittaus on vuoden 2019 kokonaistuotanto. Graafin vasemmasta yläkulmasta on nähtävillä näytteenottoaika. X-akselilla on kellonaika ja Y-akselilla tuotto kilowatteina (kW) paitsi heinäkuun tuotossa käytössä on megawattit (MW).



Kuva 16. Talvipäivän tuotto (STEP 2019)



Kuva 17. Kesäpäivän tuotto (STEP 2019)



Kuva 18. Kumulatiivinen tuotto (STEP 2019)

6 VERTAILU

Vertailu tehdään vertaamalla saatua sähköenergiaa asennettuun huipputehoon verrattuna (kWh/kWp), jolloin erikokoisten järjestelmien vertailu on helppoa. Taulukossa vertaillaan vuoden 2019 heinäkuun tuotantoja. Tulokset ovat pyöristettyinä kokonaislukuihin.

Vertailussa olevat järjestelmät ovat Helenin järjestelmät Helsingin Kivikossa ja Suvilahtessa. (Helen www-sivut 2020.) Lappeenrannan yliopiston katolla oleva tasakattovoimala. (LUT www-sivut 2020.) Loimaalla Sallilan Aurinkopuisto. (Sallila Energia www-sivut 2020.) Asikkalasta Vääksyn yhteiskoulu ja Hangosta omakotitalo. (Piko Solar www-sivut 2020.) Harjavallasta tämän opinnäytetyön tutkima kohde, jonka tuotto näkyy kuvassa 18.

Taulukko 1. kWh/kWp vertailu heinäkuulta 2019

Järjestelmä	Tuotanto (kWh)	Huipputeho (kWp)	kWh/kWp
Kivikko	133 972	853	157
Suvilahti	49 152	340	145
LUT	5 332	51,5	104
Sallila	118 744	735	162
Asikkala	3 683	25	147
Hanko	722	3,5	206
Harjavalta	1 600	11,25	142

Taulukosta 1 on nähtävillä, kuinka Harjavallan järjestelmä saa samaa suuruusluokkaa olevia tuottoja muiden järjestelmien kanssa, eikä kesäkuukausina ole nähtävillä varjojen aiheuttamaa tuotannon laskua.

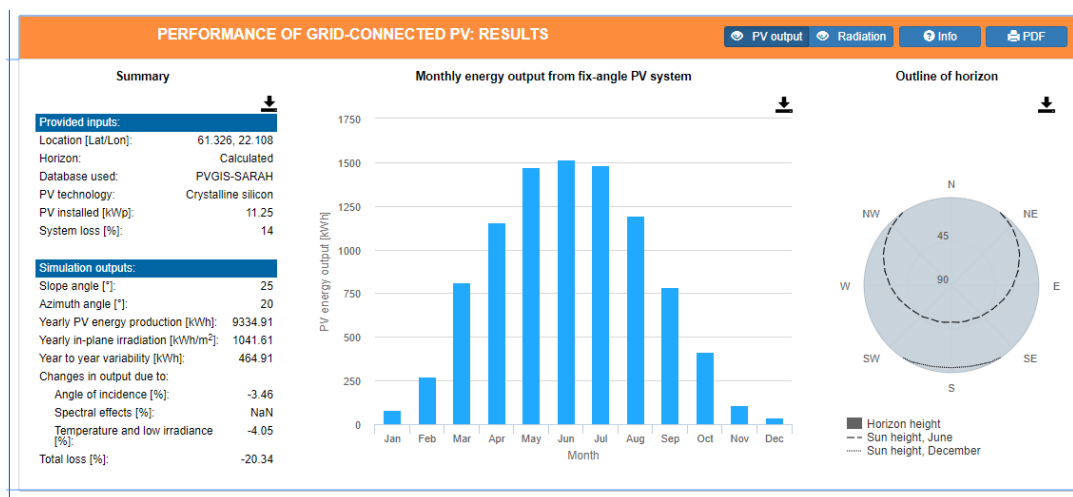
Taulukko 2. kWh/kWp vertailu vuoden 2019 kokonaistuotannosta

Järjestelmä	Tuotanto (kWh)	Huipputeho (kWp)	kWh/kWp
Kivikko	776 221	853	910
Suvilahti	287 009	340	844
Sallila	748 850	735	1 019
Asikkala	20 420	25	817
Hanko	4 078	3,5	1 165
Harjavalta	10 924	11,25	971

