



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Joni Nevala

# Off-grid-järjestelmä ympärivuotiseen loma-asuntoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

25.11.2019

Tekijä Otsikko	Joni Nevala Off-grid-järjestelmä ympärivuotiseen loma-asuntoon
Sivumäärä Aika	25 sivua + 1 liite 25.11.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Jukka Karppinen, Lehtori
<p>Insinööriyön aiheena on off-grid-järjestelmä ympärivuotiseen loma-asuntoon. Tavoitteena oli tutkia uusiutuvia energianlähteitä ja verkosta irrallista rakennuksen sähköistysjärjestelmää. Tutkimuksen perusteella mitoitettiin valittuun esimerkkikohteeseen sähköverkosta irrallinen, omavarainen sähkötuotanto ja -varastointi järjestelmä.</p> <p>Työ toteutettiin verkosta löytävän materiaalin ja esimerkkikohteesta saatujen tietojen pohjalta.</p> <p>Kohteen sähkönjakelujärjestelmän mitoituksessa ja kokoonpanon selvittämisessä onnistuttiin. Saatuja tuloksia voi hyödyntää saman tyyppisen kohteen suunnittelussa.</p> <p>Tutkinnan aikana saatiin myös selville uusiutuviin energianlähteisiin perustuvien järjestelmien sähköntuotanto ja jakelujärjestelmän laitteiden nykyinen tilanne markkinoilla. Laitteiston saatavuus ja valinnanvara on paljon suurempi pienille järjestelmille kuin suurille. Aurinگون valoa hyödyntävää laitteistoa on saatavilla paljon enemmän kuin tuuleen perustuvia. Järjestelmän koon kasvaessa yhä useammat osat löytyvät vain kiinalaisilta yrityksiltä.</p> <p>Off-grid-järjestelmien kannattavuutta isoissa kohteissa laskee huomattavasti nykyinen akkuteknologia. Suurille kulutuksille vaaditun akuston hinta tekee järjestelmän hankinnasta helposti kannattamatonta verrattuna tavalliseen sähköverkkoon tai verkkoon kytkettyyn pientuotantoon verrattuna.</p>	
Avainsanat	tuulivoimala, aurinkopaneeli, off-grid, hybridi

Author Title	Joni Nevala Off-grid system for a Year-round vacation home
Number of Pages Date	25 pages + 1 appendix 25 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>The subject of the thesis is an off-grid system for a year-round vacation home. The aim was to study renewable energy sources and a stand-alone electrification system for houses. Based on the study, a self-sufficient system for generating and storing electricity outside of the grid was designed for the selected sample site.</p> <p>The thesis study is based on material found from the Internet and information given from the sample site.</p> <p>Figuring out the size and configuration of the power distribution system for the site were successfully achieved. Obtained results can be utilized in designing power system for similar sized site.</p> <p>The study of the subject also gave insight into current state of the market for hardware needed to construct off-grid powering system. Hardware availability and diversity is much greater for smaller systems than for larger ones. Solar powered hardware is much easier to come by than wind based. Also, as the size of the system increases, more and more parts can only be found from Chinese companies.</p> <p>The profitability of off-grid systems on larger sites is significantly reduced by the current state of battery technology. The cost of battery required by larger systems makes it easily unprofitable, compared to conventional power grid or systems connected to both renewable power source and conventional power grid.</p>	
Keywords	windturbine, solarpanel, off-grid, hybrid

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Off-grid-järjestelmä	2
3	Sähköä tuottavat laitteet	3
3.1	Aurinkopaneelit	3
3.1.1	Aurinkopaneelien asennussijainti ja olosuhteiden vaikutus	4
3.2	Tuulivoimala	5
3.2.1	HAWT	6
3.2.2	VAWT	8
3.2.3	Tuulivoimalan sijoittaminen	9
3.3	Aggregaatti	9
4	Sähkön siirto, muunto ja valvonta laitteet	10
4.1	Säätimet	10
4.2	Vaihtosuuntaaja	12
5	Sähkön varastointi	13
6	Loma-asunto Puumalassa	14
6.1	Sähköntuotannon arviointi	15
6.2	Järjestelmän mitoitus	17
6.3	Akuston mitoitus	20
6.4	Invertteri ja lataussäätimet	21
7	Taloudellinen tarkastelu	21
8	Yhteenveto	23
	Lähteet	24
	Liitteet	
	Liite 1. Off-grid-järjestelmään valitut laitteet	

## Lyhenteet

HAWT	<i>Horizontal Axis Wind Turbine.</i> Vaaka-akselinen tuuliturbiini.
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking.</i> Sääntötekniikka, jossa jännitteen ja virran suhde säädetään lataustilanteeseen optimiksi.
PWM	<i>Pulse Width Modulation.</i> Sääntötekniikka, jossa kuormaan menevää virtaa ja jännitettä hallitaan katkomalla lähdöstä tulevaa jännitettä useasti lyhyellä aikavälillä.
VAWT	<i>Vertical Axis Wind Turbine.</i> Pystyakselinen tuuliturbiini.

## 1 Johdanto

Ihmiset kiinnittävät aiempaa enemmän huomiota omaan hiilijalanjälkeensä, ja tämä näkyy myös kiinnostuksena uusiutuvia energianlähteitä kohtaan. Sähkötuottajatkin myyvät ekologisesti tuotettua sähköä kuluttajille. Osalle kuluttajista tämä ei kuitenkaan riitä vaan he haluavat tuottaa sähkönsä itse. Paikallistuotannon kiinnostuksen kasvuun on myös vaikuttanut sähkön, erityisesti sen siirron, hinnan nousu. Tähän on kuitenkin mahdollinen ratkaisu. Off-grid-järjestelmä eli omavarainen, uusiutuvia energianlähteitä käytävä ja yleisestä sähköverkosta irti oleva sähköä tuottava järjestelmä. Saarekejärjestelmää on käytetty jo pitkään sellaisten kohteiden sähköistämiseen, joiden kulutus on pientä tai käyttö vähäistä. Onko järjestelmä toteuttamiskelpoinen myös suuremmissa, paljon kulututtavissa kohteissa?

Työn päätavoitteena on mitoittaa yleisestä jakeluverkosta riippumaton sähköistysjärjestelmä ympärivuotisessa käytössä olevaan loma-asuntoon sekä selvittää, onko se taloudellisesti kannattavaa. Kohteen sähköllä toimiva lämmitys sekä muut normaalit kodin mukavuudet nostavat vuotuista sähkönkulutusta. Sähkönkulutuksesta ja käyttöajankohdista johtuen työ keskittyy hybridijärjestelmän tutkimiseen ja mitoittamiseen kohteeseen. Hybridijärjestelmässä käytetään useampaa uusiutuvaa energianlähdettä yhdessä, tämä työ perustuu auringon säteilyn ja tuulen hyödyntämiseen energian tuotannossa.

Työ alkaa off-grid-järjestelmän, aurinkopaneelien ja tuulivoimaloiden teorialla. Näiden jälkeen esitellään järjestelmän vaatimia muita laitteita ja mitä niistä on hyvä tietää järjestelmää suunniteltaessa. Teorian jälkeen siirrytään käsittelemään työssä käytettyä esimerkkikohtetta, tehdään tarvittavat laskelmat järjestelmän sähköntuotanto ja -varastointi vaatimusten selvittämiseksi. Vaatimusten jälkeen esitetään vaihtoehto järjestelmän mahdollisiksi kokoonpanoksi. Viimeisenä käydään läpi järjestelmän toteutuksen kuluja ja katsotaan, onko järjestelmän toteuttaminen taloudellisesti kannattavaa verrattuna sähkön aiheuttamiin kuluihin yleisessä sähköverkossa.

## 2 Off-grid-järjestelmä

Off-grid-järjestelmäksi kutsutaan sähköä tuottavaa laitteistoa, jota ei ole kytketty yleiseen sähköjakeluverkkoon. Järjestelmää käytetään yleensä silloin, kun sähköistettävän kohteen sähkönkulutus on pieni tai runkoverkon rakentaminen kohteeseen on kallista toteuttaa. Yleisimmät kohteet ovat saaret tai muuten valmiin sähköverkon ulkopuolella olevat sijainnit. Kyseisessä järjestelmässä sähköä tuotetaan yleensä aurinkopaneeleilla, tuuli-voimalalla tai aggregaatilla. Tuotettu energia varastoidaan akkuihin myöhempää käyttöä varten.

Järjestelmässä on aina sähköä tuottava laitteisto: aurinkopaneeli, tuulimylly tai aggregaatti, edellä mainitun laitteen säädin, akusto sähköön varastointia varten, vaihto- ja/tai tasasuuntaaja riippuen siitä, onko kohteessa tarkoitus käyttää 12, 24 tai 48 VDC:n vai 230 VAC:n jakelua, sekä järjestelmän vaatimasta maadoitusjärjestelmästä. [1.]

Käytetyin ja laajimmin saatavilla oleva energian tuottolaitteisto on aurinkopaneeli, joita asennetaan yksi tai useampi kohteeseen riippuen sähkönkulutuksesta. Sitä käytetään useasti kohteissa, joissa sähkönkulutus on vähäistä ja käyttöaika sijoittuu pääosin kesäkuukausille, jolloin auringonsäteily on runsaampaa. Aurinkosähköjärjestelmän laajempaa käyttöä rajoittaa sen energiantuotannon määrä ja tuoton sijoittuminen vuoden aikana. Aurinkopaneelien tuotto on riippuvainen pinta-alan lisäksi myös auringon säteilystä, joka Suomessa keskittyy kesäkuukausiin. Talvikuukausien aikana auringonsäteily on heikkoa tai jopa olematonta.

Suuri kulutuksiin tai ympärivuotisiin kohteisiin lisätään pienoisgeneraattori, kuten aggregaatti tai tuulivoimala: Näin energiaa on saatavilla ympäri vuoden. Aggregaatti on hyvä lisä, jos tarvitaan hetkellisesti suuria tehoja. Tuulivoimala taas tuottaa aurinkopaneelien tavoin energiaa jatkuvasti olosuhteiden ollessa suotuisat. Varmimman ympärivuotiseen käyttöön tarkoitetun off-grid-järjestelmän saa liittämällä järjestelmään kaikki kolme energianlähdettä. Aurinkopaneelit tuottavat energiaa kesäisin ja tuulivoimala tuottaa energiaa taas lähes ympäri vuoden mutta eritoten talvella, kun on tuulisempaa. Aggregaatti taas takaa energian saannin tilanteissa, joissa muut lähteet eivät tuota tarpeeksi, tai kuorma on hetkellisesti tavallista suurempi. [1.]

