



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joni Karttunen

Kesämökin aurinkosähköjärjestelmän kehittämisen kartoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Ylempi AMK-tutkinto (YAMK)

Älykäs teollisuus

Opinnäytetyö

9.5.2021

Tekijä Otsikko	Joni Karttunen Aurinkosähköjärjestelmän kehittämisen kartoitus
Sivumäärä Aika	49 sivua + 8 liitettä 9.5.2021
Tutkinto	Ylempi AMK
Tutkinto-ohjelma	Älykäs teollisuus
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori, Sampsa Kupari Yliopettaja, Jarno Varteva
<p>Aurinkoenergia on yksi uusiutuvan energian muodoista, ja sen markkinat ovat kasvaneet viime vuosina voimakkaasti. Auringon avulla tuotettua energiaa on sovelluksesta riippuen mahdollista muuntaa joko sähköksi tai lämmöksi. Aurinkosähkön avulla voidaan parantaa esimerkiksi kesämökkien käyttö- ja mukavuusastetta, mikäli yleistä sähköverkkoa ei ole saatavilla tai siihen ei ole kustannuksellisista syistä järkevää liittyä. IoT -teknologian (Internet of Things) kehittyessä kuluttajille on tullut saataville entistä parempia palveluita, joiden avulla erilaisista järjestelmistä on mahdollista tuottaa analysoitua dataa helpommin ymmärrettävään muotoon. Analysoidun datan avulla kuluttajat voivat mobiililaitteidensa välityksellä muun muassa monitoroida sekä hallita etänä aurinkosähköjärjestelmäänsä.</p> <p>Aurinkosähköjärjestelmä koostuu erilaisista komponenteista, yleisimmin aurinkopaneeleista, invertteristä, akustosta sekä lataussäätimestä. Käyttökohteesta riippuen komponenttien määrä ja niissä käytettävä tekniikka sekä ominaisuudet saattavat kuitenkin vaihdella.</p> <p>Työni tutkimuskohteena on yksityishenkilön Etelä-Karjalan maakunnassa sijaitseva kesämökki. Työn tavoitteena on kartoittaa nykyisen aurinkosähköjärjestelmän tilanne ja tehdä sen pohjalta kehityssuunnitelma, jota ei kuitenkaan konkreettisella tasolla lähdetä välittömästi toteuttamaan. Nykyisen aurinkosähköjärjestelmän komponentit ovat noin viisitoista vuotta vanhoja, joten aurinkosähköjärjestelmän nykytilan kartoitus suhteessa nykypäivän mahdollisuuksiin on tullut ajankohtaiseksi. Työssäni pohditaan myös aurinkosähköjärjestelmän laajentamismahdollisuuksia.</p> <p>Kehittämissuunnitelmaa lähestytään akuston näkökulmasta, sillä mökin omistajat kokivat sen toiminnassa epäkohtia. Näkökulman valintaa tukee myös se, että akustot ovat aurinkosähköjärjestelmien selkeästi kallein yksittäinen komponentti ja siten kuluttajille suurin investointi. Lisäksi työssä tutustutaan kesämökin muihin kohteisiin, joiden toimivuutta olisi IoT:n avulla mahdollista parantaa. Työn tuloksena kesämökin omistajille ehdotetaan aurinkosähköjärjestelmän kaksivaiheista laajennusta, ja käydään läpi konkreettisia tuotteita laajennuksen toteuttamiseksi. Ehdottamani muutosten keskeisimmät hyödyt liittyvät akuston kapasiteetin monitorointiin sekä sen optimaalisempaan lataukseen.</p>	
Avainsanat	aurinkosähköjärjestelmä, IoT, kesämökki

