



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

VESA TAMMILEHTO

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu energiatehokkaaseen pienvenesatamaan

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2021

Tekijä(t) Tammilehto, Vesa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 44	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu energiatehokkaaseen pienvenesatamaan		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
<p>Työssä oli tarkoituksena tutkia aurinkosähköjärjestelmän soveltuvuutta ja sen mahdollisia ongelmia pienvenesatamaympäristössä ja yrittää ratkaista ne. Työn esimerkkikohteena toimi Airiston Matkailukeskus Oy:n pienvenesatama, johon on todellisuudessa tulossa aurinkosähköjärjestelmä vuonna 2021.</p> <p>Työ toteutettiin PVGIS-sovelluksen aurinkosähkön tuoton simuloinnin ja Carunan sähkön kulutuksen seurannan perusteella ja mallinnettiin rakennus aurinkopaneeleineen SketchUp – sovelluksella, jolla voidaan simuloida varjoja eri vuodenaikaan.</p> <p>Tuntikohtaiset tuotantotiedot ja kulutustiedot asetettiin kohdilleen Exceeliin, jonka jälkeen pystyttiin määrittelemään kulutuksen ja tuoton kohtaaminen. Tämän jälkeen tultiin siihen lopputulokseen, että paras tapa optimoida aurinkosähkö kohteessa olisi käyttää virtuaaliakku-palvelua, joka tarkoittaa sitä, että sähköyhtiö hyvittää verkkoon myytävästä sähköstä suurin piirtein ostohinnan verran. Lisäksi määriteltiin taloudellisesti optimaalisin virtuaaliakun koko.</p>		
<u>Asiasanat</u> Airisto, pienvenesatama, aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, virtuaaliakku		

Author(s) Tammilehto, Vesa	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2021
	Number of pages 44	Language of publication: Finnish
Title of publication Designing a photovoltaic system for an energy efficient small port		
Degree program Energy and environmental engineering degree programme		
<p>The purpose of this thesis was to examine the application of solar electricity and its problems in a small port environment and trying to resolve them. The real world example used in this thesis is Airiston Matkailukeskus Oy, because there will be a photovoltaic system built there in 2021.</p> <p>The solar electricity production data and simulations in this thesis were acquired from PVGIS-application. The electricity consumption data was obtained from Caruna's Energy monitoring service online and the building with PV-system was modelled with SketchUp-software that can simulate shadows during different times of the year.</p> <p>The hourly consumption and production data was then compared in Excel, where calculations were performed to determine how well the produced solar electricity met with the consumption of the port. The conclusion was that the best way to optimize the usage of electricity produced by the system was to use a virtual battery -service. The most financially optimal size for the virtual battery was also determined.</p>		
<u>Key words</u> Airisto, marina, small port, solar electricity, photovoltaic system, virtual battery		

ALKUSANAT

Kiitokset tämän opinnäytetyön tilaajalle SAMK/CBSmallports-hankkeelle ja yhteistyössä toimineelle Airiston Matkailukeskus Oy:lle. Kiitokset myös työn ohjaajalle Satakunnan ammattikorkeakoulun Teemu Heikkiselle, sekä työssä Airiston puolesta yhteishenkilöinä toimineille Robert Kristianssonille ja Kari Suonsillalle.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KOHDE	7
3	PVGIS-SOVELLUS.....	9
4	MITÄ ON AURINKOENERGIA?	10
4.1	Fysikaaliset prosessit	10
4.2	Maapallolle tuleva säteily	11
5	AURINKOPANEELI.....	14
6	ERILAISET AURINKOPANEELIN TYYBIT.....	15
6.1	Monikidepaneeli	15
6.2	Yksikidepaneeli	16
6.3	Ohutkalvopaneeli.....	16
7	ERILAISET AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	17
7.1	Off-grid.....	17
7.2	On-grid	19
8	JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA ASENNUS	21
8.1	Mitoittaminen	21
8.2	Suuntaus ja asennuskulma kohteessa	22
8.3	Asennus	22
8.4	Mahdollisten akkujen paikka ja johdotus	25
9	VARJOJEN SIMULOINTI SKETCHUPISSA.....	27
10	AIRISTON VENESATAMAN SÄHKÖN KULUTUS.....	29
11	YLLÄPITO	34
12	MITTAUS JA SIIHEN LIITTYVÄT ONGELMAT	35
12.1	Vaiheiden mittaus.....	35
12.2	Lakimuutokset.....	36
13	VIRTUAALIAKKU.....	37
13.1	Mikä on virtuaaliakku?.....	37
13.2	Miten virtuaaliakkua voisi hyödyntää pienvenesatamassa?.....	37
13.3	Virtuaaliakku: Esimerkkinä Airiston venesatama.....	37
14	TYÖN EPÄTARKKUUDET JA ONGELMAT	40
15	JOHTOPÄÄTÖKSET	41

LÄHTEET

1 JOHDANTO

Työn tilaajan, CBSmallports -projektin, tarkoituksena on koota yhteen resurssit ja tieto palveluista kaikkien pienvenesatamien saataville keskisen Itämeren alueella, jotta niiden markkinointia voidaan parantaa. Keskeisenä teemana projektissa on ympäristöystävällisyys. (Smart Urban Business/SAMK, n.d.)

Tässä työssä tutkitaan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta ja sen mahdollisia ongelmia pienvenesatamaympäristössä, jossa oikean maailman esimerkkinä toimii Airiston Matkailukeskus Oy, jonne on tulossa vuonna 2021 oma aurinkosähköjärjestelmä.

Keskeisenä asiana työssä on tarkastella järjestelmän sähkön tuoton ja venesataman sähkön kulutuksen kohtaamista, vaikka käytännössä sähkö meneekin tässä tapauksessa ravintolan käyttöön.

2 KOHDE

Airiston matkailukeskus sijaitsee Paraisilla osoitteessa Airistontie 700, 21600 Parainen. Matkailukeskuksessa on työssä tarkasteltavan venesataman lisäksi myös hotelli, ravintola ja uimaranta. Matkailukeskus tarjoaa myös erilaisia toiminta- ja harrastusmahdollisuuksia erilaisille ryhmille ympäri vuoden. Matkailukeskus tarjoaa esimerkiksi tennistä, soutu- ja moottorivenevuokrausta, sekä pyöräily-, ja kalastustoimintaa. (Strandbo Group, 2021)

Kuvassa 1 Google maps -palvelusta kuva alueesta, jonka keskivaiheilla punaisen rakennuksen vasemmalla puolella on ravintolarakennus, jonka katolle järjestelmä tulee.



Kuva 1: Satelliittikuva Airiston matkailukeskuksesta, johon on lisätty Wordissa kompassi. (Google, 2021)

Alun perin toiveena oli sijoittaa järjestelmä venesataman pohjoispuolella olevalle kalliolle, mutta siihen ei saatu lupaa, minkä takia se päädyttiin sijoittamaan ravintolan katolle. Huoltorakennuksen katto sataman ja ravintolan välissä oli yksi vaihtoehto järjestelmän paikalle, mutta siinä ei ollut tarpeeksi tilaa. Kuvassa on 2 ravintolarakennus.



Kuva 2: Ravintolarakennus, jonka katolle järjestelmä tulee. (Kuva: Kari Suonsilta)

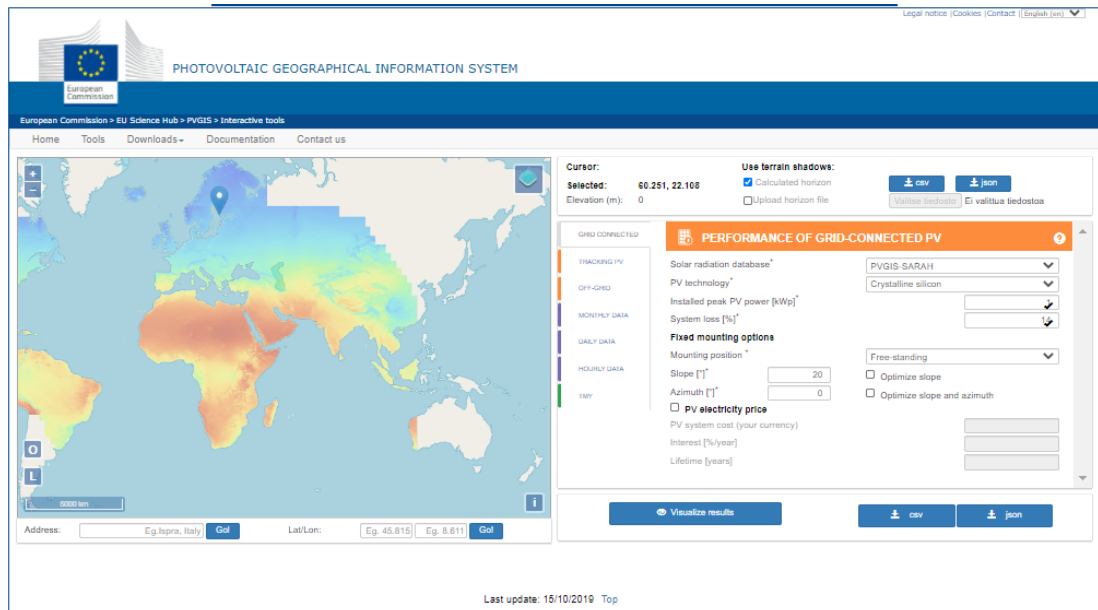
Venesatamassa on vieraspaikkoja 110 kappaletta, ja veneille tarkoitettuja sähköpylväitä 21 kappaletta, joissa jokaisessa on 4 kappaletta 16 ampeerin sulakkeita. (Suonsilta, 2021a). Kuvassa 3 on venelaiturilla oleva sähköpylväs.



Kuva 3: Airiston venesataman laiturin sähköpylväs, jossa on 4x16A paikkoja. (Kuva: Kari Suonsilta)

3 PVGIS-SOVELLUS

Tässä työssä käytettiin suurimmaksi osaksi PVGIS-sovellusta, jolla voidaan simuloida aurinkosähköjärjestelmän tuottoa. Sovellus löytyy Euroopan unionin internetsivulta. Sovelluksella voidaan myös määrittää optimaalinen asennuskulma ja suuntaus. PVGIS:illä on myös mahdollista tarkastella halutun paikan aurinkosähkön tuotantoa tunneittain. Kuvassa 4 on PVGIS-sovelluksen käyttöliittymä.



Kuva 4: Kuvakaappaus PVGIS- sovelluksen käyttöliittymästä. (Euroopan Unioni, 2019)

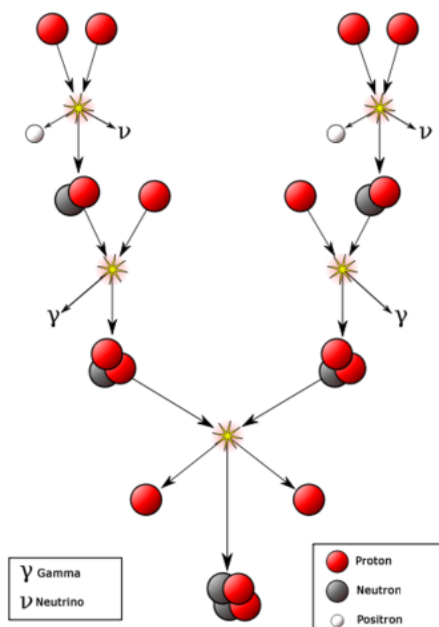
4 MITÄ ON AURINKOENERGIA?