### 3 Sähköä tuottavat laitteet

#### 3.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelien toiminta ja sähkön tuotto perustuvat auringon säteilyyn, valosähköiseen ilmiöön ja puolijohdemateriaalin ominaisuuksiin. Auringon säteilystä hyödynnettävä säteily on pääosin ultraviolettisäteilyä lähi-intrapuna-alueella. Aurinko säteilee noin  $73 \text{ MW/m}^2$ , josta kuitenkin vain noin  $1000 \text{ W/m}^2$  saavuttaa maanpinnan. Suomessa säteilyn määrä vaihtelee suuresti keskiarvon ollessa etelässä noin  $980 \text{ kWh/m}^2$  ja pohjoisessa noin  $750 \text{ kWh/m}^2$ . Aurinkopaneelit tuottavat sähköä valosähköisen ilmiön avulla, jossa auringon säteilyn fotonit luovuttaa energiansa paneelin pinta-aineelle, joka on usein pii (Si), jolloin siitä irtoaa elektroni. [1.]

Aurinkokennot valmistetaan yleensä piistä (Si), joka on puolijohdemateriaali. Puolijohdet ovat alkuaineita tai yhdisteitä, jotka johtavat virtaa huonommin kuin johteet, mutta paremmin kuin eristeet. Puolijohdemateriaalia voidaan kyllästä muilla materiaaleilla. Fosforia lisättäessä muodostuu materiaaliin ylimääräisiä varauksenkuljettajia, jolloin materiaalin johtavuus kasvaa. Tällainen materiaali omaa negatiivisen varauksen, joten sitä kutsutaan N-materiaaliksi. Alumiinilla (Al) kyllästäessä materiaaliin muodostuu aukko, jota voidaan käsitellä ylimääräisenä positiivisena varauksena. Positiivisen varauksen omaamaa materiaalia kutsutaan P-materiaaliksi. P- ja N-aineen ollessa vierekkäin syntyy P-N-liitos, jossa elektronit ja aukot voivat liikkua vapaasti ja kohdatessaan yhdistyä. P-N-liitoksen lähellä on eräänlainen tyhjennysalue, jolla kaikki varauksen kuljettajat ovat yhdistyneet. N-aineen puoleiselle liitospinnalle on muodostunut positiivinen varaus ja P-aineen puolelle negatiivinen varaus. P-N-liitoksen tyhjennysalueelle on muodostunut materiaalin sisäinen sähkökenttä. [1.]

Aurinkopaneeliksi kutsutaan usean kennon yhdistelmää. Kennot on usein juotettu yhteen sarjaan kytkennällä. Kennot koteloidaan ja pinnalle asetetaan lasi sekä taakse tarvittavat kaapeloinnit ja liittimet. Koko rakennelma kehystetään alumiinikehyksellä, jotta kennot pysyvät suojassa kosteudelta ja mekaaniselta rasitukselta. [1.]

Aurinkokennoon syntyy sähkövirta auringonsäteilyn fotonin virittäessä puolijohteessa olevan elektronin saaden sen liikkeellä, jolloin muodostuu uusi elektroniaukkopari. Sisäisen sähkökentän ansiosta elektroni liikkuu N-aineeseen ja aukko P-aineeseen eikä irronneen elektronin ja aukon yhdistymistä tapahdu ja syntyy sähkövirta. Jos elektronin irtoaminen tapahtuu kaukana tyhjennysalueesta, elektroni ja aukko yhdistyvät eikä sähkövirtaa synny. Sähkövirran talteen keräämistä varten kennoihin painetaan hopeasta kontaktit etu- ja takapinnoille, jolloin ne toimivat vastaavasti positiivisena ja negatiivisena elektrodina. [1.]

Yleisimmin käytetyt aurinkokennotyypit ovat yksi- ja monikiteiset piikennot. Näiden lisäksi on myös amorfista piitä sekä CIGS (Copper-Indium-Gallium-Selenide)- ja CdTe (Cadmium-Telluride)-kennoja, joita hyödynnetään ohutkalvotekniikoissa. Eri kennotyypit erottuvat helposti ulkonäkönsä perusteella. Yksikiteinen pii on tasalaatuisen näköinen, monikiteinen pii on sävyltään ja rakenteeltaan epätasainen johtuen sen olevan valmistettu yksikiteisen piin leikkaus- ja hiontajätteestä. Ohutkalvopaneelit taas ovat selkeästi tummemman sävyisiä. [1.]

Monikiteinen pii on valmistettu yksikiteisen piin leikkaus- ja hiontajätteestä, joka sulatetaan ja kiteytetään uudestaan haluttuun muotoon. Tämä valmistusmenetelmä kuitenkin aiheuttaa kidevirheitä piin rakenteeseen. Kidevirheet vähentävät kennojen hyötysuhdetta sillä ne voivat estää elektronin liikkumisen. [1.]

Ohutkalvopaneelit valmistetaan amorfisesta piistä tai mikrokiteisestä (CIGS tai CdTe) materiaalista. Ohutkalvotekniikassa muodostetaan kerroksia eri materiaaleista, jotka tuottavat sähkövirtaa auringon säteilyn eri aallonpituuksilla. Amorfisen piin valmistamiseen käytetään merkittävästi vähemmän piitä kiteisiin paneeleihin verrattuna. [1.]

### 3.1.1 Aurinkopaneelien asennussijainti ja olosuhteiden vaikutus

Tärkeimmät aurinkosähköjärjestelmän tuottoon vaikuttavat tekijät ovat varjostukset, kallistus, suuntaus ja lämpötila. Pienikin varjostus voi saada paneelin tuotannon romahtamaan johtuen paneelin sisäisistä kytkennöistä sekä paneelien kytkennästä sarjaan. Suuremmissa sarjaan kytkennöistä ainakin osa tuotannosta jää saamatta. Mahdollisten varjojen vaikutuksia voi pienentää tekemällä paneeleihin ohituskytkimiä, joiden avulla

varjostuneita aurinkokennoja voi kytkeä järjestelmästä irti jännitetasapainon takia. Tämä pudottaa tietysti myös paneelin tuottaman tehon määrää, mutta vaikutus on pienempi sillä loput kennot tuottavat edelleen sähköä normaalisti. [1.]

Kallistuskulmalla tarkoitetaan paneelin asentoa horisonttiin nähden. 0° tarkoittaa paneelin olevan vaakatasossa ja 90° paneelin olevan pystyssä. Kallistuskulmaa muuttamalla on mahdollista saada tasainen vuosituotanto. Vuosijakauma on kuitenkin hieman erilainen vuoden aikana kuin ilman säätöä. Suomessa vuosituotanto heikkenee selkeästi, jos paneelit asennetaan alle 30° tai yli 60°. Suomessa auringon nousukulma on 45–55°, joten kyseisellä kulma välillä saadaan yleensä parhaimmat arvot. [1.]

Suuntauksella tarkoitetaan paneelien asentoa suhteessa etelään (0°), -90° tarkoittaa suoraan itään ja +90° suoraan länttä kohti. Normaalisti parhaimman tuloksen saa asentamalla paneelit etelää kohti pois lukien tilanne, jossa paneelit asennettu aurinkoa seuraaviin telineisiin. Yksi- ja monikiteisessä piissä +1 °C lämpötilan nousu yli 25 °C lämpötilassa tarkoittaa noin -0,41 % häviötä. Amorfisessa piissä taas sama häviö on -0,1...-0,3 %. [1.]

### 3.2 Tuulivoimala

Auringon säteilyn lämmittäessä maan pintaa syntyy eri lämpötilojen omaavia alueita, näiden alueiden välille syntyy lämpötila eroista johtuva paine-ero. Tuuli on korkeammasta paineesta matalampaan siirtyvää ilmaa. Tuulen suunta ja voimakkuus ovat riippuvaisia paine-eron suuruudesta, maapallon pyörimisliikkeen aiheuttamasta Coriolis-ilmiöstä sekä matalilla korkeuksilla maan pinnan muodon ja laadun aiheuttamista kitkavoimista. Tuuliturbiini muuttaa tuulen liike-energiaa akselin pyörimisenergiaksi eli mekaaniseksi energiaksi. Turbiinin tuottamaan energiaan vaikuttaa eniten tuulen nopeus ja roottorin pinta-ala. Betzin lain perusteella tuuliturbiinilla on kuitenkin mahdollista ideaalitalanteessa saada talteen enintään 59,3 % tuulen liike-energiasta. Käytännössä tuulesta saadaan talteen energiaa 30–40 %. [2.]

Tuuliturbiinit voi luokitella usealla eri tavalla, esimerkiksi rakenteen, toimintaperiaatteen, säätötavan tai koon mukaan. Rakenteen perusteella tuulivoimalat voi jakaa joko pysty-akselisiin (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine) tai vaaka-akselisiin (HAWT –

Horizontal Acsis Wind Turbine) tuuliturbiineihin. Vaaka-akselisen turbiinin toiminta perustuu lapoihin syntyvään aerodynaamiseen voimaan eli ohivirtaavan ilman siipeen aiheuttamaan paine-eroon, joka saa siivet liikkumaan. Pystyakselisen turbiinin toiminta perustuu tuulen työntävään vaikutukseen, aerodynaamisen voimaan tai näiden yhdistelmään. Yleisimmin energian tuotannossa käytetty tuuliturbiini on kolmilapainen HAWT. Pystyakselisen tuuliturbiinin roottorin pyörähdyspinta-ala on pienempi kuin fyysisesti saman kokoluokan vaaka-akselisella turbiinilla. [3.]

Tuuliturbiinit asennetaan normaalisti mastoon, jonka korkeus on 12–30 m. Maston kolme perustyyppiä ovat harustettu masto, itsestään seisova putkimasto ja ristikkomasto. Harustettu masto on rakenteeltaan putki- tai ristikkomallia, mutta se tuetaan vajereilla läheltä huippua maahan. Harukset kytketään kolmioksi tai neliöksi riippuen niiden määrästä. Harustettu masto on edullisin vaihtoehto, sillä sen ei tarvitse olla raskastekoinen. Harukset kuitenkin vaativat oman tilansa, eikä tällaista tilaa kaikissa asennuspaikoissa ole saatavilla. Itsestään seisova putkimasto on huippua kohti kapeneva, useammasta kappaleesta koottu masto. Sitä ei tueta haruksilla vaan vahvalla valetulla perustuksella. Ristikkomasto on putkimastoa edullisempi vaihtoehto kevyemmän rakenteen ansiosta. Ristikkomasto vaatii vahvan perustuksen. [3.]