Author(s) Title	Joni Karttunen Research for improving solar system of the summer cottage
Number of Pages Date	49 pages + 8 appendices 9 May 2021
Degree	Master's Degree
Degree Programme	Intelligent Industrial Solutions
Specialisation option	
Instructor(s)	Sampsa Kupari, Lecturer Jarno Varteva, Principal Lecturer
<p>Solar energy is one form of the renewable energy and its commercial markets have grown strongly during the last years. Depending on the application, it is possible to convert energy produced by the sun into either electricity or heat. With the help of solar electricity, it is for example possible to improve the utilization rate and the comfort level of a summer cottage when the public power grid is not available or it is not reasonable to connect to public power grid because of the expenses. With the development of IoT (Internet of Things) technology, even better services have become available to consumers. With these services, it is possible to produce analyzed data from different systems in a form that is easier for the consumers to understand. With the help of the analyzed data consumers can, among other things, monitor and control their solar energy system via their mobile devices.</p> <p>Solar power system consists of various components, most commonly solar panels, an inverter, a battery and a charge controller. However, depending of the solar application the number of components as well as the technology and features used in it may vary.</p> <p>The subject of this research is a privately owned summer cottage which is located in the providence of South Karelia. The aim of the study is to map out the situation of the current solar power system and to make a development plan based on it. However, this plan will not be implemented immediately at a concrete level. The components of the current solar power system are about fifteen years old, so mapping out the current state of the solar system in relation to today's possibilities has become topical. This research also considers the possibilities of expanding the solar power system.</p> <p>The development plan is approached from a battery point of view, as the owners of the summer cottage have experienced faults in its operation. The choice of view is also supported by the fact that batteries are by far the most expensive single component in the solar power system and thus the largest investment for consumers. In addition, this research introduces the summer cottage's other systems which functionality could be improved with the help of IoT. As a result of the research, a two-phase extension of the solar power system will be proposed to the owners of the summer cottage. I will go through the products that can be used to accomplish the solar power system extension. The main benefits of the recommended changes are related to monitoring the capacity of the battery and its more optimal charging.</p>	
by Keywords	solar power system, IoT, summer cottage

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Aurinkosähkö	3
2.1.1	Taustaa	3
2.1.2	Aurinkosähkö maailmalla	5
2.1.2.1	Uusiutuvien energioiden vertailu	5
2.1.2.2	Maailman energianäkymät	6
2.1.3	Aurinkosähkö Suomessa	8
2.2	Aurinkolämpö	10
3	Aurinkosähköjärjestelmä	11
3.1	Aurinkopaneeli	12
3.2	Invertteri	15
3.3	Lataussäädin	18
3.3.1	PWM-säädin (Pulse-Width Modulation)	19
3.3.2	MPPT-säädin (Maxium Power Point Tracker)	20
3.4	Akusto	21
3.4.1	Lyijyhappoakku (lead acid)	22
3.4.2	Litiumakku	23
3.5	Aggregaatti	24
4	Mökin aurinkosähköjärjestelmän nykytila	25
4.1	Mökin omistajien kehitystoiveet	25
4.2	Mökin aurinkosähköjärjestelmän komponentit	26
4.2.1	Aurinkopaneelit	26
4.2.2	Lataussäädin	27
4.2.3	Invertteri	29
4.2.4	Akusto	29
4.2.5	Aggregaatti	31
4.3	Nykyisen järjestelmän haasteet	32
4.4	Muut kehitysmahdollisuudet	33
5	Kehittämissuunnitelma	33

5.1	Aurinkosähköjärjestelmän ensimmäinen laajennusvaihe	34
5.2	Aurinkosähköjärjestelmän toinen laajennusvaihe	36
5.3	Kesämökin muiden kehityskohteiden nykyaikaistaminen	37
5.4	Aurinkosähköjärjestelmän etämonitorointi ja -hallinta	38
5.5	Muut mahdollisuudet	39
5.6	Tulevaisuus	40
6	Pohdinta	41
7	Yhteenveto	44
	Lähteet	46

Liitteet

Liite 1. Mökin aurinkosähköjärjestelmän sähkökaavio.

Liite 2. Eri paneelityyppien tehontuoton vertailu eri sääolosuhteissa.

Liite 3. Varjostuksen vaikutus paneelikohtaisessa tehonseurannassa.

Liite 4. Kesämökin nykyinen lataussäädin.

Liite 5. Nykyisen akuston arvioitu elinikä sykleissä suhteessa purkaussyvyyteen.

Liite 6. Purkausnopeuden vaikutus käytettävissä olevan akkukapasiteetin määrään.

Liite 7. Aurinkosähköjärjestelmän ensimmäinen laajennusvaihe. SmartShunt akkumonitorin asennus.

Liite 8. Aurinkosähköjärjestelmän toinen laajennusvaihe. MPPT-säätimen ja akuston lämpötila-anturin asentaminen.