4.1 Fysikaaliset prosessit

Auringon säteily on peräisin auringon ytimessä tapahtuvasta ydinreaktiosta. Auringon painovoiman ansiosta vety fuusioituu ydinreaktiossa heliumiksi. Tämä reaktio tuottaa lämpöä ja valoa. Alla kuvassa 5 auringon ytimen protoni-protoni -reaktio yksinkertaistettuna. (Energy education, 2020)

Reaktiossa kaksi protonia fuusioituu painovoiman vaikutuksesta, jolloin toinen niistä muuttuu neutroniksi. Reaktiossa syntyy positroni, neutriino ja deuteriumatomi. Kun kolmas protoni törmää deuteriumiin, siitä tulee helium-3 -atomi ja se tuottaa gammasäteilyä, joka vapautuu auringonvalona. Kaksi helium-3 -atomia törmäävät muodostaen helium-4 -atomin ja kaksi ylimääräistä protonia. (Energy education, 2020)

Muodostuneen helium-4 -atomin massa on pienempi kuin neljän alkuperäisen protonin massa. Ylimääräinen energia vapautuu valona ja lämpönä avaruuteen. (Energy education, 2020)

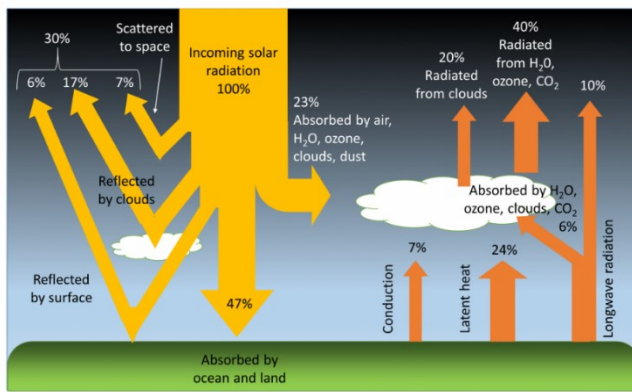


Kuva 5: Auringon ytimen protoni-protoni -reaktio havainnollistettuna. (Energy education, 2020)

4.2 Maapallolle tuleva säteily

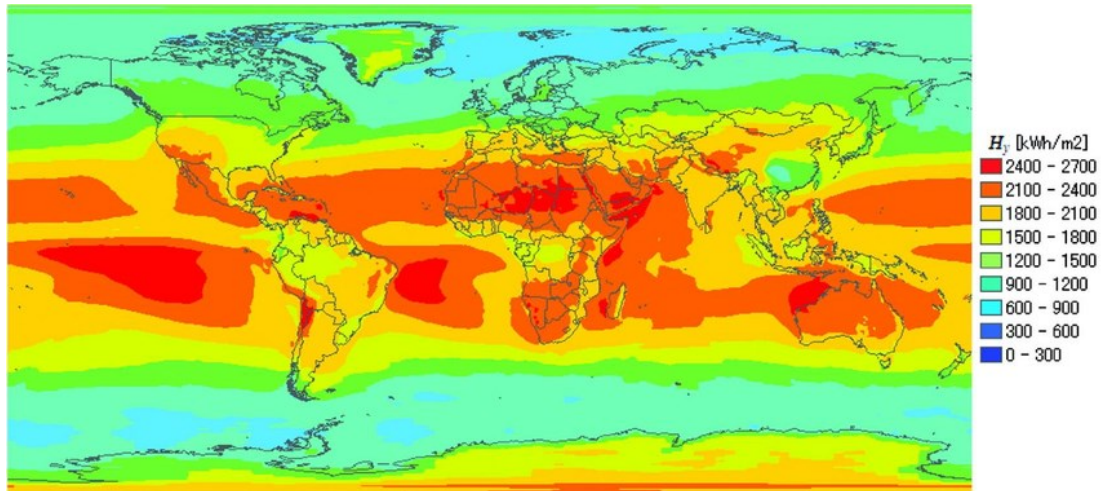
Aurinko säteilee maapallolle sen etäisyydellä ennen ilmakehän heikentävää vaikutusta noin 1360 W/m^2 , mutta keskimäärin vain 342 W/m^2 johtuen vuorokauden ajoista ja siitä, että se ei paista kohtisuoraan jokaiseen paikkaan. Maapalloon osuva 1360 W/m^2 säteily vähenee entisestään ilmakehän ja sen ilmiöiden takia vain noin 1 kW/m^2 asti, ja tämäkin vain kirkkaalla säällä ja jos aurinko on suoraan yläpuolella. (Perälä, 2017, s.8)

Seuraava kuva 6 havainnollistaa, mihin säteily joutuu, kun se osuu planeettaamme.



Kuva 6: Maan lämpöbudjetti (Roger Williams University, n.d.)

Maapallolle mihin hyvänsä kohtaan tulevan säteilyn määrä riippuu seuraavista asioista: Sijainti, vuorokauden aika, vuodenaika, ympäröivä maasto ja sen hetkinen säätila. (Yhdysvaltain energiaministeriö, n.d.). Kuvassa 7 säteily kWh/m².



Kuva 7: Maapallolle tulevan säteilyn määrä kilowattitunteina neliometriä kohden (Gajjira, 2015)

Maapallo ei ole täysin ”suorassa” avaruudessa, vaan se on vinossa noin 23,5 astetta kiertorataansa nähden (NASA, 2000). Säteilyn kulkema matka ilmakehässä vaihtelee eri vuodenaikoina: kesällä pohjoisella pallonpuoliskolla säteily joutuu kulkemaan lyhyemmän matkan ja jakautuu pienemmälle pinta-alalle, jolloin sen voimakkuus on suurempi (Yhdysvaltain energiaministeriö, n.d.). Eteläisellä pallonpuoliskolla ilmiö on päinvastainen. Vuorokauden aika luonnollisesti vaikuttaa eniten, koska aurinko ei paista yöllä, ja iltaisin sekä aamuisin se paistaa matalalta.

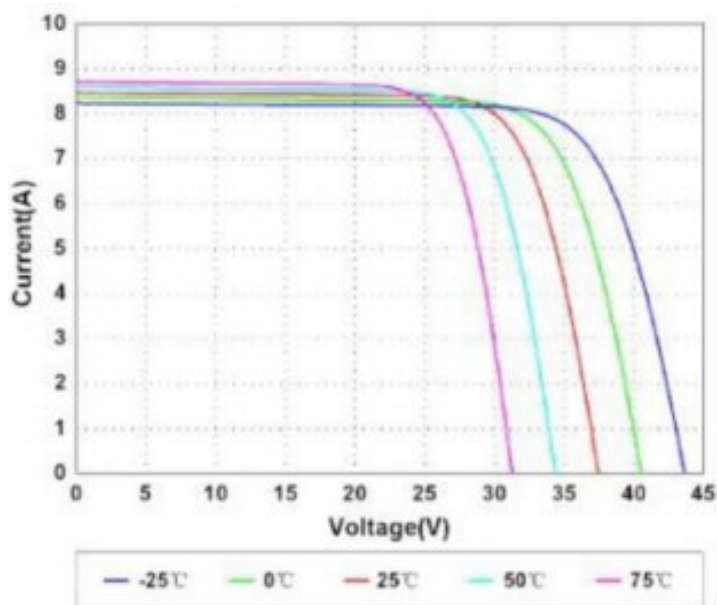
Ympäröivä maasto, kuten toiset rakennukset, puut ja vuoret, voivat luoda varjostuksia, jotka vähentävät aurinkopaneelille tulevan säteilyn määrää. Myös sääilmiöt vaikuttavat säteilyyn. Pilvisellä säällä auringon säteily törmää pilviin, eikä pääse yhtä voimakkaana maan pinnalle. Muita vaikuttavia tekijöitä on esimerkiksi pöly, lumi ja ilman kosteus. Lisäksi paneelin toimintaan vaikuttaa myös lämpötila.

Usein aurinkosähköstä puhuttaessa nostetaan esiin se, ettei Suomen sijainti aurinkoenergian omakotitalokäytön kannalta ole optimaalinen, sillä Suomessa saadaan paljon energiaa kesällä, jolloin sitä tarvitaan vähiten, kun taas talvella sitä tarvitaan eniten, mutta auringosta saatava energia on hyvin pieni. Kuitenkin satamaympäristössä kulutus painottuu kesään, joten aurinkosähkön hyödyntämisellä satamassa on ainakin teoriassa omakotitalokäyttöä enemmän potentiaalia.

Taulukko 1 ja kuvaaja 1 havainnollistavat ilmankosteuden ja lämpötilan vaikutukset paneelin toimintaan. Taulukosta 1 nähdään, kuinka ilman kosteuden kasvu laskee tehoa merkittävästi pienenevän virran takia, koska säteily läpäisee huonommin ”paksumpaa” ilmaa. Kuvaajasta 1 nähdään, kuinka kylmempi lämpötila parantaa paneelin jännitettä.

Taulukko 1: Paneelin teho 305 kelvinin eli 32°C lämpötilassa. (Panjwani, 2014)

Temperature(K)	Humidity (%)	Voltage (DC)	Current Amps(DC)	Powers(watts)
305	25	17.10	2.78	47.538
305	30	16.72	2.63	43.973
305	35	16.53	2.42	40.002
305	40	16.45	2.3	37.605
305	45	16.41	2.14	35.117
305	50	16.33	2.04	33.313
305	55	16.32	1.88	30.681

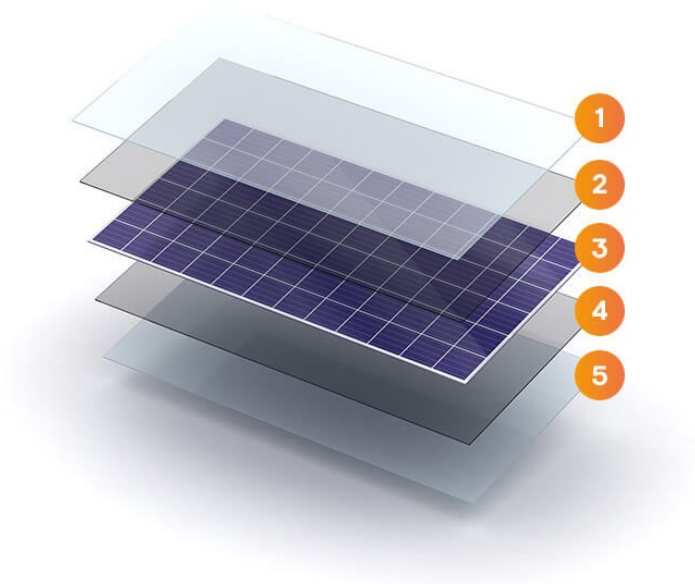


Kuvaaja 1: Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin jännitteeseen. (Ankara Solar, n.d.)

5 AURINKOPANEELI

Aurinkoenergiasta puhuttaessa on hyvä muistaa, että aurinkopaneelia, joka siis tuottaa tasasähköä auringon säteilystä, ei tule sekoittaa aurinkokeräimeen, joka tuottaa lämpöenergiaa absorboimalla auringon säteilyn lämpöenergiaa keruunesteeseen, joka sitten kiertää järjestelmässä ja kuljettaa lämpöä talteen varaajaan.

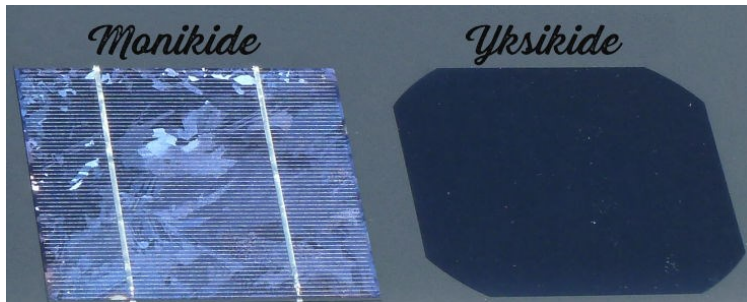
Alla kuvassa 8 räjäytyskuva lasiaurinkopaneelista. Sen osat ovat 1) Heijastamaton etulasi 2) Laminointikalvo 3) Aurinkokenno 4) Laminointikalvo 5) Taustalasi. Kaikissa aurinkopaneeleissa ei välttämättä ole taustalasia vaan niissä voi olla myös taustalevy. (Aurinkocenter, 2021)



Kuva 8: Lasiaurinkopaneelin rakenne. (Aurinkocenter, 2021)

6 ERILAISET AURINKOPANEELIN TYYPIT

Aurinkopaneeleita voidaan valmistaa yksi- tai monikidepiistä, tai niitä voidaan valmistaa amorfisesta piistä. Amorfisesta piistä voidaan valmistaa ns. ohutkalvopaneeleita, jotka ovat huomattavasti erilaisia. Yksi- ja monikidepiistä valmistetut paneelit ovat ainakin tällä hetkellä suositumpia niiden paremman hyötysuhteen takia.