Taulukossa 2 käsitellään samoja aurinkosähköjärjestelmiä kuin Taulukossa 1. Eteläisessä Suomessa 1 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä tuottaa keskimäärin 800-1000 kWh sähköenergiaa vuodessa. (Motiva www-sivut 2019.) Taulukosta 2 huomataan, kuinka Harjavallan järjestelmän vuosituotanto on vertailussa kärkisijoilla, vaikka onkin hie- man pohjoisempana, kuin Sallila ja Hanko. Tuotanto on myös hyvää verrattuna Etelä-Suomen keskimääräiseen tuotantoon, eikä ylempänä mainitut järjestelmän varjokohdat olleetkaan niin pahoja tuotannon kannalta.

6.1 PVGIS

Photovoltaic Geographical Information System eli PVGIS on Euroopan komission tie- deosaston käyttämä sovellus, josta voi tarkastella monia aurinkoenergiaan liittyviä asi- oita. Sovelluksen ilmaisessa versiossa on mahdollista tarkastella esimerkiksi aurin- kosähköjärjestelmän potentiaali syöttämällä vaaditut lähtöarvot sovellukseen. (Euroo- pan komission tiedeosio 2020.) Kuvassa 19 on nähtävillä PVGIS-sovelluksen ajama simulaatio siitä, mitä tutkimuksessa käsiteltävän järjestelmän tulisi tuottaa annetuilla lähtöarvoilla.



Kuva 19. Simulaatio Harjavallan järjestelmän vuosituotosta (PVGIS 2020)

PVGIS-sovelluksen ajaman simulaation tiedot kertovat, että järjestelmän oletettu vuosituotanto on hieman yli 9300kWh, joka on hieman alakanttiin siitä mitä järjestelmältä oletettiin rakennusvaiheessa. Oletus näkyvissä Liitteessä 1. Tämä simulaatio ajettiin käyttäen SARAH tietokantaa. Jos simulaatiossa käyttää ERA5 tietokantaa, niin arvioitu vuotuinen tuotto olisi 10 400kWh. Kuvassa 19 on näkyvillä, kuinka simulaatiossa on käytetty oletusarvona 25° paneelien kallistuskulmaa, mutta jos sen muuttaa esimerkiksi 35° saataisiin simulaation mukaan yli 250W nousu arvioidussa vuosituotannossa. Paneelien kallistuskulmaa vaihtaessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että kohteessa olevat varjotekijät ovat juuri pahimmillaan silloin, kun Aurinko ei ole korkealla, joten matalan kallistuskulman käyttö on sillä perusteltua kohteessa.

7 JÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI

7.1 Rakenne

Järjestelmä on päätetty suunnitteluvaiheessa rakentaa puisen tukirakenteen päälle. Tämä ei ole osoittautunut välttämättä järkeväksi ratkaisuksi pidemmällä aikavälillä, kun huomioi puurakenteen ison painon ja bitumisen kattorakenteen pehmeiden. Suunnitteluvaiheessa olisi pitänyt myös tarkastella alumiinisen tukirakenteen saatavuutta kyseiseen kohteeseen, sen keveyden ansiosta. Alumiinisella tukirakenteella uppoamista kattoon ei olisi tapahtunut niin paljon, saatikka niin nopeasti, kuin nyt puurakenteella.

Puurakenteeseen päädyttyään suunnitteluvaiheessa olisi tullut ottaa huomioon, kuinka järjestelmä tulee elämään katolla ja mahdollisesti painumaan kattoon. Rakennusvaiheessa jokaisen rakenteen osan alle, joka tulee kattoa vasten, tulisi asentaa esimerkiksi bitumisesta matosta leikatut kaistaleet suojaamaan kattorakennetta. Tärkeimpänä suojattavana ovat sellaiset kohdat, joissa rakenteessa on teräviä kulmia kattoa vasten. Teräviä kulmia on myös mahdollista hieman hioa, joka hidastaisi nyt ongelmaksi muodostunutta rakenteisiin uppoamista.