Lyhenteet

2G	Second generation, matkapuhelinteknologia
AC	Alternating current, vaihtovirta
Ah	Ampeeritunti
AGM	Absorbed Glass Mat, akkutyyppe
AM	Air mass, ilmassa
BMS	Battery management system. akustonhallintajärjestelmä
CPV	Keskittävä aurinkokenno
CSP	Keskittävä aurinkovoimalaitos
DC	Direct current, tasavirta
GWh	Gigawattitunti
IEA	Kansainvälinen energiajärjestö
IoT	Internet of Things, esineiden internet
kWh	Kilowattitunti
LCOE	Levelized cost of electricity, laskentamenetelmä energiamuotojen tuotantokustannuksille
LPG	Liquefied Petroleum Gas, nestekaasu
MPPT	Maxium Power Point Tracker
MW	Megawatti
Off-grid	Aurinkosähköjärjestelmä, jota ei ole kytketty sähköverkkoon

On-grid	Aurinkosähköjärjestelmä, joka toimii sähköverkon rinnalla
PERC	Passivated Emitter and Rear Contact, aurinkokennorakenne
MPP	Maximum Power Point, maksimitehopiste
MPPT	Maximum Power Point Tracker, lataussäädin tyyppi
P2X	Power to X, teknologia jossa tuotettua sähköä muunnetaan toiseksi tuotteiksi
PV	Photovoltaic, valosähköiseen ilmiöön perustuva aurinkokenno
PWM	Pulse-Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
SIM	Subscriber Identity Module, matkapuhelinliittymissä käytettävä älykortti
SOC	State of Charge, akun varaustila suhteessa täyteen akkuun (%)
STC	Standard test condition, standardisoidut testiolosuhteet
U_{MPP}	Voltage at maximum power point, paneelin jännite nimellisteholla
V2G	Vehicle-to-grid, energian siirtäminen ajoneuvosta sähköverkkoon
VRLA	Valve regulated lead-acid battery, venttiilisäädetty lyijyakku
W	Watt, watti eli tehonyksikkö
WEO	World Energy Outlook, Kansainvälisen energiajärjestön vuotuinen raportti
WLAN	Wireless local area network, langaton lähiverkko
Wp	Watt-peak, aurinkopaneelien tuottama suurin nimellinen tuotantoteho

1 Johdanto

Vapaa-ajan asunnon liittäminen yleiseen sähköverkkoon on syrjäseuduilla ja vaikeakulkuisissa paikoissa kallista. Aurinkoenergiaan liittyvät sovellukset tarjoavat kuitenkin yhden vaihtoehdon, jolla sähköä saadaan paikkoihin, joissa yleiseen sähköverkkoon liittyminen ei ole taloudellisesti järkevä investointi. Jos mökillä tarvitaan sähköä esimerkiksi ainoastaan valaistukselle sekä kulutuselektroniikan käytölle ja -lataukselle, on aurinkosähkö tällöin helppo tapa parantaa loma-asunnon käyttö- ja mukavuusastetta.

Opinnäytetyössä perehdytään yleisellä tasolla aurinkoenergiaan ja sen käyttömahdollisuuksiin, aurinkosähköjärjestelmän eri komponentteihin sekä kehitettävän kesämökin aurinkosähköjärjestelmän nykytilaan. Työn tarkoituksena on tehdä aurinkosähköjärjestelmään liittyvä kattava esiselvitys ja sen kehityssuunnitelma. Opinnäytetyön tulosten on tarkoitus tarjota kesämökin aurinkosähköjärjestelmän parannus- ja laajennusvaihtoehtoja, joita ei kuitenkaan välttämättä lähdetä konkreettisella tasolla toteuttamaan.

Työ toteutetaan yksityishenkilön Etelä-Karjalan maakunnassa sijaitsevalle kesämökille, joka on rakennettu vuonna 2006. Tutkimus- ja kehityskohteena oleva aurinkosähköjärjestelmä on asennettu vuonna 2007 ja sitä on myöhemmin muutamaan otteeseen hieman laajennettu. Nykytilan ja kehityskartoituksen apuna olen käyttänyt nykyisen aurinkosähköjärjestelmän dokumentaatiota.