Kuva 9: Moni- ja yksikidekennot. (Asennustekniikka Lyytinen, 2020)



Kuva 10: Ohutkalvopaneeli. (Fotolia, 2020)

6.1 Monikidepaneeli

Monikidepaneeli valmistetaan valamalla sulasta piikiteestä kenno, joka on neliskantinen. Monikidepaneeli on suosittu sen halvan hinnan vuoksi, mutta ei tuota yhtä tehokkaasti sähköä kuin yksikidepaneeli. (Lumo energia, 2020a)

Monikidepaneeleita on alkanut tulla 80-luvun alussa, jolloin niiden hyötysuhde oli vain noin 10%. Nykyaikaisen monikidepaneelin hyötysuhde voi olla jopa 18%. (Rantamäkelä, 2020, s.12)

6.2 Yksikidepaneeli

Yksikiteinen pii valmistetaan kasvattamalla tanko siemenkiteestä, joka on otettu piisulasta, ja sillä voidaan päästä yli 20% hyötysuhteisiin (Rantamäula, 2020, s.12).

Tangosta leikataan reunoista siivut, jonka jälkeen kennot ovat neliöitä, joissa on pyörretyt kulmat. Pyörretyt kulmat mahdollistavat täysin pyöreää muotoa tiiviimmän asettelun, eli voidaan saada enemmän sähköä tuottavaa pinta-alaa. Jos paneelit leikattaisiin täysin neliöksi, niin hukkamateriaalin määrä kasvaisi.

Tässä työssä tarkasteltavassa asennuksessa on tarkoitus käyttää yksikidepaneeleita.

6.3 Ohutkalvopaneeli

Ohutkalvopaneelit valmistetaan laittamalla kerroksittain hyvin ohuita siivuja valolle herkkää materiaalia jonkin pohjamateriaalin päälle, joka voi olla esimerkiksi lasia. Ohutkalvopaneelien hyötysuhde on vain 10% luokkaa. Ohutkalvopaneelin etuna on tehokkaampi hajasäteilyn keräämisen mahdollisuus, vaikkakin se on hyvin pieni etu. (Motiva, 2020a)

Ohutkalvopaneeleista voidaan myös valmistaa taipuisia, kevyitä ja pieniä mukana kannettavia paneeleita, joilla voidaan tuottaa pieniä määriä sähköä esimerkiksi elektronikan lataamiseen retkeilleissä. Kalvo voidaan asentaa liimaamalla, ja se voidaan kiinnittää taipuisuuden ansiosta pyöreille tai kaareville pinnoille.

7 ERILAISET AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkopaneelijärjestelmiä on kahta tyyppiä, jotka ovat Off-grid ja On-grid. Seuraavaksi esittely niiden toiminnasta, sekä eduista ja haitoista.

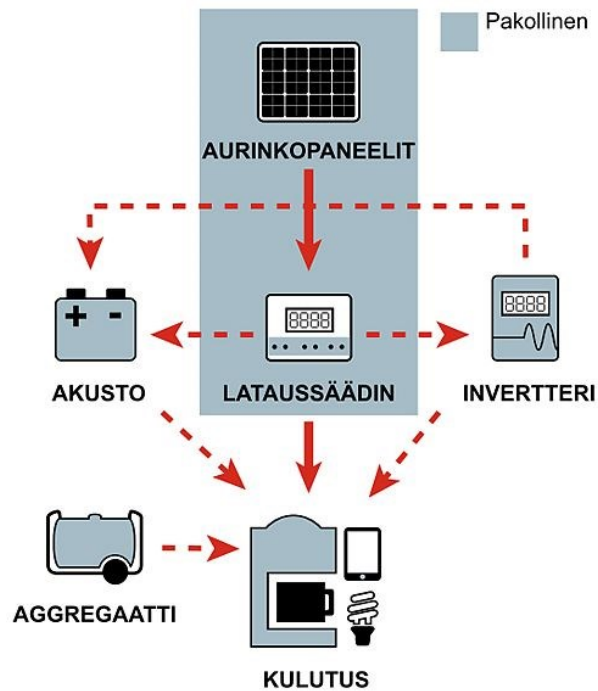
Järjestelmän lisäksi on saatavilla usein sovelluksia, joista voidaan seurata järjestelmän tehoa ja sähkön kulutusta kolmivaihesähkön eri vaiheissa, jonka perusteella voidaan tehdä toimenpiteitä sen optimoimiseksi.

7.1 Off-grid

Off-grid tarkoittaa, että järjestelmä ei ole kytkettynä sähköverkkoon, vaan on erillinen ns. Stand-alone -järjestelmä. Aurinkosähkö keksittiin alun perin paikkoihin, jossa ei ole muuta energian lähdettä. (Boxwell, 2012, s.19)

Pienikokoiset Off-grid -järjestelmät eivät aina vaadi aurinkosähköinvertteriä, mutta tämä tarkoittaa sitä, että siihen kytkettyjen laitteiden on myös toimittava samalla järjestelmän tasavirralla (Motiva, 2020b). Tästä syystä on tärkeä valita kokonaisuudelle oikea jännite.

Off-grid -järjestelmän etu on se, että siihen sisältyy akku, joka varaa ylimääräisen sähkön myöhemmin käytettäväksi, jolloin aurinkosähköä voidaan hyödyntää silloinkin, kun aurinko ei paista tarpeeksi tai ei ollenkaan. Akun avulla saadaan myös täysi hinta ylimääräisestä sähköstä sen sijaan, että se myytäisiin halvalla verkkoon niissä tapauksissa, kun tuotto ja tarve eivät kohtaa. Off-grid -järjestelmän tyypillinen käyttökohde on esimerkiksi kesämökki tai saarikohde, joka ei kuulu valtakunnan sähköverkkoon, mutta sinne tarvitaan silti sähköä. Kuvassa 11 off-grid -järjestelmä.



Kuva 11: Verkkoon kytkemättömän (off-grid) aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano. (Motiva, 2020c)

Nykyään akkuja on monenlaisia, mutta niiden päätyypit ovat lyijyakku, litiumioniakku, nikkeli-kadmiumakku ja virtausakku. Eri akuilla on eri ominaisuuksia, minkä takia kannattaa selvittää mikä akku sopii omaan kohteeseen parhaiten. (SolarReviews, 2021)

Lyijyakku on tyypillisin valinta, koska se on halvin akuista, se on huoltovapaa ja sen kierrättäminen on helppoa. Lyijyakku vie paljon tilaa, ja se on hyvä valinta esim. kustannustehokkaaksi vara-akuksi sähkökatkon varalle. Lyijyakun elinkaari on 5-10 vuotta. Litiumioniakku on uudempaa teknologiaa, joka varsinkin sähköautojen myötä on tulossa koko ajan yleisemmäksi. Litiumioniakut ovat myös huoltovapaita, sekä varastoivat lyijyakkua suuremman energiamäärän fyysisesti samankokoiseen akkuun. Ne myös kestävät lyijyakkua pidempään, vähintään 10 vuotta. Litiumioniakut ovat lyijyakkua kalliimpia ja paloherkempiä. Kuitenkin ”paloherkempi” litiumakku on oikein asennettuna täysin turvallinen. Litiumioniakun paras käyttökohte on sellainen, jossa halutaan maksimoida akun kapasiteetti tilallisista syistä. (SolarReviews, 2021)

Harvinaisempia akkuja ovat nikkeli-kadmiumakku ja virtausakku. Nikkeli-kadmiumakku on todella kestävä, ja siitä syystä se on ilmailualalla suosittu. Sitä käytetään myös suurissa aurinkosähkön varastointikohteissa. Tämä akkutyyppejä kestävä korkeita lämpötiloja, on huoltovapaa eikä se tarvitse monimutkaisia akkujärjestelmiä. Nikkeli-kadmiumakun haittapuolena on kadmiumin myrkyllisyys, jonka takia niiden hävittäminen on lainsäädännön takia hankalaa, sillä kadmium on kielletty joissakin maissa. Virtausakku on uutta teknologiaa. Virtausakun hyvä puoli on se, että se voidaan käyttää täysin tyhjäksi vahingoittamatta akkua. Ne eivät vaadi paljoa huoltoa ja ovat myös todella pitkäikäisiä, jopa 30 vuotta, ja niiden sisältämä neste on palonkestävää. Virtausakun huonoja puolia ovat niiden korkea hinta ja suuri koko. (SolarReviews, 2021)

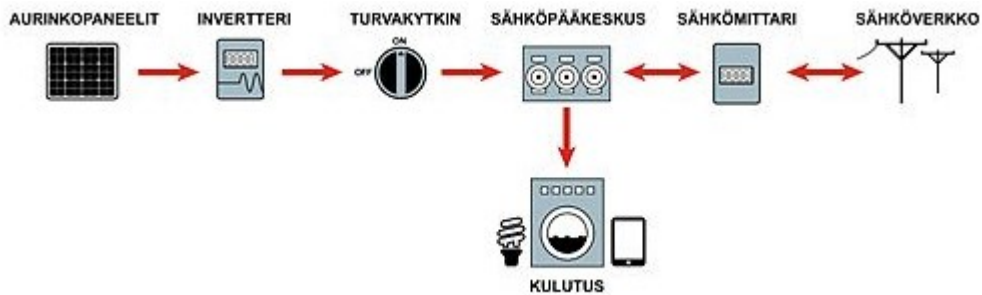
Yleensä akut ovat merkittävä rahallinen investointi, joten jos tarkoitus on saada mahdollisimman taloudellisesti kannattava aurinkosähköjärjestelmä, niin off-grid -järjestelmää ei aina kannata hommata kohteeseen, jossa ei välttämättä tarvita akkua. Toisaalta akku tekee kohteesta omavaraisen esimerkiksi sähkökatkon aikana ja parantaa omakäyttöosuutta. Työssä kerrotaan myöhemmin virtuaaliakusta.

7.2 On-grid

On-grid- eli verkkoon kytketty järjestelmä on kytketty valtakunnan sähköverkkoon. Tästä syystä järjestelmä vaatii aurinkosähköinvertterin, joka mm. muuntaa paneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi. Inverttereitä on 1- ja 3-vaiheisia. Suurimmat järjestelmät ovat 3-vaiheisia. Kumpaakin kytkentätapaa voidaan käyttää omakotitaloissa. On-grid -järjestelmässä pitää tarkastaa vaiheiden netotus sähköyhtiöltä, koska se voi vaihdella yhtiöittäin. (Motiva, 2020b)

Verkkoon kytketyn järjestelmän etu off-grid -järjestelmään verrattuna on se, että siihen ei tarvita kallista akkuinvestointia, vaikkakin sillä voidaan parantaa omakäyttöosuutta. Akun puuttuminen johtaa siihen, että korkean tuoton aikana kulutus ei välttämättä ole yhtä korkea, joten ylimääräinen sähkö myydään verkkoon, josta saatava hinta on huomattavasti pienempi kuin ostetun sähkön hinta.

Esimerkiksi Suomessa joudutaan ostamaan sähköä enemmän aamulla ja illalla, kun ei saada yhtä paljon auringosta energiaa ja ollaan usein kotona, eli käytetään enemmän sähköä kuin päivällä. Päivällä sähkön tuotto voi olla niin suuri, että sähköä myydään halvalla verkkoon, koska voidaan olla pois kotoa ja sähkön kulutus on siksi pientä. Sama pätee myös vuodenaikoihin: kesällä voi olla vaikeata käyttää kaikki sähkö, kun taas talvella ei saada tarpeeksi sähköä. Kuvassa 12 on-grid -järjestelmä.