### 3.2.1 HAWT

Vaaka-akselisen turbiinin voidaan katsoa koostuvan roottorista (napa ja lavat), konehuoneesta (naselli), mastosta ja perustuksista. Napa on roottorin osa, johon lavat on kiinnitetty ja joka on kytketty generaattorin akseliin. Lapojen lukumäärä on normaalisti kolme. Kolme lapa vähentää tuulesta johtuvan pyörimisen voimaa, joka pyrkii kiertämään potkurin akselia verrattuna kahteen lapaan. Neljästä lavasta taas ei saada suurtakaan hyötyä kolmeen verrattaessa. Tuulivoimalan korkeus ilmoitetaan yleensä navan korkeutena maanpinnasta eli napakorkeutena. Lavat ovat tuulivoimalan siivet, joita tuuli liikuttaa, mikä saa roottorin pyörimään akselinsa ympäri ja generaattori muuntaa tämän pyörimisliikkeen sähköenergiaksi. [3.]

Konehuoneessa on tuulivoimalan generaattori, vaihteisto, laakerit ja taajuusmuuttaja. Pienvoimalaitoksissa ei kuitenkaan yleensä ole vaihteistoa ja taajuusmuuttajaa. Vaihteiston paino ja huoltotoimenpiteet tekevät siitä epäkäytännöllisen pientuotannossa.

Hyvät laakerit takaavat navan vaivattoman pyörimisen, jolloin turbiini pyörii helpommin myös heikommilla tuulilla. Generaattori on tavanomaisesti kestmagneettigeneraattori. Kestomagneettigeneraattori koostuu liikkumattomasta staattorista ja pyörivästä roottorista. Staattori ympäröi käämitettyä roottoria. Roottori on yleensä kestmagnetoitu ja sen pyöriessä käämeihin indusoituu sähkövirtaa. Generaattorin tuottama sähkövirta suunnataan tasasuuntaajalla riippumatta generaattorin tyypistä. Tasasuuntaaja voi olla konehuoneessa osana tuulivoimalaa tai se on erillisenä laitteena. [3.]

Tuulivoimalasta pitäisi löytyä myös sitä kääntävä laite, joka varmistaa lapojen olevan tuulta vasten kohtisuorassa, jolloin tuulen vastainen pinta-ala on mahdollisimman suuri. Pientuulivoimalassa on tyypillisesti jonkinlainen pyrstö, jonka avulla se pysyy oikein suunnattuna. Tuulivoimalasta täytyy myös löytyä jonkinlainen myrskysuojaus. Voimaloille on ilmoitettu suurin tuulen nopeus, jonka laitteisto kestää ilman vahinkoa järjestelmään. Yleensä tämä nopeus on 25 m/s. Tuulen nopeuden ylittäessä tämän arvon täytyy järjestelmästä löytyä jokin tapa, jolla turbiinin nopeutta rajoitetaan tai se pysäytetään kokonaan. Mahdollisia tapoja myrskysuojaukseen ovat esimerkiksi automaattinen lapakulman säätö. Lavat kääntyvät epäedullisempaan kulmaan tuuleen nähden, jolloin tuulen vaikutus pienenee. Toinen vaihtoehto on käyttää sellaista peräsintä, joka kääntää voimalan sivuun tuulesta tuulen nopeuden ollessa riittävän suuri. Kolmas vaihtoehto on jarru, joka pysäyttää potkurin tarpeen vaatiessa. Kuvassa 1 on havainnollistava kuva vaaka-akselisesta pientuulivoimalasta. [3.]



Kuva 1. Kolme lapainen vaaka-akselinen tuulivoimala [4.]

### 3.2.2 VAWT

Pystyaksellisilla tuuliturbiineilla on kolme yleistä rakennetta. Spiraalin mallista pystyakselistä tuuliturbiinia kutsutaan Windside-roottoriksi. Darrius-roottori taas koostuu pystyakselistä, salosta, jonka ympärillä kaarevat lavat pyörivät. Lavat kiinnittyvät akselialon alaja yläosaan. Kolmas pystyakselinen voimala on Savonius-malli. Savonius-roottoria kuvaa parhaiten ilmaisu kahdesta lomittain asennetusta tynnyrinpuolikkaasta. Turbiinin poikkileikkaus on katkenneen ja hivenen lomitettun S-kirjaimen muotoinen. [3.]

Pystyakselillisen turbiinin toiminta perustuu ilmanvastuseron maksimointiin. Pystyakseliset tuulivoimalat toimivat herkemmin pienillä tuulen nopeuksilla verrattaessa vaaka-akselisiin. Ne eivät myöskään ole niin herkkiä tuulen suunnan vaihtelulle ja pyörteille. Näiden ominaisuuksien vuoksi niitä voidaan asentaa paikkoihin, joissa vaaka-akselista turbiinia ei voi kunnolla hyödyntää ympäristön olosuhteista johtuen. VAWT:n heikkous on kuitenkin niiden huonompi hyötysuhde ja pienempi roottorin pinta-ala, mikä tekee niistä vähemmän kannattavia kohteen sähkön kulutuksen ollessa suuri. Kuvassa 2 on havainnollistava kuva pystyakselisesta pientuulivoimalasta. [3.]



Kuva 2. Windside-mallinen pystyakselinen tuulivoimala. [5.]

### 3.2.3 Tuulivoimalan sijoittaminen

Tuulivoimalan tuottamaan tehoon vaikuttaa eniten tuulen voimakkuus ja määrä ja tämä kannattaa ottaa huomioon sijoituspaikan valinnassa, jos halutaan tuulivoimalasta olevan jotain hyötyä sähköenergian tuotannossa. Sijoituspaikaksi kannattaa valita sellainen maaston kohta, jossa tuulee paljon eikä ympäristössä olisi mahdollisimman vähän tuulen liikkumista häiritseviä tekijöitä vallitsevan tuulensuunnan ja tuuliturbiinin välissä. Roottorin tulisi sijaita vähintään 7–10 m estettä korkeammalla, jos estä sijaitsee turbiinin läheisyydessä. Esteet aiheuttavat tuuleen pyörteisyyttä, jota turbiinin riittävä etäisyys esteeseen vaimentaa. Pyörteisyys heikentää tuulen tehoa ja tuulen tempoilu rasittaa voimalan rakenteita lyhentäen sen käyttöikä. Parhain paikka on kukkulan huipulla, jolloin tuuli voimistuu noustessaan rinnettä ylös. Tuuliturbiini on mahdollista asentaa myös talon kattoon. Se täytyy kuitenkin asentaa mastoon, joka on 10 m korkeampi kuin talon harja, jotta pyörteiden vaikutus saadaan mahdollisimman pieneksi. Kattoasennuksessa täytyy myös muistaa huolehtia kiinnityskohtien vaimennuksesta, jotta värähtelyt eivät muodosta ääntä talon rakenteissa. Pysty akseliset turbiinit ovat vähemmän herkkiä pyörteiden vaikutuksille kuin vaaka-akseliset. [2; 3.]

### 3.3 Aggregaatti

Laite, jossa on polttomoottori ja generaattori kutsutaan aggregaatiksi. Polttomoottori tuottaa liike-energiaa bensiinistä tai dieselistä, jonka generaattori muuntaa sähköenergiaksi. Yleensä aggregaatti tuottaa 230 V vaihtojännitettä, mutta tasajännitemalleja on myös. Rakennuksen sähköistämässä aggregaatti on harvoin ensisijainen energian lähde. Yleensä sitä käytetään tukemaan muita energianlähteitä tilanteen sitä vaatiessa. Tuotetun jännitteen laatu voi vaihdella halvemmissä malleissa. Markkinoilla on myös koneita, joiden luvataan tuottavan puhdasta siniaaltoa. [6.]

Aggregaattia käytettäessä off-grid-järjestelmän osana on tärkeää varmistua aggregaatin ja vaihtosuuntaajan yhteensopivuudesta. Aggregaatissa on hyvä olla sähkökäynnistys ja vaihtosuuntaajassa relelähtö aggregaattia varten sekä ohjelmoitu automaattikäynnistys. Aggregaattia käytettäessä on hyvin tärkeää huolehtia riittävästä ilmanvaihdosta kaikkien turvallisuuden vuoksi.

## 4 Sähkön siirto-, muunto- ja valvontalaitteet

### 4.1 Säätimet

Säätötekniikka on hyvin tärkeä osa järjestelmää. Laadukkaalla tekniikalla varmistetaan sähköntuotantolaitteiston optimaalinen toiminta, sähkönlaadun hyvä taso, akuston käyttöikä sekä kaiken kaikkiaan eri laitteiden häiriötön toiminta toisiinsa nähden. Lataussäädin on akuston energiansiirtoa hallitseva ja tarkkaileva komponentti. Se kytketään sähköenergiaa tuottavan järjestelmän osan (aurinkopaneelit/tuulivoimala) ja akuston väliin. Lataussäädin voi olla erillinen komponentti tai sen toiminnot voivat olla osana vaihtosuuntaajaa eli invertteriä. Tuulivoimaloita on myös mahdollista saada sisäänrakennetulla lataussäätimellä. [1.]

Lataussäätimen tehtävänä on säätää aurinkopaneelit tuottamaan sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella ja optimoida akuston lataus. Toiseksi se valvoo akkujen latauksen tasoa katkaisten latauksen, jos akun varaus tulee täyteen estäen yllilatauksen tai varauksen pudotessa liian matalalle, kytkee kuormat irti estäen akkujen syväpurkauksen. Useimmiten säätimeen on mahdollista kytkeä ja ohjata 12V/24V:n laitteita suoraan, mutta off-grid-järjestelmässä nekin voivat ottaa virtaa akuista järjestelmän jännitteestä riippuen. [1; 7.]

Yleisimmät säätötavat ovat on/off-ohjaus, PWM-säätö, MPPT-säätö ja muuntopiirit. On/off-ohjaus on releillä, kontaktoreilla tai transistoreilla toteutettu päälle/pois-kytkin, jolla ei oikeasti saavuteta minkäänlaista järjestelmää hyödyttävää säätöä. Se vain katkaisee paneelipiirin, kun akusto näyttää olevan täynnä. Akuston elinikä kärsii, jos lataussyöttöä ei säädetä akun arvoja vastaavaksi. [1.]

Yleisimmin käytetyt lataussäätimet ovat PWM- ja MPPT-säätimet. PWM (Pulse Width Modulation) eli pulssinleveysmodulaatio säätimien tehtävänä on säätää kuormalle tulevaa jännitettä muuntamalla pulssisuhdetta, siten että yhden värähtely jakson ajalta laskettu lähtösignaalin keskiarvo on sama kuin modulointisignaaliilta saatu arvo. PWM-säädin siis sovittaa akulle tulevan jännitteen akun latausjännitteen suuruiseksi, latausvirta on aurinkopaneelista tai tuulivoimalasta saatava suurin virta. [1; 7.]

PWM-säädin itsessään ei aiheuta lähes ollenkaan häviöitä jännitteeseen tai virtaan, mikä tekee siitä käyttökelpoisen vaihtoehdon latauksen säätelyyn, toisaalta PWM-säätimen suurin heikkous on aurinkopaneelipiirin käynti maksimi jännitteelle tiheästi. Paneelipiirin kannalta täysi jännite ei välttämättä ole paras mahdollinen toimintajännite ja paneelin sähköntuottoon syntyy turhia häviöitä. Kuvassa 3 on Sunway Powerin valmistama PWM-lataussäädin. [1; 7.]