Kuvassa 15 näkyvässä kohteen sijoittelupiirroksessa on vasemmassa alanurkassa sadevesiviemäri, joka on myös osoittautunut ongelmaiseksi, koska sadevesi ja sulamisvesi ei pääse virtaamaan normaalisti viemäriin. Nurkkauksessa on puisen rakenteen pitkä tukiosa, joka estää veden pääsyn viemäriin. Tähän tulisi löytää ratkaisu muuttamalla tukirakennetta hieman sadevesiviemäriin läheisyydessä. Veden virtauksen voi testata kaatamalla katolle vettä esimerkiksi ämpärillä ja katsomalla, mihin kohtaan tukirakennetta olisi hyvä tehdä muutoksia.

7.2 Järjestelmätason muutokset

Suomessa on teoriassa hieman vaikeaa suunnitella aurinkosähköjärjestelmää, koska merkittävä osa tuotosta ajoittuu kesäkuukausille, milloin Suomessa sähkönkulutus on alhaisimmillaan. Kun taas talvella tuotanto on minimaalista ja sähköenergian tarve huipussaan, jotta talot saadaan lämmitettyä. Tässä kohteessa ei kuitenkaan tarvitse muurehtia, että tuotettua aurinkoenergiaa olisi kesäkuukausina liikaa. Järjestelmä on On-Grid järjestelmä ja tuotettu sähköenergia käytetään suoraan voimalaitoksella. Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto tässä kohteessa on vain murto-osa voimalaitoksen tarvitsemasta sähköenergiasta.

Seuraavaksi käydään läpi tilanne, jossa järjestelmän paneelit olisivat ilman sisäänrakennettuja ohitusdiodeja. Tilanne olisi mahdollinen esimerkiksi keväällä tai syksyllä, kun Aurinko ei ole niin korkealla, kuin kesällä. Otetaan Kuvasta 15 ne paneelit tarkasteluun, jotka ovat äänenvaimentimen vasemmalla puolella eli jäävät sen taakse varjoon. Tässä kytkennässä on 22 paneelia sarjaankytkettynä invertterille, joten paneelin tuottama teho voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$\text{Kaava 4} \quad P = (V_{MP} * \text{paneelien lukumäärä}) * I_{MP}$$

Jossa V_{MP} on paneelien jännite maksimitehopisteessä ja I_{MP} on paneelien tuottama virta maksimitehopisteessä. Sijoittamalla kaavaan 4 saadaan edellä mainitun paneelikytkennän teho STC-olosuhteissa, joka olisi

$$P = (30,4V * 22) * 8,22A = 5497W$$

Tämän jälkeen tehdään hypoteettinen testi, missä äänenvaimentimen takana oleva paneeli varjostuu 30% pinta-alastaan ja näin sen tuottama virta laskee myös 30%. Tässä testissä paneeleissa ei ole ohitusdiodeja, joten virran alenema vaikuttaa koko sarjaankytkentään. Edellä mainitussa tilanteessa paneelien teho olisi kaavaan 4 sijoittamalla

$$P = (30,4V * 22) * 8,22A * 0,7 = 3848W$$

Seuraavaan testiin otetaan mukaan sellaiset paneelit, joissa olisi 3 ohitusdiodia, joka paneelissa. Jos paneeli on varjostunut, niin ohitusdiodi ohittaa kennoston, jossa varjostunut kenno on, eikä paneelin tuottama virta laske. Oletetaan kuitenkin, että varjo on tässä tapauksessa niin iso, että paneelin kaikki 3 ohitusdiodia aktivoituvat, jolloin koko paneeli ohitetaan, eikä se vaikuta tuotantoon. Tässä tilanteessa teho olisi kaavaan 4 sijoittamalla

$$P = (30,4V * 21) * 8,22A = 5248W$$

Yllä olevista esimerkkilaskuista nähdään hyvin, kuinka varjostunut paneeli vaikuttaa koko sarjaankytkennän tuotantoon laskemalla saatua tuotantoa rajusti. Kohteen aurinkosähköjärjestelmä on kuitenkin rakennettu vuonna 2015 ja 2010-luvulla valmistetuissa paneeleissa on yleensä oletuksena sisäänrakennetut ohitusdiodit, jotka estävät yläpuolella käsitellyn tuotannon laskun varjostumisen sattuessa. (Lähde 2019.)