Kuva 12: Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. (Motiva, 2020d)

Myöhemmin työssä nähdään, että kohteessa Airiston venesatamassa suurin sähkön kulutus osuu onneksi parhaimman tuoton ajalle eli kesälle. Veneitä ladetaan tyypillisesti kello 14 seuraavaan aamuun kello 10 asti (Suonsilta, 2021b). On riskinä, että kaikkein korkein sähkön tuotanto puolen päivän aikaan voi mennä yli tarpeen. Tämän mahdollisen ongelman tutkiminen ja ratkaiseminen on yksi työn tavoitteista.

8 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA ASENNUS

8.1 Mitoittaminen

Kun järjestelmän kokoa mietitään, on otettava huomioon energian kulutus, ja vuodenaika milloin energiaa tarvitaan. Kuten aiemmin mainittiin, usein ongelmana aurinkosähkössä on energian saannin ja tuotannon yhteensopimattomuus, koska Suomessa tyypillisesti tarvitaan kesäisin vähemmän energiaa, vaikka sitä on silloin eniten saatavilla auringosta. Mikäli ei olla investoitu kalliisiin akkuihin, niin ylimääräinen sähkö myydään ostohintaa huomattavasti pienemmällä hinnalla verkkoon, joka pienentää omakäyttöosuutta ja pidentää takaisinmaksuaikaa järjestelmälle. Toisaalta akun hionnaaminen itsessäänkin jo pidentää takaisinmaksuaikaa. On myös huomioitava tulevaisuuden sähkön tarpeen muutokset.

Riippuen kohteesta, omakotitalon järjestelmä tulisi mitoittaa niin, että sen tuotto kattaisi 20-35% vuosittaisesta kulutuksesta (Lumo energia, 2020b). Jos järjestelmän tuotto kattaisi tätä paljon suuremman kulutuksen, niin se johtaa vain epätaloudelliseen tuoton ja kulutuksen kohtaamiseen, jolloin sähköä myytäisiin silloin verkkoon enemmän.

Tämän työn esimerkkikohteessa on tavoitteena saada mahdollisimman monta paneelia mahtumaan katolle, mutta loppupeleissä toimittaja hoitaa mitoittamisen heidän laskelmien ja arvioiden mukaan (Suonsilta 2021a).

Kohteeseen tuleva aurinkosähköjärjestelmä on On-grid, jonka on tarkoitus muodostua 54 tai 60 kappaleesta Salo Mono 375 W yksikidepaneeleita, jotka antavat järjestelmän huipputehoksi noin 20,25 kWp tai 22,5 kWp. Invertteriksi on valittu ylijännitesuojalla varustettu 3-vaiheinen Fronius Symo 20.0-3-M -invertteri. (Suonsilta, 2021b)

Myöhemmin nähtävissä suunnittelukuvissa käytetään 54 paneelia, minkä takia tässä työssä tarkastellaan suunnittelukuvan mukaista järjestelmää.

8.2 Suuntaus ja asennuskulma kohteessa

Suomessa optimaalinen kallistuskulma on 40-45 astetta etelään, joka siis tarjoaa maksimaalisen vuosituoton paneeleille (Väre, 2020). Kallistuskulmaa muuttamalla voidaan vaikuttaa siihen, milloin saadaan suurin tuotto. Esimerkiksi keskikesällä kokonaisuudessaan suurin tuotto saataisiin 30 asteen kallistuskulmalla (Perälä, 2017, s.87).

Aina paneeleita ei kuitenkaan voida asentaa optimaalisen tuoton kulmaan. Tähän syynä voi olla tilan puute, tuulen vaikutus varsinkin meren rannalla, asennuspaikan kaltevuus esimerkiksi lappeen suuntaisesti asennettua katolle tai myyjän osat. Asennukseen käytettävä tila vaikuttaa asennuskulmaan, koska tasakatolle asennettavat paneelit varjostavat sitä enemmän, mitä pystymmässä ne ovat. Jos paneelit asennetaan lappeen suuntaisesti katolle, niin varjostuksia ei ole.

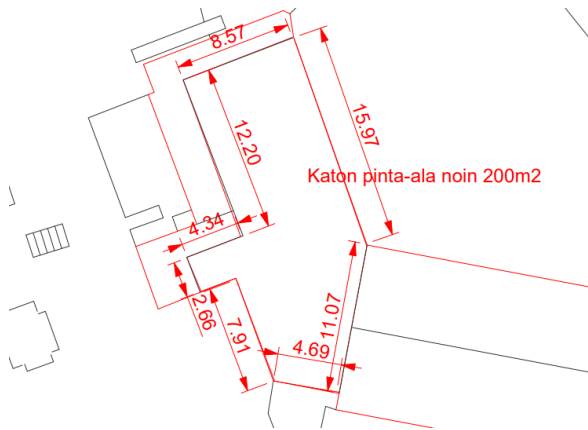
Myös alueen rakennusmääräykset voivat vaatia, että paneelit asennetaan lappeen suuntaisesti katolle, jolloin kulma voi olla joissain tapauksissa kohtuullisen loiva. Rakennusmääräykset voivat vaihdella kunnittain tai jopa kunnan sisällä (Motiva, 2020e).

Mikäli paneeleita asennetaan muualle kuin tasakatolle, voi kulman muuttaminen asennusalueesta eriäväksi nostaa asennuskustannuksia, jos rakennusmääräykset sen edes sallivat. Tämän vuoksi tuotannon kannalta paras kulma ei aina ole taloudellisesti paras vaihtoehto.

Tämän työn asennuskohteen optimaaliseksi kulmaksi saatiin PVGIS sovelluksella 43 astetta. Järjestelmän toimittaja käyttää 20 asteen kulman mahdollistavia osia (Arevasolar, 2020).

8.3 Asennus

Käytettävät paneelit asennetaan kuvan 13 mukaisen tasakattoisen ravintolarakennuksen katolle, jonka pinta-ala on noin 200 m². Tiedossa ei ole ympäröivien rakennusten korkeuksia.

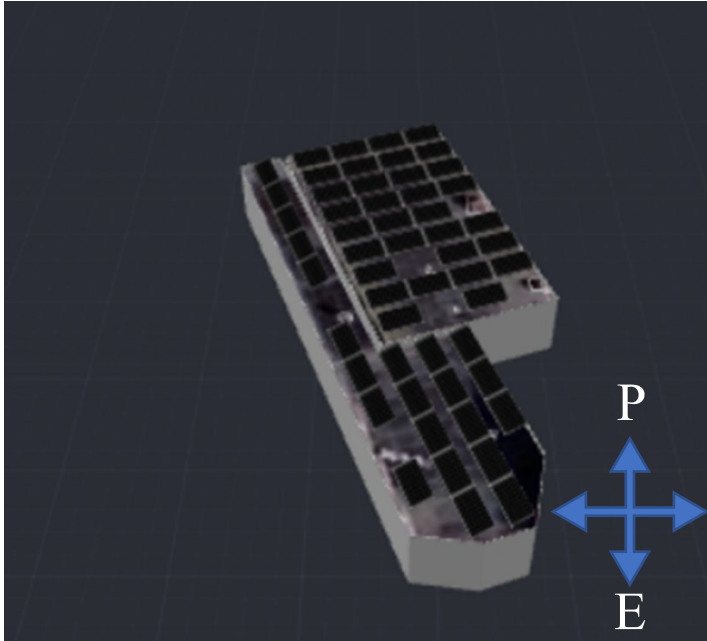


Kuva 13: Asennuspaikaksi valitun ravintolarakennuksen katto. (Suonsilta, 2021b)

Paneelien mitat ovat seuraavat: Pituus 1636 mm, leveys 992 mm ja paksuus 40 mm. (Arevasolar, n.d.). Paneelit asennetaan vaaka-asennuksena pitkä sivu kattoa vasten, jolloin paneelin leveys toimii käytännössä sen korkeutena, joka riippuu asennuskulmasta.

Paneelien lopullista järjestystä tai suuntaa ei vielä tiedetä täysin varmasti, mutta alla olevien konseptikuvien 14 ja 15 perusteella rakennuksen atsimuutti poikkeaa etelästä noin 20 astetta itään päin. Konseptikuvat 14 ja 15 ovat asennuksesta, jossa on 54 paneelia. Kuvat on otettu suoraa etelästä päin.

Tässä työssä puhutaan etu- ja takapaneeleista. Etupaneelit ovat etelästä päin katsottuna edessä ja vasemmalla näkyvät paneelit, jotka ovat suunnattu jonkin verran länteen päin. Takapaneelit ovat taka-alalla hieman itään päin suunnatut paneelit. Kuvat 14 ja 15 ovat ravintolarakennuksen ”lähikuvat” kuvassa 1 esitetystä alueen kokonaiskuvasta.



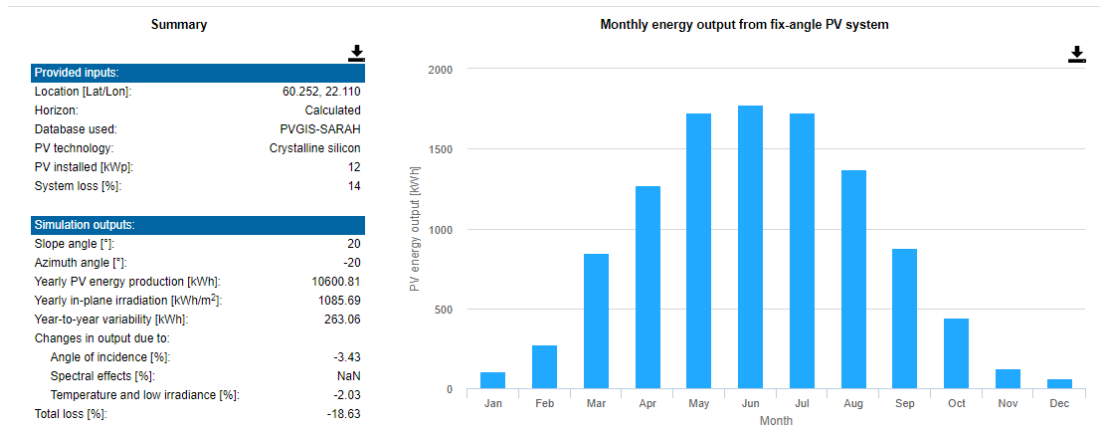
Kuva 14: 3D-malli asennuksesta, johon lisätty Wordissa kompassi 1/2. (Kuva: Kari Suonsilta)



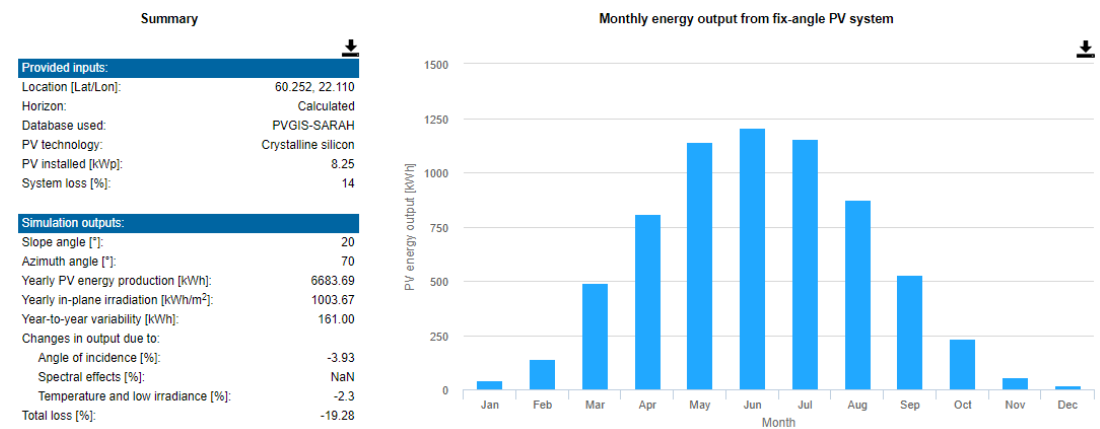
Kuva 15: 3D-malli asennuksesta, johon lisätty Wordissa kompassi, 2/2. (Kuva: Kari Suonsilta)

Kuvista 14 ja 15 nähdään, että takana olevat 32 paneelia ovat noin 20 astetta itään ja etualalla sekä vasemmalla olevat loput 22 paneelia ovat takapaneeleihin verrattuna 90 astetta länteen eli noin 70 astetta länteen eteläsuunnasta. Tuoton vähentyminen 20 asteen heitolla eteläsuunnasta on varsin pieni, mutta 70 astetta vaikuttaa jo jonkin verran.