Kuva 3. Sunway Powerin 3 kW PWM -lataussäädin. [8.]

MPPT-säädin (Maximum Power Point Tracking) on älykäs säätöjärjestelmä, joka on toteutettu erilaisilla laitteen sisäisillä muuntopiireillä, joilla saavutetaan nopea, tasainen ja portaaton jännitealueen säätö. MPPT-säätimet ovat nykyään yleisimmin käytetty säädin aurinkopaneeleissa, sillä niillä mahdollistetaan tehon talteenotto kaikissa olosuhteissa. MPPT-säädin selvittää minkälaisilla jännitteen ja virran arvoilla saadaan tuotettua suurin teho. MPPT-säädin myös pystyy pitämään vastaanotetun jännitteen vakiona. Laite siis optimoi tehon tuottoa, vaikka olosuhteet (auringonvalon määrä ja tuulennopeus) vaihtelevat. Kuvassa 4 Victron Energyyn valmistama MPPT-lataussäädin. [1; 7.]



Kuva 4. Victron Energyyn MPPT 150/60 -lataussäädin. [9.]

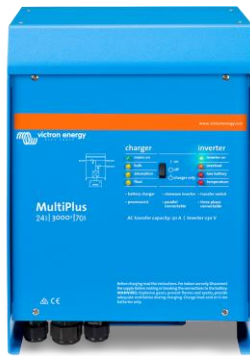
Kustannusten puolesta PWM-säätötekniikka voi olla 35 % edullisempi kuin MPPT-säätötekniikka, mutta sen hyötysuhde taas on 20–30 % heikompi. Kokonaishinnassa hintaeroa on kuitenkin vain alle 10 % ja paremmalla hyötysuhteella on mahdollista saada parempi kokonaistuotto järjestelmälle. Tarkalla säädöllä akku pysyy paremmin kunnossa. [1; 7.]

#### 4.2 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajan päätehtävänä on muuntaa tasavirtaa vaihtovirraksi. Tänä päivänä ei ole mitenkään erikoista haluta käyttää televisiota tai muita nykyaikaisia kodin mukavuuksia myös pienissä kohteissa. Suuremmissa kohteissa 230 VAC:n järjestelmä on normaalia. [10.]

Vaihtosuuntaajassa on sisällä hakkuriteholähde, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Sisäisessä muuntimessa kelamagneettikenttään syötetään energiaa ja muuntimen antopuolelta katkaistaan ensiövirta, jonka seurauksena kentän energia purkautuu ja kela toimii muuntajan tavoin. Kytkenästä ulos tuleva kanttiaalto johdetaan eteenpäin halutun suuruisena ja taajuisena vaihtojännitteenä. [10.]

Monet kalliimmat vaihtosuuntaajat eli invertterit sisältävät myös monen muun järjestelmässä käytetyn laitteen toiminnot sekä useita hyödyllisiä ohjausmahdollisuuksia. Inverttereitä on mahdollista saada sisäänrakennetulla MTTP-säätimellä sekä akkujen tarkkailuun vaadittavalla laitteistolla. Invertterin relekosketinohjauksilla on esimerkiksi mahdollista kytkeä aggregaatti päälle akkujen varauksen laskiessa liian matalalle tai kuorman ollessa korkea. Hankittavan invertterin koko riippuu kohteen hetkellisen sekä jatkuvan kuormituksen tehon arvosta. Kuvassa 5 on kyseiset ominaisuudet sisältävä invertteri. [10.]



Kuva 5. Victron Energy:n Multiplus invertteri [11.]

## 5 Sähkön varastointi

Off-grid järjestelmän yksi pakollinen osa on akku tai akusto järjestelmän koosta riippuen. On-grid järjestelmä ei akkua vaadi sillä paikallinen jakeluverkko toimii tavallaan akustona. Akun varausominaisuutta ilmaistaan termillä ampeeritunti (Ah), tämä kerrottuna akun jännitearvolla saadaan selville akkuun varastoidun energian määrä wattitunteina (Wh). Akuston kapasiteetin on tärkeää vastata kohteen kulutuksen vaatimaa tarvetta. Muutaman vuoden käytön jälkeen akustoon ei tulisi lisätä enää uusia akkuja vaan koko akusto pitäisi vaihtaa suurempaan. Akkuja ei myöskään saisi koskaan päästää syväpurkautumaan. Syväpurkautuminen lyhentää akun elinikää. AGM (Absorbent Glass Mat) tai muita lyijy akkuja ei ole suositeltavaa purkaa alle 50 %. Litium-ioni akut ovat syväpurkauksen suhteen paljon anteeksiantavampia. [12; 13; 14.]

Akkujen yleisimmät tyypit ovat AGM (Absorbent Glass Mat), li-ion ja avoimet happoakut. Akun valinnassa on muutamia asioita, jotka täytyy huomioida hankintavaiheessa. Ensinnäkin akuston koon täytyy vastata käyttökohteen sähkön tuottoa sekä kulutusta, jos akusto on liian pieni kaikkea tuotettua sähköä ei saada talteen tai kulutuksen ollessa liian suuri akusta ei riitä virtaa laitteille. Järjestelmän muiden osien täytyy myös olla yhteensopivat akuston sekä tuoton ja kulutuksen kanssa. Vääränlainen lataussäädin tuhoaa helposti akuston. [12; 13; 14.]

Toiseksi pitää huomioida akustojen sijoituspaikka. AGM-akut eivät vapauta myrkyllisiä kaasuja, joten ne voi asentaa myös sisätiloihin. Hyvä ilmanvaihto on kuitenkin myös tärkeää kyseisten akkujen toiminnan kannalta. Avoimet happoakut vapauttavat myrkyllisiä

kaasuja, joten ne vaativat hyvän ilmastoinnin. Akkujen väliin on myös hyvä jättää hieman tilaa, jotteivat akut lämmitä toisiaan kohtuuttomasti ja näin ollen muodosta ylimääräistä lämpöä koko akustoon. Avoimet akut onkin parempi sijoittaa ulkotiloihin. Pitää kuitenkin muistaa suojaus sateelta ja muilta ulkopuolisilta haittatekijöiltä. Litium-akut taas voi sijoittaa minne vain, eivätkä ne aiheuta toimiessaan oikeastaan minkäänlaisia haittoja. Ne ovat myöskin kooltaan ja painoltaan paljon pienempiä kuin AGM- ja avoimet akut. Akuston sijoituspaikan ollessa ulkotiloissa on hyvä huomioida myös pakkasen vaikutus akkujen toimintaan. Pakkanen ei vahingoita AGM, avoimia tai muitakaan lyijyakkuja kunhan niiden varaustila on tarpeeksi korkea. Litium-akku ei ole niin herkkä pakkaselle matalalakaan varaustilalla, mutta se on kuitenkin huonoin latautumaan lämpötilan ollessa nollan alapuolella. Kaikki akut kuitenkin antavat noin 20 % vähemmän virtaa lämpötilan ollessa 0 °C, joten jonkinlainen lämmitys akustotilassa talviaikaan on suotavaa. Kolmanneksi täytyy ottaa huomioon oma valmius mahdollisiin akkujen huoltotoimenpiteisiin eli halutaanko niin sanotusti huoltovapaa akku. [12; 13; 14.]

Akustoon on suotavaa kytkeä jokin mittari, joka tarkkailee sen varaustilaa ja jännitettä. Pelkästään jännitteen mittaus ei ole suotavaa, sillä se ei kerro akun kunnosta, huollon tarpeesta tai sen varaustilasta. Muita mittarin ominaisuuksia varaustehon (W) ja jännitteen (V) lisäksi voivat olla virran (A), purkaustehon (W) mittaus sekä varaustilan esittäminen prosentteina tai ampeeritunteina (Ah). Akun kuntoa tarkkailevalla laitteella on mahdollista minimoida odottamattomat akun rikkoutumiset ja vanhenemiset. Akun kunnon tarkkailu voi olla esimerkiksi akuston keskipisteen mittaus, mittaus tarkkailee akustopuolikkaiden jännitettä ja hälyttää, jos ero on liian suuri. Nykyään mainittuja ominaisuuksia on mahdollista saada integroituna lataussäätimeen tai vaihtosuuntaajaan, tai kaikkien laitteiden ominaisuudet saattavat löytyä yhdestä laitteesta. [1.]

## 6 Loma-asunto Puumalassa

Järjestelmän mitoittamisen kohteena on Puumalassa sijaitseva, ympärivuotisessa käytössä oleva 160 m<sup>2</sup> loma-asunto. Asunnon lämmityksestä vastaa 8 kW:n maalämpöpumppu. Pumppu on päällä myös asunnon ollessa tyhjä kosteuden ja jäätyksen estämiseksi. Muita kulutuskohteita ovat kaksi ilmanvaihtokonetta, huippuimuri, pyykinpesukone sekä normaali keittiökalustus, jotka kaikki vaativat sähköä käytön mukaan.

Rakennuksen katossa on 33 m<sup>2</sup>:n kokoinen alue, johon on mahdollista asentaa aurinkopaneeleja. Paneelien suunta olisi katolle asennettaessa kaakkoon. Kaltevuutta on mahdollista säätää asennustelineillä.

Kohteen sähkönkulutusta on tarkkailtu ja dokumentoitu vuosien 2016–2018 aikana. Vuositasolla sähkönkulutus on lähellä 6600 kWh. Dokumentoitujen kulutustietojen pohjalta on määritetty keskimääräinen kuukausikohtainen kulutus taulukkoon 1.

Taulukko 1. Loma-asunnon kuukausikohtainen sähkönkulutus.

Kuukausi	Sähkön kulutus (kWh)
Tammikuu	820
Helmikuu	780
Maaliskuu	640
Huhtikuu	600
Toukokuu	400
Kesäkuu	360
Heinäkuu	350
Elokuu	370
Syyskuu	400
Lokakuu	400
Marraskuu	680
Joulukuu	800
yhteensä:	6600

## 6.1 Sähköntuotannon arviointi

Kesämökkien sähköistykseen riittää yleensä aurinkopaneelijärjestelmä, joka on mitoitettu oikein. Ympärivuotisessa käytössä olevissa kohteissa pelkät aurinkopaneelit eivät Suomen oloissa riitä. Talvella paneelien tuotto voi olla täysin nolla. Puumalan esimerkkikohde on päätetty toteuttaa hybridijärjestelmänä, jonka sähköenergian tuotosta vastaavat aurinkopaneelit ja tuulivoimala. Kulutuksen suuruuden vuoksi ja mahdollisen heikon tuotannon varalta järjestelmään kytketään myös aggregaatti. Ideaalilanteessa aggregaattia on tarve käyttää vain hyvin vähän tai ei ollenkaan.