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimuksen tehtävänä on selvittää kohteessa olevan aurinkosähköjärjestelmän mahdolliset kipukohdat ja tarkastella, onko järjestelmän tuotanto optimaalinen. Tuotantodatan ja kohteen analysoinnin perusteella voidaan päätellä, että kohteessa olevat varjotekijät eivät olleetkaan niin kriittisiä, kuin aluksi luultiin, eivätkä ne pääse vaikuttamaan tuotantoon merkittävästi. Heinäkuun tuotanto oli odotetusti hyvä, koska kallistuskulma on optimoitu kesäksi ja varjot eivät pääse vaikuttamaan Auringon paistaessa korkealta. Varjotekijöiden oletettiin olevan pahimmillaan keväällä ja syksyllä, mutta tuotantodataa analysoidessa huomattiin, että tuotanto, myös näinä aikoina on täysin verrannollinen PVGIS-sovelluksen antamiin arvioihin keväisistä ja syksyisistä tuotannoista, joten vuotuinen sähköenergian tuotanto oli erinomaisella tasolla.

Kohteessa ei ole järkevää alkaa tekemään minkäänlaisia isoja investointeja esimerkiksi alumiiniseen tukirakenteeseen. Tärkeimpänä korjauskohteena on tietyt kohdat järjestelmässä, jossa puinen tukirakenne uppoaa kattorakenteeseen. Järjestelmä on rakennettu 2015 vuoden loppupuolella ja kuvat on otettu 2019 syyskuussa, joten järjestelmä on kuvissa noin 4 vuotta vanha ja puinen tukirakenne on uponnut varsinkin yhdessä kohdassa pahannäköisesti kattoon. Järjestelmän vanhetessa tämä ongelmakohta vain pahenee, jos tilannetta ei korjata ja voi aiheuttaa vesivaurioita kattorakenteisiin. Pahimmassa tapauksessa voimalaitos voidaan joutua sulkemaan korjauksen ajaksi, jos vaurioita ei huomata ajoissa. Voimalaitosympäristössä on turvallisuus kaikkein tärkein asia, joten tämä on ehdottomasti korjauslistalla tärkein asia.

Seuraavana listalla onkin tuotannon parantaminen, johon on olemassa pieniä optimointikeinoja. Nämä parannusehdotukset eivät aiheuta suoranaisia hankintoja tai investointeja. Parannusehdotuksien tekemiseen kuluu vain aikaa tekemiseen. Parannusehdotusten vaikutuksia tulisi myös tarkastella saatavasta tuotantodatasta.

Tulevana keväänä tulisi tarkastella esimerkiksi koko maaliskuun tuotantoa ja vertailla sitä esimerkiksi PVGIS-sovelluksen antamaan arvioon. Jos maaliskuun tuotanto näyttää alhaiselta niin yhtenä optimointikeinona voisi olla äänenvaimentimen takana olevien paneelien kokonaan poiskytkentä järjestelmästä. Tämä voidaan tehdä helposti ns.