Kuvissa 16 ja 17 on otanta PVGIS-simulaatiolla saadusta järjestelmän tuotosta. Järjestelmä on pilkottu kahteen eri osaan, jonka jälkeen tuotto lasketaan yhteen.



Kuva 16: 32 kappaletta takapaneeleita, atsimuutti -20 astetta.



Kuva 17: 22 kappaletta etupaneeleita, atsimuutti 70 astetta

PVGIS-sovelluksen simulaatio antaa 54 paneelin järjestelmän yhteistuotoksi noin 10,6 MWh/vuosi + 6,7 MWh/vuosi = 17,3 MWh/vuosi. Myyjän arvio 60 paneelille on noin 18 MWh vuodessa (Suonsilta, 2021a).

8.4 Mahdollisten akkujen paikka ja johdotus

Akut tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle paneeleita ja invertteri lähelle akkuja. Tällöin voidaan minimoida sähkön johtimissa syntyvät häviöt (Perälä, 2017, s.94).

Johtimen resistanssi lasketaan kaavalla $R = \rho \cdot l / A$, jossa ρ on johtimen resistiivisyys, l on johtimen pituus, ja A on johtimen poikkipinta-ala. Kuten kaava osoittaa, johtimen pituus on suoraa verrannollinen johtimen resistanssiin. (J-sivut, n.d.)

Johtimen pituudesta aiheutuvaa resistanssin kasvua voi kompensoida paksummalla johdolla, mutta se maksaa enemmän. Vaikka Airistoon ei tule akkuja, pätee silti asennuksen johdotuksen sääntö mahdollisimman lyhyistä johdoista.

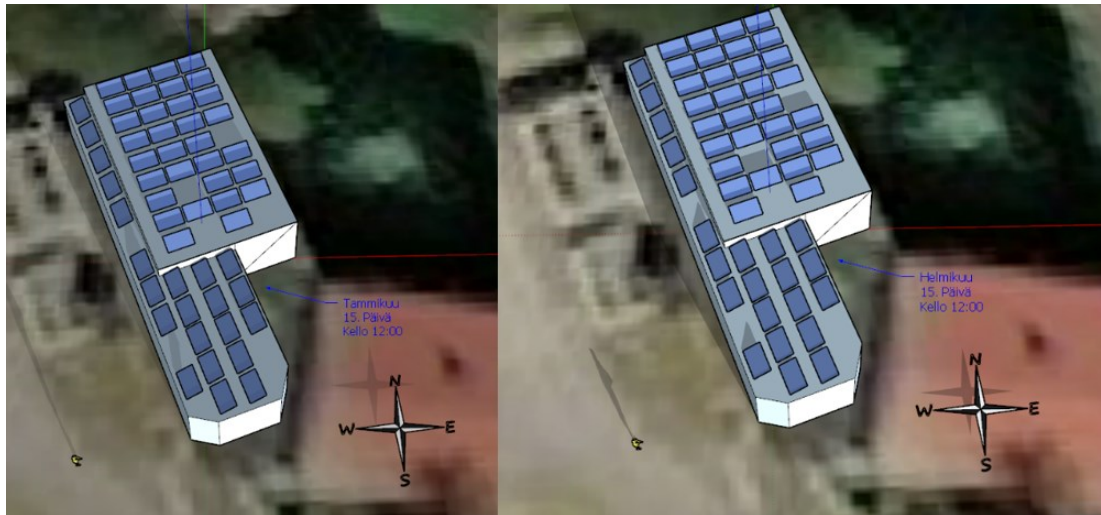
9 VARJOJEN SIMULOINTI SKETCHUPISSA

SketchUp-sovelluksella voidaan piirtää 3D-malleja, joihin voidaan lisätä auringon kulkeureitti valitsemalla maantieteellinen sijainti mallille. Rakennus on piirretty katon mittojen ja suunnittelukuvien perusteella. Ympäröivien rakennusten korkeudet eivät ole tiedossa. Tässä osiossa esitetään varjostusten kannalta tärkeimpien kuukausien varjostukset keskipäivällä eli parhaan tuoton aikaan. Mallinnukseen on käytetty 2020 vuoden pro-versiota.

Varjostuksien eliminointi on todella tärkeää aurinkopaneeleissa, sillä varjot eivät vain vähennä tuotantoa pienemmällä auringossa olevalla pinta-alalla, vaan varjot myös syövät auringossa olevien paneelien tuottoa. Tätä voidaan rajoittaa ohitusdiodeilla, jotka ohittavat kennorivistöt niin, että osa kennoista voi olla varjossa syömättä toisten kennojen tuotantoa.

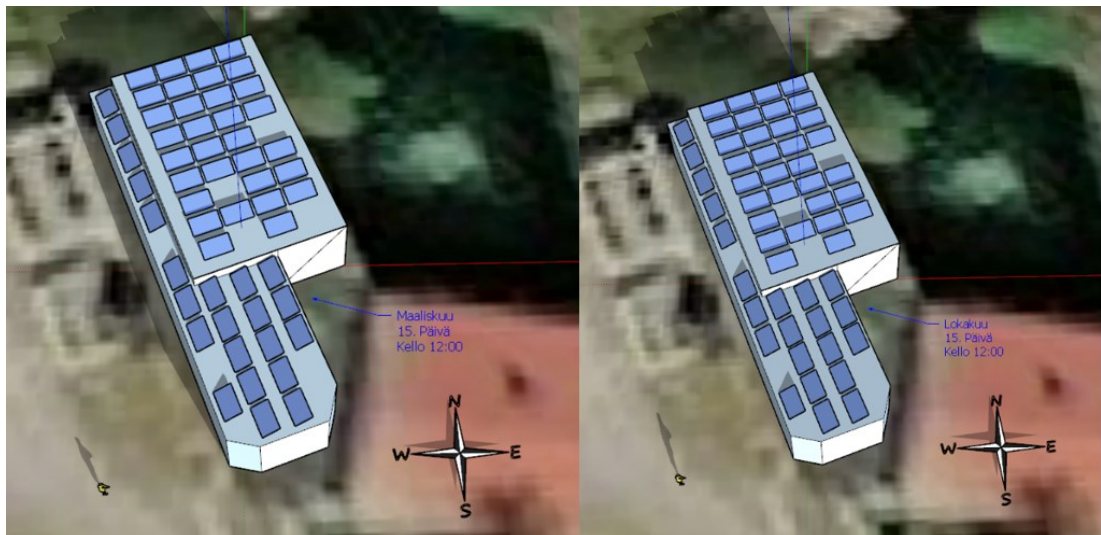
Paneelien asento vaikuttaa diodien hyödyllisyyteen. Kun paneelit asennetaan vaakaan, ovat diodeilla yhdistetyt kennot vaakatasossa, jolloin voidaan vähentää vaakasuuntaisten varjojen vaikutusta. Jos paneelit ovat pystysuunnassa, diodeilla voidaan vähentää pystysuuntaisten varjojen vaikutusta. (Puro, 2021)

Kuvasta 18 nähdään, että tammi- ja helmikuun tuotanto tulee olemaan PVGIS-simulaatiota merkittävästi pienempi, sillä suurin osa paneeleista on varjossa myös keskipäivällä. Tämän lisäksi mahdollinen lumi vähentää tuottoa entisestään.



Kuva 18: Tammikuun ja helmikuun 15. päivä ja. (SketchUp, 2020)

Kuva 19 osoittaa, että maaliskuun puolen välin jälkeen varjostuksien määrä on merkittävästi pienempi ja ne katoavat kokonaan mitä lähemmäksi keskikesää mennään. Varjostukset palaavat lokakuussa, jossa ei muutenkaan enää kuvien 16 ja 17 perusteella saada tuotettua paljoa sähköä.

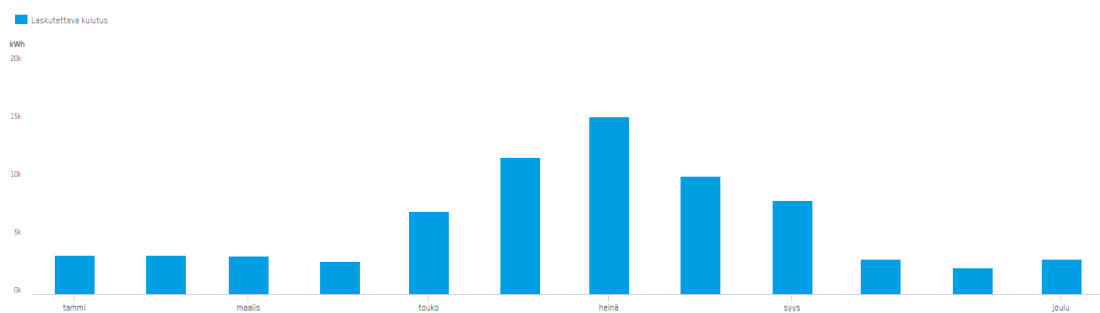


Kuva 19: Maaliskuun ja lokakuun 15. päivä. (SketchUp, 2020)

Kuten Sketchup-mallinnuksista on nähtävissä, varjostukset tuottavat ongelmia lähinnä alku- ja loppuvuodesta. Maaliskuun jälkeen varjot eivät ole ongelma edes aamu- ja iltapäivisin. Varjot ovat lähes symmetriset yhtä kaukana keskikesästä, joten lokakuun jälkeen varjostustilanne on sama kuin alkuvuodestakin.

10 AIRISTON VENESATAMAN SÄHKÖN KULUTUS

Carunan internet-sivuilla on energiaseuranta-toiminto, jonka avulla asiakas voi tarkastella kohteen sähkön kulutusta vuosi-, kuukausi-, päivä-, ja tuntitasolla. Tehtävässä käytetään kulutustietoja vuodelta 2018 ja PVGIS:in tuotantotietoa vuodelta 2016. PVGIS-tietojen vuodelta ei ole merkitystä, koska ainoa ero eri vuosien välillä on täysin sattumanvarainen säätila mittaushetkillä. Toinen vuosi ei siis ole välttämättä yhtään ”tarkempi” kuin toinen. Alla kuva 20 vuoden 2018 sähkön kulutuksen jakautumisesta.



Kuva 20: Airiston venesataman sähkön kulutus 2018. (Caruna, 2021)

Kuten nähdään, suurin sähkön kulutus keskittyy touko- ja syyskuun välille veneilykaudelle. Tämä on myös otollisin aika aurinkoenergian tuotannolle. Yleensä Suomen olosuhteissa kulutuskäyrä on vastakkainen, eli kulutus painottuu kylmille kuukausille.