Tuulivoimalan ja aurinkopaneelien mitoittamista varten täytyy jollain tavalla selvittää alueen tuulisuus sekä auringon säteilyarvo alueella. Tuulivoimalaa ajatellen tärkeimmät tiedot ovat tuulen nopeus ja sen esiintymisen määrä. Aurinkopaneelien tuotto taas on riippuvainen paneelien suhteesta aurinkoon. Tarkimman tuloksen alueen oloista saa tietysti asentamalla tuuli- ja aurinkomittarin samoihin paikkoihin, joihin paneelit ja tuulivoimala asennettaisiin ja dokumentoimalla näitä tuloksia ainakin yhden vuoden ajan. Tähän tutkimukseen ei näin kuitenkaan ole tehty vaan tiedot ja laskelmat perustuvat muiden keräämään aineistoon ja ohjelmiin, jotka näitä tietoja käyttävät laskemaan alueen oloista arvion.

Suomen tuulioloista on vuosien saatossa kerätty mittauksia ja niistä on luotu verkosta löytyvä Suomen tuuliatlas. Tuuliatlaksesta saa valmiin taulukon tietyn alueen keskimääräisestä tuulennopeudesta sekä vuoden että yksittäisen kuukauden aikana eri korkeuksilla. Matalin korkeus on 50 m. Tuuliatlaksesta saa myös nopeusprofiilin (tuulen nopeus korkeuden suhteen) ja tuuliruusun (tuulen puhaltamisen todennäköisyys tietystä ilman suunnasta. Järjestelmä on kuitenkin suunniteltu tietyn pituisella mastolla ja tuulen suunnan mukaan kääntyvällä tuulivoimalla, joten oleelliseksi tiedoksi jää vain jokaisen kuukauden tuulen nopeuden keskiarvo. Asennussijainnin tuulennopeuden keskiarvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tuulen nopeuden keskiarvot kuukausittain [15.]

Kuukausi	Tuulen nopeus m/s
Tammikuu	5,8
Helmikuu	5,4
Maaliskuu	4,8
Huhtikuu	4,4
Toukokuu	4,7
Kesäkuu	4,3
Heinäkuu	4,2
Elokuu	4,1
Syyskuu	5,0
Lokakuu	5,5
Marraskuu	5,6
Joulukuu	5,4

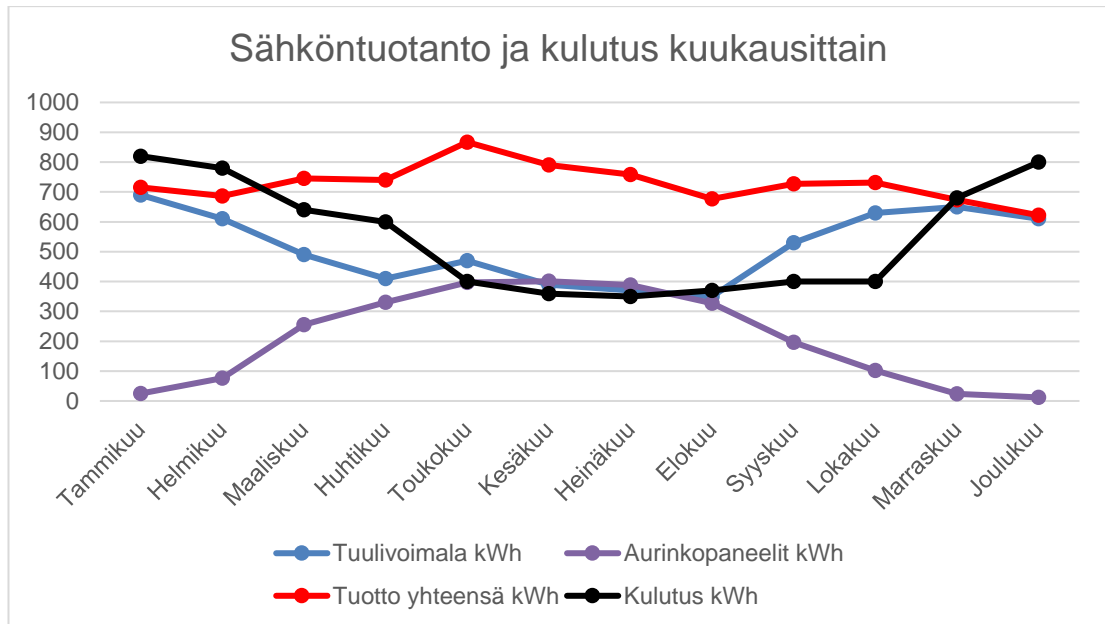
Aurinkopaneelien sähköntuotannosta on luotu Euroopan komission ylläpitämä PVGIS-laskuri (Photovoltaic Geographical information system). Laskurin avulla voi helposti

arvioida erikokoisten aurinkopaneelijärjestelmien mahdollista sähköntuottoa kilowattitunteina kuukausitasolla tietystä sijainnissa. Laskurissa on asetukset paneelien eri asennuskulmille sekä eri valmistusmateriaaleille. Jotkin aurinkosähköjärjestelmiä myyvät yritykset ovat myös luoneet omat laskurinsa eri kokoisten järjestelmien vertailuun. Yksi näistä laskureista löytyy Areva Solar Oy:n kotisivuilta. Vertailtaessa heidän laskurinsa ja PVGIS-laskurin antamia arvoja 5 kW aurinkopaneelijärjestelmälle, tuloksissa on kuukausitasolla eroa 1–50 kWh. Vuosituoton arviossa eroa on 62 kWh. PVGIS-laskuriin verrattaessa myös muut, kuluttajien helpommin löydettävät laskurit antavat suhteellisen hyvän aurinkojärjestelmän tuotannon arvion. Mittaukset paikan päällä ovat tietysti paras vaihtoehto. Tässä tutkimuksessa käytettiin PVGIS-laskuria arvioimaan aurinkopaneelijärjestelmän sähköntuottoa. Laskenta suoritettiin syöttämällä laskuriin kallistuskulmaksi 40° ja suunnaksi -45°. Häviöiksi jätettiin laskurissa valmiina oleva -14 %.

## 6.2 Järjestelmän mitoitus

Kohteen sähköistämiseen vaadittavan aurinkopaneelijärjestelmän ja pientuulivoimalan koon selvittämiseksi etsittiin internetistä, minkä kokoista laitteistoa suositellaan 6600 kWh:n suuruisen vuosikulutuksen rakennuksiin. Löydetyn materiaalin perusteella valittiin lähtökohtaiseksi tuulivoimalaksi Finnwind Oy:n Tuule C200, jonka nimellisteho 10 m/s tuulella on 3000 W. Tuule C200:n tarkat tuotetiedot ovat liitteessä 1. Aurinkopaneelijärjestelmän tehoksi valittiin 3 kW, jonka sähköntuotantoa mallinnettiin PVGIS-laskurilla. Aurinkopaneeliston voi toteuttaa esimerkiksi 10 kpl Amerisolarin 300 W:n paneeleilla.

Tuule C200 -tuulivoimalan teknisestä dokumentista löytyy valmistajan laatima taulukko tuulivoimalan energiantuotannosta kuukaudessa eri tuulennopeuksilla. Valmistajan taulukon sekä taulukon 2 esitettyjen tuulen nopeuksien avulla on laskettu Tuule C200:na sähköenergian tuotto kWh kuukaudessa mitatuilla tuulen nopeuksilla. Saadut arvot on esitetty kuvassa 6 PVGIS-laskurin antamien 3 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän sähköntuottoarvojen sekä kohteen kulutustietojen kanssa selkeämmän vertailun vuoksi.



Kuva 6. Esimerkijärjestelmän sähköntuotanto suhteessa kulutukseen

Kuvasta 6 näkee hyvin Suomen sijainnin vaikutuksen tuulivoimalan ja aurinkopaneelien sähköntuotantoon vuoden aikana. Talvella tuulee enemmän kuin kesäisin. Auringon valoa taas on saatavilla enemmän kesällä ja talvella tuoton voi ajatella olevan nolla. Kuvasta selviää myös, että 3 kW:n tuulivoimala sekä 3 kW:n aurinkopaneelisto ei riitä yksinään täyttämään sähköntarvetta marraskuulta helmikuuhun. Kesällä kuitenkin puolet yhteistuotosta on ylimääräistä. Aurinkopaneeliston tehon nostaminen ei talven energia vajetta korjaa sillä sen tuotanto on kyseiseen vuodenaikaan marginaalista. Ainoiksi vaihtoehdoiksi jäävät siis joko suuremman tai toisen tuulivoimalan hankkiminen tai vajeen täyttäminen aggregaatilla. Taulukossa 3 on esitetty sähköntuotannon yli- ja alijäämä kuukausittain.

Taulukko 3. Esimerkkijärjestelmällä tuotettu sähkön yli- ja alijäämä kuukausittain.

Kuukausi	Sähkötuotannon yli- ja alijäämä kWh
Tammikuu	-105
Helmikuu	-94
Maaliskuu	106
Huhtikuu	140
Toukokuu	467
Kesäkuu	431
Heinäkuu	408
Elokuu	307
Syyskuu	327
Lokakuu	332
Marraskuu	-6
Joulukuu	-178

Toisen tuulivoimalan hankintaa järjestelmän osaksi rajoittaa sen vaatiman tilan määrä. Useampia voimaloita ei ensinnäkään pitäisi asentaa toistensa läheisyyteen sillä ne aiheuttavat pyörteitä taakseen. Pyörteet taas häiritsisivät toisen voimalan toimintaa. Toinen torni vaatisi myös oman suoja-alueensa, joten tontin koko itsessään voi tehdä useamman tuulivoimalan asentamisesta mahdotonta. Tuulivoimalan koon kasvattaminen on helpompi vaihtoehto. Koon suurentuessa sähköntuotanto kasvaa mutta suuremman turbiinin minimituulen nopeus on korkeampi kuin pienemmissä malleissa. Kohteesta itsessään täytyy huomioida jatkuva ylläpitolämpö eli sähköä täytyy olla saatavilla jatkuvasti.