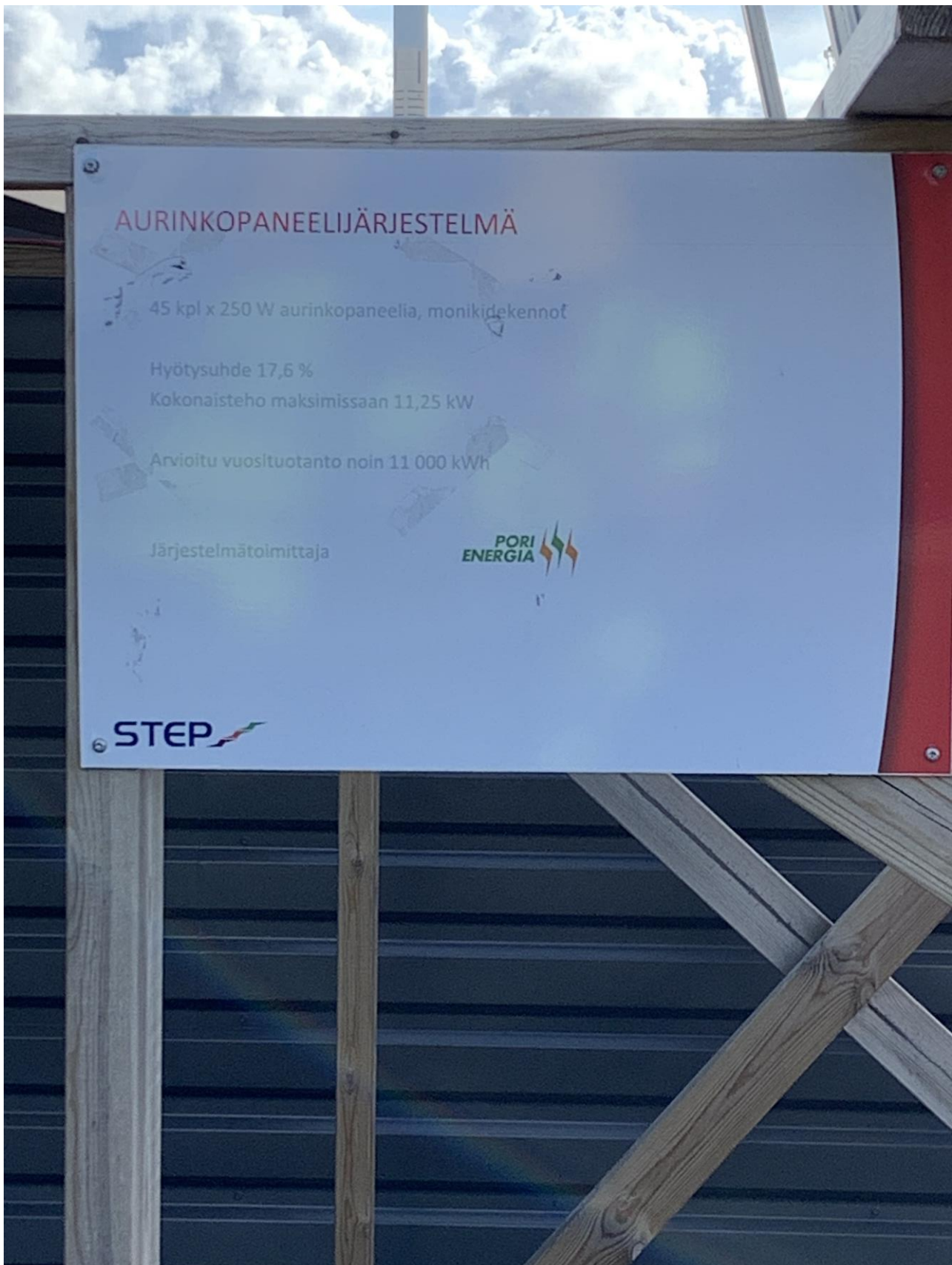
“hyppyliitoksella”, joten paneeleita ei tarvitse irrottaa tai muuten järjestelmää muuttaa. Tilanne pitäisi ensiksi käydä katsomassa kohteessa keväällä ja katsoa jäävätkö kaikki paneelit varjoon vai esimerkiksi vain yksi paneeli ja sen perusteella tehdä niiden ohitus. Ohituskytkennän jälkeen odoteltaisiin kuukausi tuloksia ja vertailtaisiin esimerkiksi PVGIS-sovelluksen tai muiden järjestelmien tuotantoihin. Loppujen lopuksi tuotantodataa analysoidessa ei löytynyt merkkejä tuotannon notkahduksesta keväällä tai syksyllä, joten optimoinnille ei ole tarvetta, koska sen vaikutus olisi minimaalinen, tai jopa negatiivinen. Tukirakenteeseen tehtävät parannukset ovat tämän järjestelmän ainoa parannuskohde, jotta järjestelmästä saadaan turvallinen voimalaitosympäristöön.

Tämä tutkimus oli itselleni todella mieluinen ja aiheena mielenkiintoinen. Olen itse osallistunut aurinkosähköjärjestelmän rakentamiseen ja koin, että kokemuksestani oli todella suuri hyöty opinnäytetyötä kirjoittaessa. Aiempi järjestelmä oli sijoituskohteeltaan hyvin samanlainen, kuin tässä tutkimuksen kohteena oleva järjestelmä. Tämä auttoi miettimään parannuksia siihen, miten raskas tukirakenne voidaan pystyttää pehmeälle katolle turvallisesti. Itse tutkimuksessa olisin halunnut tehdä enemmän vertailua eri järjestelmien välillä, mutta muiden järjestelmien tuotantodatan saaminen ei ole helppoa, koska vain harvojen järjestelmien tuotannot ovat julkisia. Tutkimuksessa olisi voinut myös tarkastella tuotantodataa järjestelmän koko elinkaaren ajalta, mutta päädyin tarkastelemaan vuoden 2019 tuotantoa. Lyhyempi ajanjakso tuotantodatan tarkastelussa aiheuttaa tilastojen varianssiherkkyyttä, eli tarkastuksen alaisena oleva data ei välttämättä näytäkään kohteen tuotanto-ongelmia vaan ne jäävät piiloon. Tässä tutkimuksessa, kuitenkin vuoden 2019 tuotantodatan tarkastelu riitti selvittämään, että kohteen varjotekijät eivät aiheuta tuotannon notkahdusta, eikä järjestelmälle näin ole järkevää miettiä tuotantoa parantavia keinoja, koska vuotuinen tuotanto oli erinomaisella tasolla.