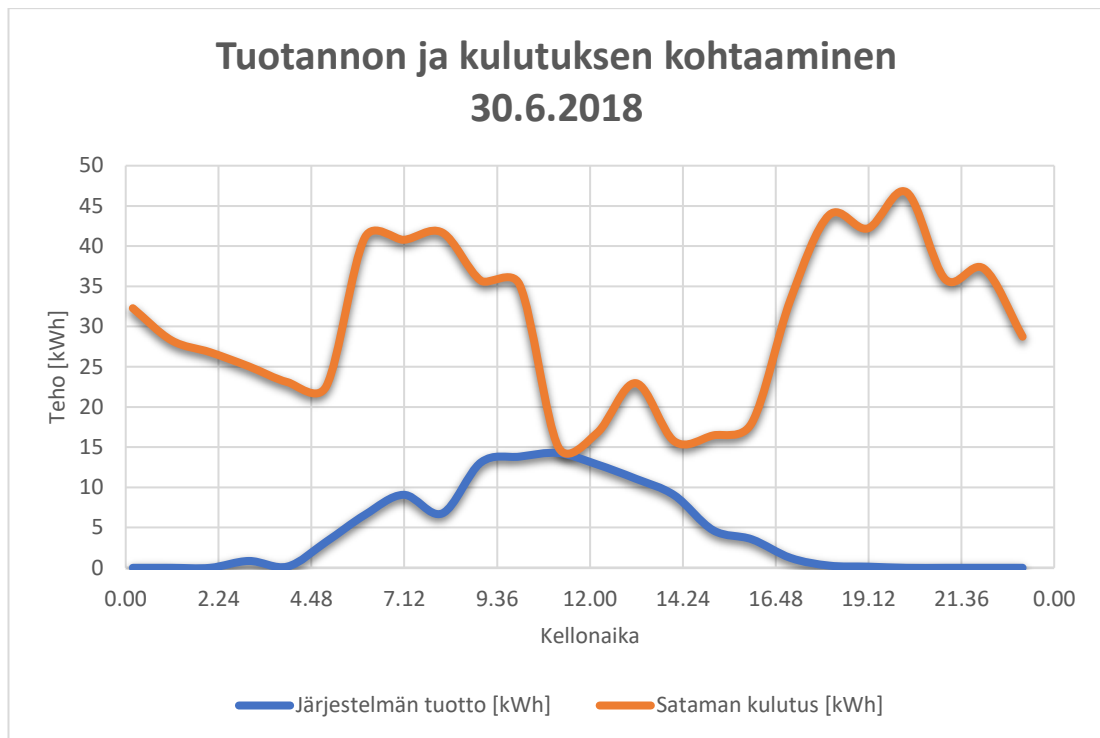
Laskennassa käytetyssä PVGIS-tilikossa on melkein 9000 riviä, joten sitä ei voi liittää tähän työhön. Tilikossa 2 on esimerkkipätkä laskennasta, jonka perusteella laskenta on halutessa mahdollista toistaa.

Taulukko 2: Poiminta laskennasta, kesäkuun 1. päivä.

1.6.2016 Kellonaika	Järjestelmän tunti- kohtainen teho [kWh]		Kokonaisteho [kWh]	Sataman tuntikohtainen kulutus [kWh]	Tuoton ja kulutuksen erotus [kWh]
	Etu- ja sivu- paneelit	Taka- paneelit			
0:11	0,0	0,0	0,0	7,7	-7,7
1:11	0,0	0,0	0,0	6,7	-6,7
2:11	0,0	0,0	0,0	7,1	-7,1
3:11	0,1	0,2	0,3	7,6	-7,3
4:11	0,7	1,6	2,3	6,2	-3,9
5:11	0,7	3,5	4,2	6,0	-1,8
6:11	1,5	5,4	6,9	9,8	-2,9
7:11	2,6	7,0	9,6	6,6	3,0
8:11	3,6	7,9	11,5	6,2	5,3
9:11	4,5	8,6	13,2	8,2	4,9
10:11	5,2	8,8	14,0	9,8	4,2
11:11	5,5	8,4	13,9	7,5	6,4
12:11	5,6	7,6	13,2	11,1	2,1
13:11	5,2	6,3	11,6	14,7	-3,1
14:11	4,6	4,8	9,4	8,5	0,9
15:11	4,1	3,2	7,3	10,4	-3,1
16:11	3,1	1,6	4,7	14,8	-10,1
17:11	2,0	0,5	2,5	31,8	-29,3
18:11	0,1	0,1	0,1	24,5	-24,4
19:11	0,0	0,0	0,0	33,8	-33,8
20:11	0,0	0,0	0,0	19,7	-19,7
21:11	0,0	0,0	0,0	28,9	-28,9
22:11	0,0	0,0	0,0	35,0	-35,0
23:11	0,0	0,0	0,0	15,8	-15,8

Taulukossa 2 on PVGIS:in antamat tuntikohtaiset tuotannon arvot kummallekin osalle järjestelmää (kaksi eri atsimuuttia). Kahden eri järjestelmän osan tuotanto on laskettu yhteen. Yhteistuottoa verrataan sitten Carunan energiaseurannan saman hetkiseen kulutukseen. Jos erotus on > 0 kWh, niin se tarkoittaa, että sähköä tulee enemmän kuin sitä kuluu, joten se joko myydään halvalla verkkoon, varastoidaan virtuaaliakkuun, varastoidaan fyysiseen akkuun, tai ohjataan muualle alueelle, mikäli se on mahdollista.

Tuntikohtainen tuotanto ja kulutus osuvat siltä osin hyvin yhteen, että sähkön myynti jopa kesällä on varsin harvinaista. Kuvaaja 2 havainnollistaa sähkön kulutuksen ja tuoton kohtaamisen kesäkuun 30. päivänä 2018, joka on lauantai.



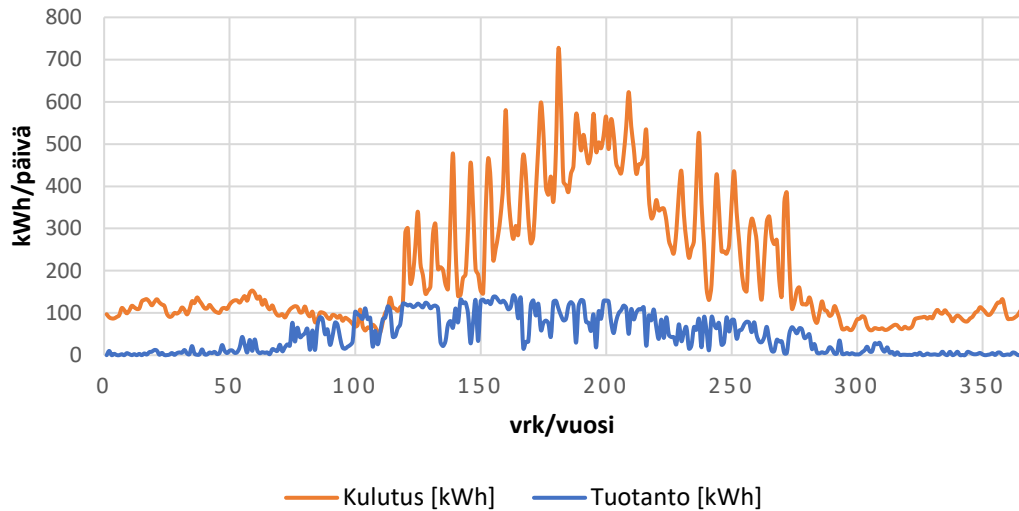
Kuvaaja 2: Sähkön tuotannon ja kulutuksen kohtaaminen 30.6.2018.

Kuvaajan 2 perusteella edes kesällä ei ole riskiä, että sähköä joudutaan myymään verkkoon paljoo. Kuten kuvaajasta 2 nähdään, niin lauantai 30.6.2018 näyttää olevan hieman pilvinen päivä, koska suurin tuntikohtainen tuotanto on vain hieman alle 15 kW.

Vaikka järjestelmä tuottaisi täydellä 20 kWp teholla sähköä, se saadaan varsin hyvin käytettyä korkean peruskulutuksen takia. Mielenkiintoista on se, että päivällä kulutus on pienempi kuin aamulla ja illalla, mikä saattaa johtua siitä, että veneilijät lähtevät pois aamupäivällä ja tulevat yöpymään illalla. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma siinä mielessä, että sähköä jouduttaisiin myymään verkkoon pienemmän kulutuksen aikana.

Kuvaajassa 3 on esitetty koko vuoden sähkön kulutuksen ja tuoton kohtaaminen. Kuvaajaa tarkasteltaessa tulee huomioida, että energiamäärät ovat päivittäisiä, joten päivätason tarkastelussa ei välttämättä näy jokainen hetkittäinen ylituotanto.

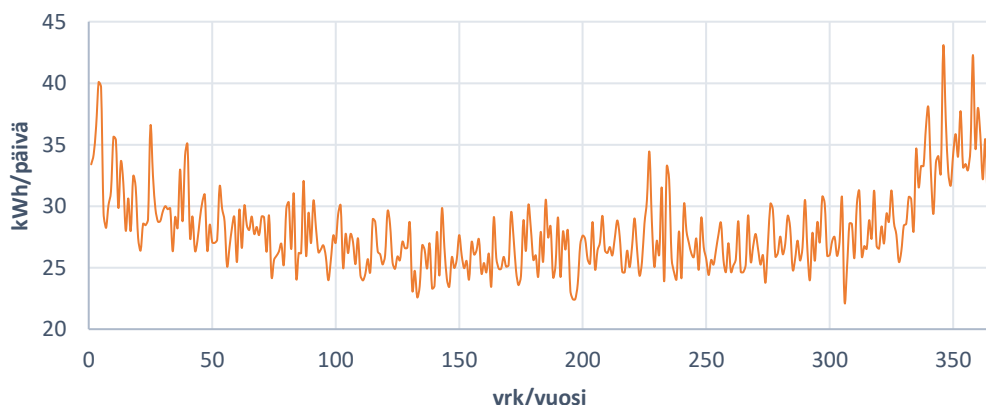
VENESATAMAN SÄHKÖNKULUTUKSEN JA TUOTANNON KOHTAAMINEN PÄIVÄTASOLLA 2018



Kuvaaja 3: Päivittäinen sähkön kulutus ja tuotanto vuonna 2018. Päivät numeroina.

Kuvaajassa 4 on öljylämmitteisen omakotitalon sähkönkulutusprofiili, jota voi verrata venesataman sähkön kulutukseen ja nähdä, kuinka sähkön kulutuksen painotus on päinvastainen omakotitalokohteessa, vaikka se ei olisi sähkölämmitteinen.

öljylämmitteisen Omakotitalon sähkönkulutusprofiili



Kuvaaja 4: Ylöjärvellä sijaitsevan öljylämmitteisen omakotitalon kulutusprofiili. Päivät numeroina.

Koko vuoden tuntikohtaisesta sähkönkulutuksen Excel-laskennasta saadaan lopputulokseksi taulukko 3, jossa on kuukausittainen ylimääräinen sähkön tuotanto, jos järjestelmän tuottama sähkö käytettäisiin venesatamassa.

Taulukko 3: Kuukausittainen ylimääräinen sähkö

Ylituotanto		
Tammi	2374 Wh	2,4 kWh
Helmi	23324 Wh	23,3 kWh
Maalis	359220 Wh	359,2 kWh
Huhti	953784 Wh	953,8 kWh
Touko	759205 Wh	759,2 kWh
Kesä	355632 Wh	355,6 kWh
Heinä	57471 Wh	57,5 kWh
Elo	147722 Wh	147,7 kWh
Syys	171631 Wh	171,6 kWh
Loka	143619 Wh	143,6 kWh
Marras	64283 Wh	64,3 kWh
Joulu	1996 Wh	2,0 kWh
Yhteensä		3040,3 kWh

Kuten näkyy, vuoden aikana tuotetun ylimääräisen sähkön määrä on varsin pieni, 3,04MWh. PVGIS-simulaation mukaan kokonaistuotto järjestelmälle on 17,3 MWh. Tämä tarkoittaa sitä, että omakäyttöosuus järjestelmällä on $1 - (3,04 \text{ MWh} / 17,3 \text{ MWh}) = 82,4\%$.