Tuulivoimalan ja aurinkopaneelien sähköntuotto perustuu ympäristön olosuhteista riippuvaan energian lähteeseen, tuuleen ja auringon säteilyyn. Näiden kahden saatavuutta ei voida taata kaikkina aikoina. Jo pelkästään tähän perustuen on järjestelmään kannattavampaa liittää sähköntuotantolaitteisto, joka ei ole riippuvainen epävarmoista energianlähteistä, kuin kasvattaa kyseisiä energianlähteitä käyttäviä järjestelmiä. Aggregaatti on tärkeä osa järjestelmää, jossa hetkellinen kulutus voi nousta korkeaksi tai sähkön riittävydestä täytyy olla varma. Ideaalitulanteessa aggregaattia käytetään vain varavoiman lähteenä, kun muut järjestelmät eivät tuota tarpeeksi sähkötehoa. Aggregaatit käyttävät polttoaineena bensaa tai dieseliä, joten niiden sähköntuotanto on taattu niin kauan kuin polttoainetta riittää. Joulukuussa aggregaatilla täytyisi tuottaa keskimäärin 5,74 kWh päivässä tai 240 Wh tunnissa täyttämään energian tarve. Vuodessa aggregaatilla täytyy tuottaa 383 kWh, joka vastaa noin 170 l dieseliä 3,4 kW Yanmar-aggregaatilla.

### 6.3 Akuston mitoitus

Kohde on ympärivuotisessa käytössä, ja sen lämpimänä pito vaatii aina sähköä. Sähköntuoton ollessa epätasaista ja jopa epävarmaa sääoloista riippuen on järjestelmässä oltava jokin laite, joka varastoi sähköä kompensoimaan niitä aikoja, jolloin kulutus on suurempaa kuin tuotto. Yleensä tällainen energiavarasto muodostetaan tarvittavasta koosta riippuen kytkemällä samanlaisia akkuja sarjaan ja rinnan. Akkujen rinnan kytkentä nostaa akuston kapasiteettia ampeeritunteja Ah ja sarjan kytkentä kasvattaa akuston jännitettä (V).

Off-grid -kohteiden akusto kannattaa mitoittaa kohteessa vietettyjen oleskeluvuorokausien kokonaisenergiankulutuksen mukaan. Kohteen ollessa ympärivuotisessa käytössä oleva loma-asunto voidaan olettaa siellä vietettävän aikaa kerralla kahdesta päivästä jopa yli kahteen viikkoon. Akustoa ei kuitenkaan kannata mitoittaa niin pitkäksi aikaa vain kolmen päivän voidaan ajatella riittävän.

Päiväkohtainen kulutus voidaan selvittää laskemalla laitteiden päiväkohtainen kulutus wattitunteina Wh, Toinen vaihtoehto on käyttää kohteesta olemassa olevaa kulutus dataa ja laskea sen perusteella päiväkohtainen kulutus. Dataa tutkittiin korkeimman kulutuksen omaavalta aikajaksolta, tammikuulta. Keskimääräiseksi päiväkulutukseksi tammikuulle saadaan 27 kWh. Tuulivoimalan tuottaessa 48 V jännitettä valitaan se myös akuston jännitteeksi.

Akuston virranmäärä ilmoitetaan ampeeritunteina Ah, joka saadaan jakamalla kulutus Wh akuston jännitteellä U. Akuston kooksi yhtä päivää kohden tulee siis 27000 Wh jaetuna 48 V:lla eli 562,5 Ah. Jos akusto mitoitetaan kolmen oleskelupäivän mukaan akuston koon pitäisi olla 1688 Ah 48 V:n jännitteellä. Lisäksi täytyy huomioida akun syväpurkaus raja, joka on 50 % talvella melkein kaikille tavallisille akuille. Litiumioni-akun taas voi purkaa noin 10 % asti. Vaadittavan akkukapasiteetin pitää siis olla kooltaan kaksinkertainen eli 3375 Ah käytettäessä muita kuin litiumakkuja. Mahdollisen akkukombinaation muodostamista rajoittaa myös valmistajan ilmoittamat rajat siitä lukumäärästä, kuinka monta akkuja voidaan kytkeä sarjaan ja rinnan. Tämä rajoittaa akuston mahdollista käyttöjännitettä ja kokoa. Akusto voidaan muodostaa esimerkiksi 36 kpl Rolls Batteryyn 4KS21P 1148 Ah akuilla (kuva 7). Tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1.



Kuva 7. Rolls Battery 4KS21P 1148 Ah akku. [16.]

#### 6.4 Invertteri ja lataussäätimet

Invertteriä valittaessa täytyy kiinnittää ensisijaisesti huomiota kulutuslaitteiden hetkelliseen maksimikuormaan. Kohteen maksimikuorma on 12 kW. Tästä suurin osa on maalämpöpumpusta aiheutuvaa kuormaa talvisaikaan. Toiseksi on hyvä kiinnittää huomiota invertterin ominaisuuksiin. Off-grid-järjestelmään asennettaessa aggregaatti varavoiaksi on käytännön kannalta parasta saada aggregaatti käynnistymään automaattisesti tarvittaessa. Näin ollen kannattaa valita invertteri, jossa on sekä automaattikäynnistys että akuston lataus. Näiden ehtojen pohjalta valittiin järjestelmän invertteriksi kolme Victron Energyn MultiPlus 48/5000/70:tä. Käytettäessä kolmea invertteriä rinnan saadaan niistä yhteensä 15 kW tehoa sekä kohteeseen kolmivaihesähkö.

Lataussäätimen valinnassa tulee huomioida aurinkopaneelien sekä tuulivoimalan maksimilatausvirta. Aurinkopaneelit tuottavat yhteensä 97 A:n virran, mutta ne voidaan kytkeä kahdeksi viiden paneelin ryhmäksi, jolloin säätimenä voidaan käyttää kahta Victron Energyn MPPT 150/60, jonka virrankesto on 50 A. Tuule C200 tuulivoimalan lataussäätimeksi taas valittiin Sunway Powerin 3 kW:n PWM-säädin

## 7 Taloudellinen tarkastelu

Suunnitteluvaiheessa on myös hyvin tärkeää tutkia mitä laitteiston hankkiminen maksaa ja millainen takaisinmaksuaika sillä on. Esimerkkikohteen vuoden 2017 sähköstä

aiheutuvat kustannukset olivat noin 1 300 euroa. Laitteiston hinta on esitetty taulukossa 4. Hinnat eivät sisällä asennuskustannuksia tai kaapelointia.

Taulukko 4. Suunnitellun laitteiston hinnat.

Laite	Määrä	Kpl/hinta	Yhteensä
Tuulivoimala	1	13 000	13 000
Masto	1	3 000	3 000
Aurinkopaneeli	10	145	1 450
Agregaatti	1	4 000	4 000
Diesel	170 l/vuosi	1,329	226
Akusto	36	1 014	36 504
Invertteri	3	2 850	8 550
Säädin tuuli	1	260	260
Säädin aurinko	2	620	1 240
		alv. 24%	68 230

Esimerkkikohteen nykyisen sähkön vuosihintaa verrattaessa suunnitellun off-grid-järjestelmän hintaan, nähdään heti hankkeen kannattamattomuus. Oletettaessa sähkön hinnan nousuvan yhden prosentin vuodessa, 25 vuoden jälkeen sähkөөn olisi käytetty vasta hieman alle 37 000 euroa. Tänä aikana off-grid-järjestelmän osia on jouduttu jo uusiaamaan, joten investoinnin hinta olisi taas kasvanut. Näin ollen esimerkkikohteen muuntoa nykyisestä valtakunnan sähköverkkoon kytketystä sähköistysjärjestelmästä off-grid-järjestelmään ei ainakaan taloudellisista syistä ole järkevää tehdä.

On-grid-järjestelmänä hanketta voitaisiin harkita, sillä kustannuksista voitaisiin vähentää noin 40 000 euroa jättämällä tarpeettomiksi jäävät akut ja aggregaatti pois. Tuotetun ylimääräisen sähkön voisi myös myydä sähköyhtiölle, jolloin kannattavuus paranisi entisestään. Suunniteltu off-grid-järjestelmä voi olla kannattava myös tilanteessa, jossa kohteeseen on vedettävä kokonaan uusi liittymiskaapeli, jonka rakentamiskustannukset ja sähkön siirtohintat ovat yhdessä suuremmat kuin off-grid-järjestelmän hankintahinta.

## 8 Yhteenveto

Ympäri vuorokautisen loma-asunnon, jonka kulutus on 6600 kWh vuodessa, sähköistäminen on mahdollista toteuttaa off-grid-järjestelmänä mutta taloudellisesti kannattavaa se ei ole. Off-grid-järjestelmän suurin rasite on nykyinen akkuteknologia. Hyviä pieniä akkuja kyllä löytyy markkinoilta, mutta suurille järjestelmille soveltuvat akut ovat harvassa. Hyvin tehokkaiden akkujen jännite on 2–4 V. 48 V akusto vaatii helposti jo 24 kpl akkuja, jos akustosta haluaa edes jollain tasolla hyödyllisen tuottoon verrattuna. Suurien off-grid-järjestelmien tekeminen ei näin ollen ole taloudellisesti kannattavaa akkujen hinnan takia. Jos uusiutuvia energianlähteitä kuitenkin haluaa hankkia, kannattaa myös selvittää on-grid-järjestelmän mahdollisuuksia. Akuston tarpeettomuus voi hyvinkin olla kannattavuuden ratkaiseva tekijä.

Uusiutuvia energianlähteitä käytettäessä off-grid-järjestelmässä on tärkeää olla mahdollisimman tarkat tiedot auringonsäteilyn määrästä ja keskituulen nopeudesta aurinkopaneelien ja tuuliturbiinin asennussijainnissa. Kulutustietoja kannattaa myös dokumentoida, varsinkin jos kohteessa on laitteistoa, jonka kulutus ei ole vakio. Tällaisia ovat lämmitykseen ja ilmastointiin liittyvät laitteet. Kuukausikohtaisilla tiedoilla pääsee suunnittelussa alkuun, mutta päiväkohtaiset tiedot suurimmalta kulutuskuukaudelta tekevät mitoittamisesta paljon tarkempaa. Näin välttyttäisiin mahdollisilta yli- tai alimitoituksilta.

Tutkiessani markkinoilla saatavilla olevaa laitteistoa oli selkeästi huomattavissa, että myyjien valikoimat ovat keskittyneet pääosin aurinkovoimaan. Tuulivoimaloita ei kauheasti ole markkinoilla. Mitä suurempiin järjestelmiin mennään sitä useammat laitteet ovat kiinalaisia. Suomalaiset ja eurooppalaiset valmistajat ovat keskittyneet paljon enemmän pieneen tuotantoon.