LÄHTEET

- Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. 2019. LUT 27.2.2019. Viitattu 19.12.2019. <https://www.lut.fi/uutiset/>
- Aurinkosahkoakotiin www-sivut. 2020. Viitattu 11.1.2020 <https://aurinkosahkoakotiin.fi>
- Brown, C. 'Shade losses in PV systems... Aurorasolar blog. 7.10.2016. Viitattu 12.1.2020 <https://blog.aurorasolar.com/shading-losses-for-pv-systems-and-techniques-to-mitigate-them>
- Elert, G. 2019. Photoelectric Effect. Viitattu 7.12.2019 <https://physics.info/photoelectric>
- Euroopan komission tiedeosio. 2020. Viitattu 28.1.2020 <https://ec.europa.eu/jrc/en>
- Helen www-sivut. Viitattu 28.1.2020. <https://www.helen.fi>
- IEA kansallinen selvitys. 2018. Viitattu 19.12.2019 http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&eID=dam_frontend_push&docID=4852
- Ilmatieteenlaitos www-sivut. 2019. Viitattu 7.12.2019 <https://ilmatieteenlaitos.fi/>
- Kauppalehti www-sivut. 2019. Viitattu 25.11.2019 <https://www.kauppalehti.fi>
- Lukkari, J. 2018. Nurmoon nousee megaluokan aurinkovoimala. Tekniikkatalous 12.4.2018. Viitattu 19.12.2019 <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/>
- LUT www-sivut. Viitattu 28.1.2020 <https://www.lut.fi>
- Lähde, P. 2019. Solar energy fundamentals. Luento Satakunnan ammattikorkeakoulun Solar energy kurssilla 18.9.2019.
- Motiva www-sivut. 2019. Viitattu 8.12.2019 <https://www.motiva.fi/>
- Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S & Öistämö, J. 2015. Tekniikan kaavasto. 14.painos. Tampere: Tammertekniikka.
- Sallila Energia www-sivut. Viitattu 28.1.2020 <https://sallilaenergia.fi>
- STEP www-sivut. 2019. Viitattu 25.11.2019 <https://www.stepenergy.veolia.fi>
- SolarPower Europe Global Market Outlook 2019-2023. 2019. Viitattu 18.12.2019 <https://www.solarpowereurope.org/global-market-outlook-2019-2023/>
- Spiegel, C. 2019 Determining the Best Location for a PV System. FuelCellStore. 22.1.2019. Viitattu 8.1.2020 <https://www.fuelcellstore.com/blog-section>
- Piko Solar www-sivut. Viitattu 28.1.2020 <https://www.piko-solar-portal.com/Plant-ShowGridPublic.aspx>

Pukkila, T. 2016. Nakkilan aurinkovoimala hyytyi – Raumalle odotetaan valtion tukipäättöä. Yle. 30.11.2016. Viitattu 19.12.2019 <https://yle.fi/uutiset>



TENKA[®]
solar

Manufactured By



Model:KL250W-60P

Rated Maximum Power(Pm)	250W
Tolerance	+5%
Voltage at Pmax(Vmp)	30.4V
Current at Pmax(Imp)	8.22A
Open-Circuit Voltage(Voc)	37.6V
Short-Circuit Current(Isc)	8.82A
Normal Operating Cell Temp(NOCT)	45±2°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Series Fuse Rating	15A
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Application Class	Class A
Cell Technology	Poly-Si
Weight	19Kg
Dimension(mm)	1640×992×40



Warning

Solar modules generate electricity as soon as they are exposed to light. One module on its own is below the safety extra low volt level, but multiple modules connected in series (summing the voltage) represent a danger.

All technical data at standard test condition
AM=1.5 E=1000W/m² TC=25°C