Paneeleita tässä laskussa on 54, sillä ne ainakin mahtuvat suunnitelman mukaan katonalle. Kuten aiemmin mainittiin, todellisuudessa tämä tuotto menee ravintolarakennukselle, mutta työn tarkoitus on tarkastella aurinkosähköjärjestelmää pienvenesataman näkökulmasta. Kuten kohdassa 9 nähtiin, niin varjostuksien takia kokonaistuotanto on todennäköisesti ylioptimistinen. Myöhemmin työssä tutkitaan mitä ylimääräisellä sähköllä voi tehdä, jotta järjestelmä olisi mahdollisimman kustannustehokas.

11 YLLÄPITO

Oikein asennettuina aurinkopaneelit ovat todella kestäviä ja yleisesti huoltovapaita. On kuitenkin ylläpidollisia toimenpiteitä, joilla voidaan parantaa niiden tuottoa. Paneeleista kannattaa välillä putsata irtonainen roska ja vaikka pestä ne vesisuihkulla, jos mahdollista. Jos paneelit on asennettu katolle, niin sade todennäköisesti pesee niitä tarpeeksi. (Perälä, 2017, s.94.)

On mahdollista, että talvella lumi peittää paneelit, jolloin ne eivät tuota lähes yhtään sähköä. Jos paneelit ovat hankalassa paikassa, esim. katolla, ei niiden putsaaminen ole välttämättä hyvä idea varsinkaan turvallisuuskulmasta. Jos paneelit ovat helpossa paikassa, voidaan niistä lakaista lumet varovasti.

Mikäli paneeleilla on säädettävä teline, niin ne voidaan kääntää pystyyn talveksi, jolloin ne eivät kerää lunta ja tuottavat matalalta paistavan auringon takia paremmin sähköä (Perälä, 2017, s.94.). Airiston tapauksessa tämä ei ole mahdollista.

Paneeleita puhdistaessa on hyvä pitää mielessä, että vaikka paneelit ovat kestäviä, niin niitä ei tulisi hinkata karhealla harjalla, jääskrapalla tai rautalapiolla. Myöskään lämpöshokin takia ei kannata käyttää kuumaa vettä, vaikka se voisi olla houkutteleva ajatus kevätpuhdistuksessa.

12 MITTAUS JA SIIHEN LIITTYVÄT ONGELMAT

12.1 Vaiheiden mittaus

Aalto-yliopiston tutkija Karoliina Auvinen kirjoittaa Energiatalouden uutisessa siitä, miten Suomessa kaikkien sähkönsiirtoyhtiöiden mittarit eivät ole samanlaisia, ja verkko-yhtiön perusteella sähkön mittaamisen tapa vaihtelee. Tämä johtaa siihen, että eri paikkakunnilla sähkön pientuottajat ovat eriarvoisessa asemassa. Toisella paikkakunnalla sähköstä voidaan saada enemmän säästöjä, kun toisella. Tämä johtuu siitä, että kolmivaihesähkö kulkee kolmea eri johdinta pitkin. Erilaiset sähkön mittaustavat johtavat eri tuloksiin. Auvinen kertoo, että mittauksien erot on mahdollista korjata nettolaskutuksella, eli tuottajan tuotannon ja kulutuksen tiedot lasketaan yhteen mittauksen ajanjaksolta. (Auvinen, 2019)

Auvinen antaa seuraavanlaisen esimerkin mittauksen ongelmasta:

Tunnin aikana aurinkosähkön tuotanto yhteensä 3 kWh jakautuu omakotitalon kolmelle vaiheelle tasaisesti 1, 1 ja 1 kWh, mutta laitteiden kulutus vaihtelee seuraavasti:

1. vaihe: Astianpesukone on päällä, jolloin kulutus -2 kWh ja aurinkosähkön tuotanto +1 kWh -> ostetaan sähköä 1 kWh.
2. vaihe: Valaistus ei ole päällä, jolloin kulutus 0 kWh -> aurinkosähkön tuotanto verkkoon +1 kWh.
3. vaihe: jääkaappi on päällä, jolloin kulutus -1 kWh ja aurinkosähkön tuotanto +1 kWh kattaa kulutuksen -> ei ostoa eikä tuotantoa.

Vertaa tunnin mittaustuloksia eri mittareilla:

Vaiheet erikseen mittaava mittari: kuluttaja ostaa sähköä 1 kWh ja myy aurinkosähköä verkkoon 1 kWh.

Vaiheet netottava mittari: 2. vaiheen aurinkosähkön ylijäämä +1 kWh kattaa 1. vaiheen kulutuksen -1 kWh. Kuluttaja kattaa auringolla oman kulutuksen eikä osta eikä myy sähköä. (Auvinen, 2019)

Tämän työn esimerkkikohteessa on vaihenetotus käytössä.

12.2 Lakimuutokset

Ylen Petteri Juuti raportoi Ylen nettisivuilla, että asiaan on tulossa lakimuutoksia, jotka tulevat voimaan viimeistään 1.1.2023. Lakimuutokset koskisivat tuntinetotusta, ja hyvityslaskentaa. Lakimuutoksen myötä tuotettu sähkö lasketaan talon omaan käyttöön. Tuntinetotuksen lakimuutos mahdollistaa jopa 25% säästöt ja tekee mittauksesta tasa-arvoisempaa. (Juuti, 2021)

Hyvityslaskenta-lakimuutos tuli voimaan 1.1.2021, ja tarkoittaa sitä, että aurinkosähkölaitteiston tuottama ylimääräinen sähkö voi nyt kiertää taloyhtiön sisällä. Tällä päästään eroon ongelmasta, jossa siirto- ja veromaksut laskettiin jokaisen mittarin tietojen perusteella. (Auvinen, 2020)

13 VIRTUAALIAKKU

13.1 Mikä on virtuaaliakku?

Virtuaaliakku ei ole tavallinen fyysinen akku, vaan se on sähkön myyjän palvelu. Virtuaaliakulla sähkön ylituotanto vähennetään suoraan kulutuksesta. (Helen, 2020)

Virtuaaliakkupalveluita myydään tyypillisesti vuosi- tai kuukausihinnalla, ja niissä on sopimuksen mukaan jokin tietty kapasiteetti, josta sähköyhtiö hyvittää täyden hinnan tai ainakin hyvin lähelle täyden hinnan. Virtuaaliakku toimii käytännössä kuluttajalle kuin normaali akku, mutta ilman kallista investointia oikeaan akkuun.

13.2 Miten virtuaaliakkua voisi hyödyntää pienvenesatamassa?

Jos voidaan määrittää hetkellinen sähkön tuoton ja kulutuksen kohtaaminen, niin nähdään, paljonko sähköä menee ”hukkaan” eli tässä tapauksessa halvalla myyntiin. Tällöin voidaan laskea, kuinka suuri virtuaaliakku-palvelu on kannattavaa hankkia, jotta saadaan mahdollisimman kannattava järjestelmä.

13.3 Virtuaaliakku: Esimerkkinä Airiston venesatama

Kuten aikaisemmin huomattiin, niin Airiston venesatamasta jäisi ylimääräistä sähköä noin 3 MWh vuosittain, ja luultavasti vähemmän, kun varjostukset huomioidaan. Pienenergia-asiantuntija Janne Käpylehto kertoo Outi Kokon artikkelissa Taloussanomissa, että verkkoon myytävästä sähköstä saa tavallisesti 3-5 senttiä/kWh (Kokko, 2014).

Tämän työn esimerkissä käytetään Oomin virtuaaliakku-palvelua, jonka perusteella havainnollistetaan virtuaaliakun kannattavuutta. Oomi maksaa virtuaaliakun sähköstä 0,14 euron hyvityksen ja heillä on neljä erilaista kokoa virtuaaliakulle: S, M, L ja XL. Esimerkiksi L-koko on 3000 kWh/vuosi, ja sen hinta on 10€/kk. Oomin virtuaaliakun käyttö vaatii aurinkosähköjärjestelmän ja sähkösopimuksen ostamisen Oomilta, ja

sopimus on määräaikaisesti voimassa vähintään kaksi vuotta, jonka jälkeen se on voimassa toistaiseksi. (Oomi, 2020)

Teoriassa tämä tarkoittaa sitä, että verrattuna 4 sentin verkkomyyntiin, virtuaaliakku-palvelulla voisi saada säästöä vuodessa $3000 \text{ kWh} * (0,14\text{€/kWh} - 0,04\text{€/kWh}) = 300\text{€}$ vuoden aikana verrattuna pelkkään myyntiin. Tästä pitää tietenkin lopuksi vähentää virtuaaliakun hinta.

Tarkastellaan eri virtuaaliakkujen kannattavuutta. Akkujen koko ja hinta on samalta Oomin internet-sivulta ja taulukossa 4 on käytetty ylituotantolaskujen kuukausittaisia tuottoja taulukosta 3. Punainen negatiivinen tuotto tarkoittaa, että virtuaaliakku ei ole kannattava sen kuukauden sähkön ylituoton määrällä.

Taulukossa 4 on laskettu virtuaaliakkujen vuosittainen säästö verrattuna pelkkään verkkomyyntiin seuraavalla kaavalla: säästö = $(\text{kapasiteetti} * 0,14\text{€/kWh} + (\text{ylituotanto} - \text{kapasiteetti}) * 0,04\text{€/kWh}) - (12\text{kk} * \text{hinta/kk}) - (\text{ylituotanto} * 0,04\text{€/kWh})$. XL-akun tapauksessa kapasiteetti ei täyty, joten lasketaan seuraavanlaisesti: säästö = $(\text{ylituotanto} * 0,14\text{€/kWh}) - (12\text{kk} * \text{hinta/kk}) - (\text{ylituotanto} * 0,04\text{€/kWh})$

Taulukko 4: Virtuaaliakkujen kannattavuuden vertailu

		Hyvitys sähköstä (akku)		0,14 €/kWh			
		Hyvitys sähköstä (myynti)		0,04 €/kWh			
				S	M	L	XL
		Kapaciteetti [kWh/v]		1500	2500	3000	3500
Ylituotanto	kWh	Hinta [€/kk]		5	7,5	10	15
Tammi	2,4			-4,7	-7,2	-9,7	-14,7
Helmi	23,3			-1,7	-4,2	-6,7	-11,7
Maalis	359,2			45,3	42,8	40,3	35,3
Huhti	953,8			128,5	126,0	123,5	118,5
Touko	759,2			101,3	98,8	96,3	91,3
Kesä	355,6			44,8	42,3	39,8	34,8
Heinä	57,5			3,0	0,5	-2,0	-7,0
Elo	147,7			15,7	13,2	10,7	5,7
Syys	171,6			19,0	16,5	14,0	9,0
Loka	143,6			15,1	12,6	10,1	5,1
Marras	64,3			4,0	1,5	-1,0	-6,0
Joulu	2,0			-4,7	-7,2	-9,7	-14,7
Yhteensä:	3040,3	Säästö [€/v]		90	160	180	124

Laskenta osoittaa, että optimaalisin koko on ainakin teoreettisesti L-koko tässä esimerkissä. Jos käytössä olisi sähköyhtiö, jonka kanssa ei tarvitsisi sopia ympärivuotista sopimusta, niin on mahdollista, että kannattaisi valita pienempi koko vain tietyille kausille.

14 TYÖN EPÄTARKKUUDET JA ONGELMAT

PVGIS:in simulaatiossa tuntikohtainen sähkön tuotto loppuu melko jyrkästi yllättävän aikaisin loppupäivällä, mikä voi johtua varjostuksista. On mahdollista, että todellisudessa saataisiin vielä hajasäteilystä enemmän tuottoa kuin mitä simulaatio näyttää. Tämä tuotanto vaikuttaisi kokonaistuotantoon, mutta ei ylimenevään osaan, sillä illan tuotanto olisi hyvin pientä.