## Lähteet

- 1 ST-Käsikirja 40. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2017. Sähköinfo Oy. Luettu 2.1.2019.
- 2 Tietoa tuulivoimasta. 2017. Suomen Tuulivoimayhdistys. Verkkoaineisto. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta>>. Luettu 23.2.2019.
- 3 Eklund Esa. 2011. Joka miehen opas pientuulivoiman käyttöön. Verkkoaineisto. <[https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka\\_miehen\\_opas\\_motiva.pdf](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka_miehen_opas_motiva.pdf)>. Luettu 7.3.2019.
- 4 Lataustuulivoimala. 2019. Verkkoaineisto. Finnwind Oy <<https://finnwind.fi/tuote/lataustuulivoimala-1500w-48v-12m-masto/>>. Luettu 5.5.2019.
- 5 Windside WS-030Bplus-29N. 2019. Verkkoaineisto. Renugen Oy. <<https://www.renugen.co.uk/windside-ws-030bplus-29n-12v-193w-wind-turbine/>>. Luettu 14.8.2019.
- 6 Aggregaatti hakusessa. 2018. Verkkoaineisto. <<https://www.aggregaatit.com/>>. Luettu 15.10.2019.
- 7 Saviranta Pertti. 2016. Millaisen laturin/säätimen valitsen. Solar Synergia Oy verkkoaineisto. <[https://www.solarsynergia.com/single-post/2016/10/17/Millaisen-laturin-säätimen-valitsen](https://www.solarsynergia.com/single-post/2016/10/17/Millaisen-laturin-saätimen-valitsen)>. Luettu 10.2.2019.
- 8 3KW advance wind solar hybrid charge controller. 2019. Verkkoaineisto. Hefei Sunway Power Co. <<https://detail.en.china.cn/provide/p155967058.html>>. Luettu 10.9.2019.
- 9 BlueSolar Charge Controllers. 2019. Verkkoaineisto. Victron Energy Oy. <<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-charge-controller-MPPT-150-45-up-to-150-70-EN-.pdf>>. Luettu 10.9.2019.
- 10 How Does an Inverter Work. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.mppt-solar.com/en/how-does-an-inverter-work.html>>. Luettu 8.5.2019.
- 11 Multiplus. 2019. Verkkoaineisto. Victron Energy Oy. <<https://www.victron-energy.com/inverters-chargers/multiplus-12v-24v-48v-800va-3kva>>. Luettu 16.10.2019.

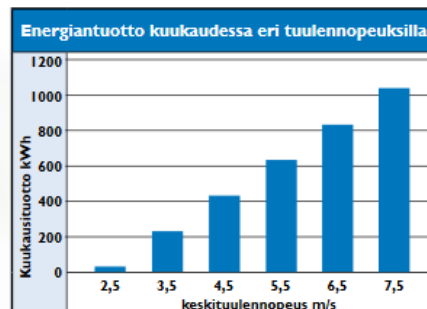
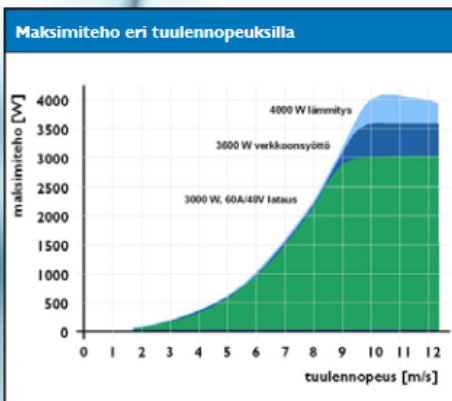
- 12 Toivanen Juha-Pekka. 2018. Akkutyypin valinta. Verkkoaineisto. <<https://www.sunwind.fi/pages/news/read/?id=182&Akkutyypin-valinta>>. Luettu 4.4.2019.
- 13 Saviranta Pertti. 2016. Miten mitoitetaan off-grid järjestelmän Verkkoaineisto. <<https://www.solarsynergia.com/single-post/2016/10/18/Miten-mitoitetaan-jarjestelma>>. Luettu 6.4.2019.
- 14 Aurinkovoiman mitoittaminen. 2016. Verkkoaineisto. Sunwind Oy <<https://sunwind.fi/pages/tips/read/?id=131>>. Luettu 10.4.2019.
- 15 Tuuliatlas. Verkkoaineisto. 2019. Ilmatieteenlaitos. <<http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/#>>. Luettu 20.12.2018.
- 16 4KS21P. 2019. Verkkoaineisto. Rolls Battery Oy. <<http://rollsbattery.com/battery/4-ks-21p/?pdf=7918>>. Luettu 1.11.2019.
- 17 Tuule tuulivoimalat. 2014. Verkkoaineisto. Finnwind Oy <<http://www.finnwind.fi/tuuli/Tuule-200-tuulivoimala-yleisesite.pdf>>. Luettu 5.5.2019.
- 18 AS-6M30. 2019. Verkkomateriaali. Amerisolar Oy. <<http://www.weamerisolar.com/d/file/english/product/pro1/2019/10-16/8ed1f2a95a2ec42f0c5b3d0445bb39d2.pdf>>. Luettu 10.5.2019.

## Off-grid-järjestelmään valitut laitteet

Finwind Oy Tuule C200 tuotekortti [17.]

	Tuule E sähkö	Tuule C lataus	Tuule H lämmitys
Koneiston nimellisteho		4000 W, 10 m / s	
Käyntiinlähtö tuulenoisuus	n. 2.1 m/s	n. 1.9 m/s	n. 1.9 m/s
Pysäytys tuulenoisuus		ei ole	
Potkurin halkaisija ja pinta-ala		5 m, 20 m <sup>2</sup>	
Potkurin lapojen lukumäärä		3	
Maksimi pyörimisnopeus		280 rpm	
Generaattori ja voimansiirto		Suoravetoinen kestmagneettigeneraattori	
Generaattorijännite		0 - 400 V AC, 3 ~	
Säätöyksikkö	verkkoinverterti	lataussäädin *	lämmityssäädin **
Suurin ulostuloteho	3600W	3000W	4000W
Ulostulojännite	230V/50Hz	48V	0-230Vac/0-60Hz
Myrskysuojaus		Tuulenpaineella sivuun kääntävä mekanismi	
Jarru		Oikosulkujarru	
Koneiston paino		140 kg	

\*) akusto ei kuulu toimitukseen  
\*\*) toimitukseen sisältyy kolme ilmavastusta. Voidaan liittää vaihtoehtoisesti vesivaraajan vastukselle.  
Lisävarusteet ja tarkemmat tekniset tiedot [www.finnwind.fi](http://www.finnwind.fi)



**Soita 040 540 6979 tai tee tilaus  
[www.verkkokauppa.finnwind.fi](http://www.verkkokauppa.finnwind.fi)**

Finwind Oy on 1993 perustettu suomalainen teknologiayritys, joka valmistaa, markkinoi ja asentaa hajautettuja energiantuotantojärjestelmiä omakotitaloihin, vapaa-ajan asuntoihin, maataloille sekä yrityksille.

**FINN WIND**

Koiranojanrinne 4 A, 33880 Lempäälä  
Puh. 045 208 5414, [info@finnwind.fi](mailto:info@finnwind.fi)  
[www.finnwind.fi](http://www.finnwind.fi)

Päivitetty 15.10.2014

Amerisolar AS-6M30 tuotekortti [18.]

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC									
Maximum Power ( $P_{max}$ )	280W	285W	290W	295W	300W	305W	310W	315W	320W
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	38.8V	39.0V	39.2V	39.4V	39.6V	39.8V	40.0V	40.2V	40.4V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	9.35A	9.44A	9.53A	9.62A	9.70A	9.79A	9.88A	9.97A	10.06A
Voltage at Maximum Power ( $V_{mp}$ )	31.6V	31.8V	32.0V	32.2V	32.4V	32.6V	32.8V	33.0V	33.2V
Current at Maximum Power ( $I_{mp}$ )	8.87A	8.97A	9.07A	9.17A	9.26A	9.36A	9.46A	9.55A	9.64A
Module Efficiency (%)	17.21	17.52	17.83	18.13	18.44	18.75	19.05	19.36	19.67
Operating Temperature	-40°C to +85°C								
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC								
Fire Resistance Rating	Type 1(In accordance with UL 1703)/Class C(IEC 61730)								
Maximum Series Fuse Rating	15A								

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell temperature 25°C, AM1.5

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT									
Maximum Power ( $P_{max}$ )	207W	211W	215W	218W	222W	226W	230W	234W	238W
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	35.7V	35.9V	36.1V	36.3V	36.5V	36.7V	36.9V	37.1V	37.3V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	7.57A	7.65A	7.72A	7.79A	7.86A	7.93A	8.00A	8.08A	8.15A
Voltage at Maximum Power ( $V_{mp}$ )	28.8V	29.0V	29.2V	29.4V	29.6V	29.8V	30.0V	30.2V	30.4V
Current at Maximum Power ( $I_{mp}$ )	7.19A	7.28A	7.37A	7.42A	7.50A	7.59A	7.67A	7.75A	7.83A

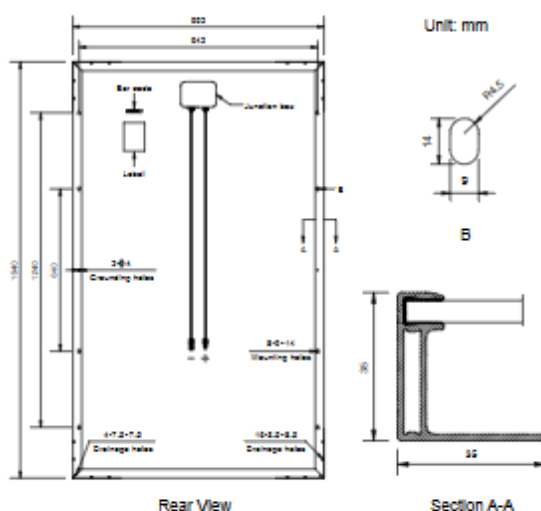
NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Cell type	Monocrystalline 6Inch
Number of cells	60 (6x10)
Module dimensions	1640x992x35mm (64.57x39.06x1.38Inches)
Weight	17.5kg (38.6lbs)
Front cover	3.2mm (0.13Inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 3 diodes
Cable	4mm <sup>2</sup> (0.006Inches <sup>2</sup> ), 900mm (35.43Inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of $P_{max}$	-0.38%/°C
Temperature Coefficients of $V_{oc}$	-0.29%/°C
Temperature Coefficients of $I_{sc}$	0.052%/°C

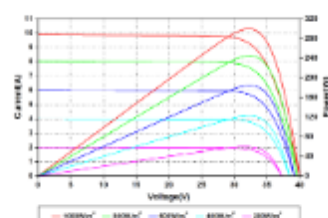
PACKAGING	
Standard packaging	30pcs/pallet
Module quantity per 20' container	360pcs
Module quantity per 40' container	840pcs(GP)/924pcs(HQ)

ENGINEERING DRAWINGS

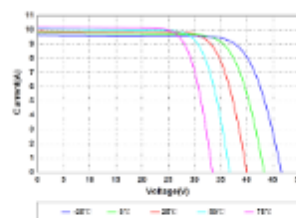


Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

IV CURVES



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Amerisolar and Amerisolar logo denoted with © are registered trademarks of Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.