On hyvä muistaa, että PVGIS:in tuotanto on simuloitua, mikä tarkoittaa sitä, että todellisen ja tarkan datan kerääminen on mahdollista vain olemassa olevalla järjestelmällä. Talven lumitilanteen ei pitäisi vaikuttaa millään merkittävällä tavalla ylimääräisen sähkön tuotantoon, mutta se vaikuttaa omaan käyttöön kuluvaan sähköön varsinkin helmi- ja maaliskuun aikoihin, kun auringosta saatava potentiaalinen sähköenergian määrä kasvaa, mutta lumi voi peittää edelleen paneeleita.

Järjestelmän ylläpidolliset toimenpiteet vaikuttavat tuotantoon. Jos järjestelmää ei puksuta vähintään keväällä, kun aurinko alkaa paistamaan ja aurinkosähkön tuotanto kasvaa merkittävästi, niin tuottavuus järjestelmällä kärsii.

Asennustila on rajallinen, joten paneelit varjostavat toisiansa ainakin jossain kohtaa vuotta. Tästä syystä PVGIS-simulaation kuvien 16 ja 17 kokonaistuotannon data on varsin optimistinen. Kuten kohdassa 9 olevien SketchUp-simulaatioiden avulla todettiin, niin varjostuksista suurin osa osuu kuitenkin alku- ja loppuvuodelle, joten sen vaikutus kokonaistuottoon ei välttämättä ole kovin suuri. Tiedossa ei valitettavasti ollut ympäröivän maaston tai rakennusten korkeuksia. Esimerkiksi kuvasta 15 nähdään, että ravintolan itäpuolella oleva rakennus on varsin suuri ja hyvin lähellä ravintolarakennusta.

Työssä tarkasteltiin 54 paneelin järjestelmää, koska siitä oli alustavat asennuskuvat. 60 paneelin järjestelmästä voisi odottaa hieman alle 10% parempaa kokonaistuottoa, jos se olisi mahdollista asentaa suurin piirtein saman suunnitelman mukaan. Kuitenkaan myyntiin menevän sähkön määrää ei voida määrittää lisäämällä saatuun 3 000 kilowattituntiin 10%:ia.

15 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aurinkosähköjärjestelmä on pienvenesatamaympäristössä erinomainen ratkaisu. Pienvenesataman huippukulutus ja aurinkoenergian huipputuotanto osuvat hyvin kohdilleen: vuoden korkein aurinkosähkön tuotanto on alkukesästä syyskuuhun, jolloin on myös vilkkain veneilykausi. Kuten kuvaaja 2 osoittaa, päivätasolla tuotanto ja kulutus osuvat kohdilleen hyvin siltä osin, ettei sähköä jouduta tämän työn esimerkissä myymään useimpina kuukausina edes keskellä päivää, mikä johtaa erinomaiseen noin 80% omakäyttöosuuteen jo ilman fyysisiä akkuja tai virtuaaliakkupalvelua.

Kuvaaja 3 näyttää koko vuoden kulutuksen ja tuotannon päivittäin. Kuvaajasta näkee hyvin, miten korkea peruskulutus satamassa on, ja miten se kasvaa kesällä merkittävästi. Kuten aiemmin todettiin, niin vuositason kuvaajasta ei ole nähtävissä lyhytaikaisia verkkoon myynnin hetkiä, jotka muodostavat suuren osan vuoden aikana verkkoon myytävästä sähköstä.

Kevään ja alkukesän ylituotannon saisi helposti talteen virtuaaliakulla jopa pienvenesatamaympäristössä, jossa oleva järjestelmä on huomattavasti suurempi kuin omakotitaloluokassa. Täydellinen ratkaisu olisi ohjata ylimääräinen sähkö muualle alueelle, mutta sillä on lainsäädännöllisiä esteitä.

Ongelmana pienvenesatamassa aurinkosähkössä on lähinnä mahdollinen tilan puute järjestelmälle ja sitä myötä varjostukset, jotka rajoittavat hankittavan järjestelmän kokoa ja kustannustehokkuutta. Veneilykaudella ei ole riskiä siitä, että järjestelmä tuottaa paljota ylimääräistä sähköä. Mikäli hommattaisiin suurempi järjestelmä, niin vaadittaisiin suurempi virtuaaliakku. Ainakaan toistaiseksi markkinoilla ei ole niin suurta akkua, joka kattaisi merkittävästi suuremman järjestelmän ylituotannon.

Työssä ilmenevät epätarkkuudet ja mittausongelmat ovat yleisesti tyypillisiä aurinkosähköjärjestelmissä, eivätkä vain pienvenesatamassa.

LÄHTEET

Ankara Solar. (n.d.). AS-P60 250-275 Solar module – esite. Haettu 28.4.2021 osoitteesta <http://www.ankarasolar.com.tr/en/wp-content/uploads/2014/04/as-p60-250-275-eng.png>

Arevasolar. (2020). SALO-mounting systems. PDF-esite. Haettu 20.3.2021 osoitteesta http://www.arevasolar.fi/sites/default/files/asennusteline-esite_-_tasakatto_pr.pdf

Arevasolar. (n.d.). Salo solar panels. PDF-esite. Haettu 20.3.2021 osoitteesta http://www.arevasolar.fi/sites/default/files/salo-solarpanels_pr.pdf

Asennustekniikka Lyytinen. (9.6.2020). Moni- ja yksikidekennot [valokuva]. <https://www.asennustekniikkalyytinen.com/aurinkopaneelijarjestelmat/>

Aurinkocenter. (2021). Aurinkopaneelit [havainnekuva]. <https://www.aurinkocenter.fi/aurinkopaneelit>

Auvinen, K. (28.3.2019). Aurinkosähkön pientuotannon mittausta on saatava yhdenmukaiseksi kaikille. Energiatalous. Haettu 28.3.2021 osoitteesta <https://www.energiatalous.fi/?p=2392>

Auvinen, K. (28.5.2020). Aurinkosähkön hyvityslaskentamalli. Finsolar. Haettu 6.4. osoitteesta <https://finsolar.net/aurinkosahkon-tuotantomallit-taloyhtiossa/hyvityslaskentamalli/>

Boxwell, M. (2012). Solar Electricity Handbook 2012 Edition. 6. painos. Ryton on Dunsmore, Greenstream Publishing. ISBN 978-1-907670-18-3.

Caruna. (2021). Carunan asiakkaiden sähkön kulutuksen seuranta. Haettu 12.4.2021 osoitteesta <https://www.caruna.fi/>

Energy education. (2020). Nuclear fusion in the Sun. Haettu 12.2.2021 osoitteesta https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_fusion_in_the_Sun

Euroopan Unioni. (2019). Photovoltaic geographical information system. Haettu 16.3.2021 osoitteesta https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP

Fotolia. (3.7.2020). Ohutkalvopaneeli [valokuva]. <https://www.meillakotona.fi/artikkelit/aurinkopaneelit-tuottavat-halpaa-sahkoa-omaan-kayttoon>

Gajipra, K. (5/2015). Global solar radiation map [havainnekuva]. Reasearchgate. https://www.researchgate.net/figure/Global-Solar-Radiation-Map-pubsacsorg-N-A_fig9_277004153

Google. (2021). [Google maps -satelliittikuva Airiston matkailukeskuksesta] Haettu 28.4.2021 osoitteesta <https://www.google.com/maps/@60.2514752,22.1091476,659m/data=!3m1!1e3>

Helen. (2020). Mikä on virtuaaliakku. Haettu 6.4.2021 osoitteesta <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku>

J-sivut. (n.d.). Tasavirtapiirin kuparikaapelin minimi poikkipinta-alan laskuri. Haettu 20.3.2021 osoitteesta <https://www.jkauppi.fi/kuparikaapeli-poikkipinta-laskuri/>

Juuti, P. (7.2.2021). Aurinkosähkön kannattavuus paranee omakotitaloissa ja taloyhtiöissä – katso kartalta, milloin säästöt kasvavat omalla paikkakunnallasi. Yle. haettu 6.4.2021 osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-11767604>

Kokko, O. (8.9.2014). Näin myyt aurinkosähkösi energiayhtiölle. Janne Käpylehdon haastattelu. Taloussanomat. Haettu 6.4.2021 osoitteesta <https://www.is.fi/taloussanomat/art-2000001848912.html>

Lumo energia. (2020a). Mistä aurinkosähköjärjestelmä koostuu? Haettu 14.2.2021 osoitteesta <https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ostajan-opas/aurinkosahko-jarjestelman-osat/#:~:text=Monikidepaneeli%20on%20perinteinen%20versio%20aurinkopaneelista,on%20yhdess%C3%A4%20aurinkopaneelissa%2060%20kappaletta>

Lumo energia. (2020b). Oikein mitoitettu aurinkopaneelijärjestelmä maksimoi taloudellisen hyödyn. Haettu 28.3.2021 osoitteesta <https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ammattimaisesti-mitoitettu-aurinkopaneelijarjestelma-maksimoi-taloudellisen-hyodyn/>

Motiva. (2020a). Aurinkosähköteknologiat. Haettu 1.4.2021 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva. (2020b). Verkkoon kytketty vai kytkemätön järjestelmä. Haettu 24.3.2021 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ ja _asennus/verkkoon_kytetty_vai_verkkoon_kytkeaton_jarjestelma

Motiva. (2020c). Verkkoon kytkemättömän (off-grid) aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano [havainnekuva]. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma

Motiva. (2020d). Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä [havainnekuva]. Haettu 28.4.2021 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Motiva. (2020e). Rakentaminen. Haettu 18.3.2021 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lain-saadanto_ ja _muu_ohjaus/rakentaminen

NASA. (2020). Earth observatory. Haettu 12.2.2021 osoitteesta https://earthobservatory.nasa.gov/features/Milankovitch/milankovitch_2.php#:~:text=To-

[day%2C%20the%20Earth's%20axis%20is,its%20orbit%20around%20the%20sun.&text=During%20a%20cycle%20that%20averages,between%2022.1%20and%2024.5%20degrees.](#)

Oomi. (2020). Virtuaaliakku. Haettu 6.4.2021 Osoitteesta <https://oomi.fi/aurinkopaneelit/virtuaaliakku/>

Panjwani, M. K. (1/2014). Effect of humidity on the efficiency of solar cell (photovoltaic) [havainnekuva] Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/309104096_Effect_of_humidity_on_the_efficiency_of_solar_cell_photovoltaic

Perälä, R. (2017). Aurinkosähköä. Alfamer/Karisto. ISBN 978-952-472-273-5

Puro V. (18.3.2021). Ohitusdiodit. Aurinkovirta. <https://www.aurinkovirta.fi/rakentaminen/tekniikat/ohitusdiodit/>

Rantamäula, K. (2020). Aurinkokennomateriaalit ja -rakenteet. [LuK-tutkielma, Oulun yliopisto]. Jultika. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202011283216.pdf>

Roger Williams University. (n.d.). Introduction to oceanography. [havainnekuva] <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/8-1-earths-heat-budget/>

SketchUp. (2020). 3D Design Software (2020 pro version) [tietokoneohjelma]. Trimble. <https://www.sketchup.com/>

Smart Urban Business/SAMK. (n.d.). Energiset pienvenesatamat keskisen Itämeren alueella. Haettu 15.4.2021 osoitteesta <https://sub.samk.fi/projects/cb-small-ports-projekti/>

SolarReviews. (2021). What are the different types of solar batteries? Haettu 24.3.2021 osoitteesta <https://www.solarreviews.com/blog/types-of-solar-batteries>

Strandbo Group. (2021). Ravintola Airisto Strand. Haettu 28.3.2021 osoitteesta <http://www.strandbo.fi/airisto.html>

Suonsilta, K. (16.2.2021a). Microsoft Teams -keskustelu Kari Suonsillan kanssa.

Suonsilta, K. (18.2.2021b). Sähköposti Kari Suonsillalta.

Väre. (2020). Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus. Haettu 18.3.2021 osoitteesta <https://vare.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelien-sijoittaminen-ja-suuntaus/>

Yhdysvaltain energiaministeriö. (n.d.). Solar Radiation Basics. Haettu 12.2.2021 osoitteesta <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>