## Sunway Power 3 KW PWM-säädin [8]

### Feature:

1. Control using common positive polarity way, double lines for solar array
2. Digital design, module structure, high stability and reliability
3. Wind-turbine brake setting with user-key be programmable
4. LCD equipped (backlighting) to show parameters of system running status
5. High efficiency with by PWM charging method
6. Multi-protections such as anti-reverse connection, no charging reversely while night. And Over-charge, limited charging current & voltage protections for battery
7. User can adjust setting of battery management system (BMS) and charging controlling
8. With alarm function in system abnormal status
9. Equipped with data communication function (optional)
10. Intelligent cooling system inset

### Technical Data:

Rated Wind Power :3KW

Rated Solar Power: 1KW

Battery Voltage: 24V/48V/96V/120V/240V


Demension (mm):380\*355\*150

Net Weight: 8.5 kg




Victron Energy Bluesolar MPPT 150/60 [9]

**BlueSolar Charge Controllers with screw- or MC4 PV connection**  
MPPT 150/45, MPPT 150/60, MPPT 150/70 www.victronenergy.com



**Solar Charge Controller  
MPPT 150/70-Tr**



**Solar Charge Controller  
MPPT 150/70-MC4**

**Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)**  
Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30% compared to PWM charge controllers and by up to 10% compared to slower MPPT controllers.

**Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions**  
If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPTs tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP. The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

**Outstanding conversion efficiency**  
No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 98%.


**Flexible charge algorithm**  
Fully programmable charge algorithm (see the software page on our website), and eight pre-programmed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

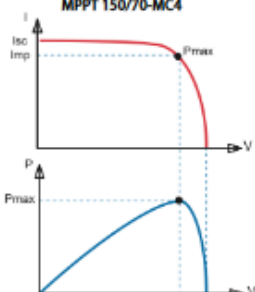
**Extensive electronic protection**  
Over-temperature protection and power derating when temperature is high.  
PV short circuit and PV reverse polarity protection.  
PV reverse current protection.

**Internal temperature sensor**  
Compensates absorption and float charge voltage for temperature.

**Real-time data display options**

- Color Control GX or other GX devices: see the Venus documents on our website.
- A smartphone or other Bluetooth-enabled device: VE.Direct Bluetooth Smart dongle needed.






**Maximum Power Point Tracking**

**Upper curve:**  
Output current (I) of a solar panel as function of output voltage (V). The Maximum Power Point (MPP) is the point P<sub>max</sub> along the curve where the product I x V reaches its peak.

**Lower curve:**  
Output power P = I x V as function of output voltage. When using a PWM (not MPPT) controller the output voltage of the solar panel will be nearly equal to the voltage of the battery, and will be lower than V<sub>mp</sub>.

BlueSolar Charge Controller	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 30V)		
Rated charge current	45A	60A	70A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W
Nominal PV power, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W
Nominal PV power, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W
Max. PV short circuit current 2)	50A	50A	50A
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum		
Maximum efficiency	98%		
Self-consumption	10 mA		
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable)		
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable)		
Charge algorithm	multi-stage adaptive		
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C		
Protection	Battery reverse polarity (fuse, not user accessible) PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature		
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)		
Humidity	95%, non-condensing		
Data comm. port and remote on-off	VE.Direct (see the data communication whitepaper on our website)		
Parallel operation	Yes (not synchronized)		
<b>ENCLOSURE</b>			
Colour	Blue (RAL 5012)		
PV terminals 3)	35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (Tr models) Two sets of MC4 connectors		
Battery terminals	35 mm <sup>2</sup> / AWG2		
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)		
Weight	3kg		
Dimensions (h x w x d) in mm	Tr models: 185 x 250 x 95    MC4 models: 215 x 250 x 95		
<b>STANDARDS</b>			
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2		

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands  
General phone: +31 (0)36 535 97 00 | E-mail: sales@victronenergy.com  
www.victronenergy.com



Rolls Battery 4KS21P-akku [16]



Series	5000	Warranty	5 Years
Volts	4	BCI	SPEC
Cells	2	Plates/Cell	21
Terminal Type	Flag		
Included Hardware	S/S Hex Cap Screw, Nut, Lock & Flat Washer		
Size & Thread	S/16"-18		
Cables	19' 4/0 Interconnect cables *RE Incl.		

Charge	
Charge Voltage Range	2.45-2.5 V/cell @ 25°C (77°F)
Float Voltage Range	2.25 V/cell @ 25°C (77°F)
Self-Discharge Rate	5%-10% per month at 25°C (77°F)

Capacity	
Cold Crank Amps (CCA) 0°F / -17°C	2754
Marine Crank Amps (MCA) 32°F / 0°C	3443
Reserve Capacity (RC @ 25A)	2756 Minutes
Reserve Capacity (RC @ 75A)	919 Minutes

Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPs
@ 100 Hour Rate	1481 AH	14.81 A
@ 72 Hour Rate	1401 AH	19.45 A
@ 50 Hour Rate	1326 AH	26.52 A
@ 20 Hour Rate	1148 AH	57.41 A
@ 15 Hour Rate	1068 AH	71.19 A
@ 10 Hour Rate	1022 AH	102.19 A
@ 8 Hour Rate	987 AH	123.43 A
@ 5 Hour Rate	919 AH	183.71 A
@ 1 Hour Rate	517 AH	516.67 A

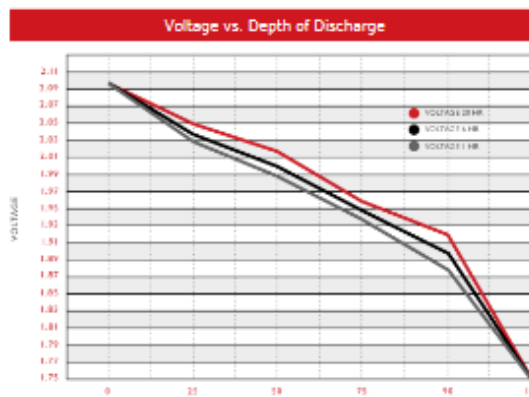
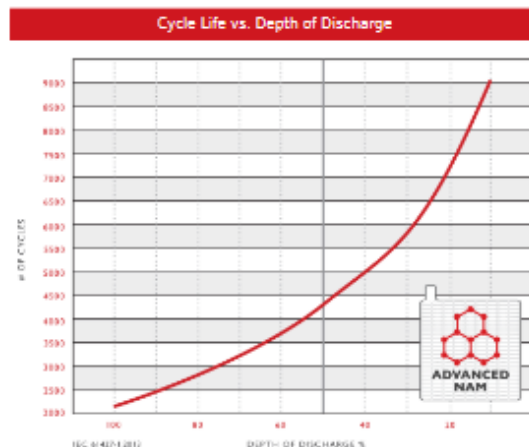
Amphère hour capacity ratings based on specific gravity of 1.280 at 25°C (77°F). Reduce capacities 5% for specific gravity of 1.265 and 10% for 1.250.

Specifications		
Weight	121 kg	267 lbs
Length	40 cm	15.75"
Width	23.8 cm	9.38"
Height Inc. Term.	62.9 cm	24.75"

**Certified System**  
SAIGLOBAL  
ISO 9001  
Quality

Product measurements & weights are calculated based on sample data. Individual applications are subject to vary due to the manufacturing process, battery components & electrolyte levels.

Electrolyte Reserve	95 mm	3.75"
Container (Inner)	Polypropylene	
Cover (Inner)	Polypropylene - heat sealed to inner container	
Container (Outer)	High Density Polyethylene	
Cover (Outer)	High Density Polyethylene snap fit to outer container	
Handles	Molded	



Victron Energy Multiplus invertteri [11]

MultiPlus	12 Volt 24 Volt 48 Volt	C 12/800/35 C 24/800/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/90 C 24/2000/50	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
PowerAssist		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Transfer switch (A)		16	16	16	30	16 or 50	100
<b>INVERTER</b>							
Input voltage range (V DC)		9,5 – 17 V		19 – 33 V	38 – 66 V		
Output		Output voltage: 230 VAC ± 2%			Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)		
Cont. output power at 25°C (VA) (3)		800	1200	1600	2000	3000	5000
Cont. output power at 25°C (W)		700	1000	1300	1600	2400	4000
Cont. output power at 40°C (W)		650	900	1200	1400	2200	3700
Cont. output power at 65°C (W)		400	600	800	1000	1700	3000
Peak power (W)		1600	2400	3000	4000	6000	10.000
Maximum efficiency (%)		92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94 / 95	94 / 95
Zero load power (W)		8 / 10	8 / 10	8 / 10	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Zero load power in AES mode (W)		5 / 8	5 / 8	5 / 8	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Zero load power in Search mode (W)		2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
<b>CHARGER</b>							
AC Input		Input voltage range: 187-265 VAC		Input frequency: 45 – 65 Hz		Power factor: 1	
Charge voltage 'absorption' (V DC)					14,4 / 28,8 / 57,6		
Charge voltage 'float' (V DC)					13,8 / 27,6 / 55,2		
Storage mode (V DC)					13,2 / 26,4 / 52,8		
Charge current house battery (A) (4)		35 / 16	50 / 25	70 / 40	80 / 50	120 / 70 / 35	120 / 70
Charge current starter battery (A)		4 (12 V and 24 V models only)					
Battery temperature sensor		yes					
<b>GENERAL</b>							
Auxiliary output (5)		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	Yes (16A)	Yes (50A)
Programmable relay (6)		Yes					
Protection (2)		a - g					
VE-Bus communication port		For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration					
General purpose com. port		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	Yes	Yes
Remote on-off		Yes					
Common Characteristics		Operating temp. range: -40 to +65°C (fan assisted cooling) Humidity (non-condensing): max 95%					
<b>ENCLOSURE</b>							
Common Characteristics		Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012)			Protection category: IP 21		
Battery connection		battery cables of 1,5 meter			M8 bolts	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)	
230 V AC-connection		G-ST181 connector			Spring-clamp	Screw terminals 13 mm² (6 AWG)	M6 bolts
Weight (kg)		10	10	10	12	18	30
Dimensions (height in mm)		375x214x110			520x255x125	362x258x218	444x328x240
<b>STANDARDS</b>							
Safety		EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, IEC 62109-1					
Emission, Immunity		EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3					
Road vehicles		12V and 24V models: ECE R10-4					
Anti-blanding		See our website					
1) Can be adjusted to 60 Hz; 120 V 60 Hz on request					3) Non-linear load, crest factor 3:1		
2) Protection key:					4) At 25°C ambient		
a) output short circuit					5) Switches off when no external AC source available		
b) overload					6) Programmable relay that can also be set for general alarm, DC under voltage or genset start/stop function		
c) battery voltage too high					AC rating: 230 V/VA		
d) battery voltage too low					DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC		
e) temperature too high							
f) 230 VAC on inverter output							
g) input voltage ripple too high							