Keskityn työssäni erityisesti aurinkoenergian nykytilaan, aurinkosähköjärjestelmän komponentteihin sekä aurinkosähköjärjestelmän haasteisiin ja sen kehittämiseen muun muassa IoT:n (Internet of Things) näkökulmasta. IoT mahdollistaa uudentyyppisten sovellusten käyttämisen, kuten etäyhteydellä hallittavat ja monitoroivat järjestelmät. IoT:n hyötyjen lisäksi sillä on kuitenkin myös omat ongelmakohtansa.

Nykyinen aurinkosähköjärjestelmä on toiminut suunnitellusti vuodesta 2007 lähtien, mutta kehityskartoitus on silti ajankohtainen ja tarpeellinen, sillä alan tekniikka ja järjestelmät ovat vuosien saatossa kehittyneet. Myös järjestelmien hinnat ovat alentuneet merkittävästi. Suurin syy aurinkosähköenergian kustannusten laskemiselle on ollut PV-moduulien halpeneminen. Joulukuun 2009 ja joulukuun 2019 välisenä aikana moduulien hinnat laskivat moduulityypistä riippuen 87 %-92 %. Tämä on myös yksi keskeinen syy sille, että globaalit aurinkosähkömarkkinat ovat kehittyneet voimakkaasti 2010-luvulta lähtien [1.]

2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on yksi uusiutuvien energialähteiden muodoista muun muassa biopolttoaineiden sekä tuuli- ja vesivoiman ohella. Uusiutuvana energianlähteenä aurinko on ehtymätön ja sen vuoksi se onkin tulevaisuudessa yksi erinomainen vaihtoehto esimerkiksi fossiilisista polttoaineista tuotetulle energialle [2.]

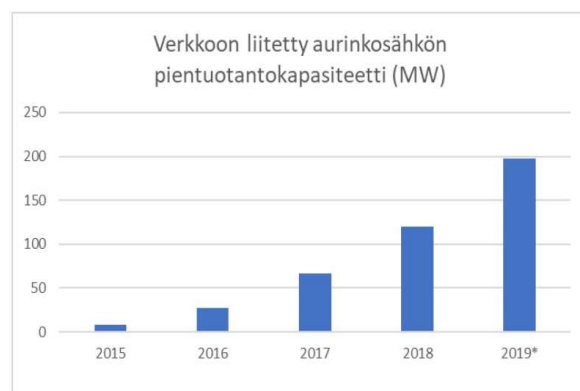
Aurinkoenergian avulla Suomessa tuotettiin vuonna 2019 noin 214 megawattia (MW) sähköä [3], joka on vain hyvin pieni osa Suomen noin 86 gigawattitunnin (GWh) kokonaiskulutuksesta [4.] Tuotantokapasiteetti sisältää sekä sähköverkkoon kytketyt (on-grid) 203 MW, että kytkemättömät (off-grid) järjestelmät ~11 MW. Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien pientuotantokapasiteetitilvut perustuvat Energiaviraston vuosittain sähkön jakeluverkko-yhtiöiltä keräämään tietoon, joka kattaa ainoastaan alle 1 MW sähköä tuottavat yksiköt. Kytkemättömien järjestelmien aurinkosähkökapasiteetti perustuu puolestaan arvioon, jonka aineiston Luonnonvarakeskus ja Tilastokeskus ovat yhteistyössä laatineet pientalojen lämmitysenergiaa sekä muita pientuotannon kapasiteettitietoja käsittelevän datan perusteella [5.]

Aurinkosähkön pientuotanto on kasvattanut voimakkaasti suosiotaan viimeisien vuosien aikana. Kun tarkastellaan Suomen sähköverkkoon liitettyjä sähkön pientuotantomuotoja, niin aurinkosähkö on näistä merkittävin 197 MW tuotannolla. Pientuotantoyksiköiden lisäksi sähköverkkoon on tällä hetkellä kytkettynä yksi yli 1MW:n aurinkosähköä tuottava järjestelmä [5.] Kyseinen järjestelmä valmistui vuonna 2018 Atrian tehtaalle Nurmoon. Sen huipputeho on noin 6 MW ja se tuottaa 5 prosenttia Nurmon tehtaiden vuosittaisesta sähköntarpeesta. Atrian järjestelmä sisältää kokonaisuudessaan noin 22 000 yksittäistä aurinkopaneelia ja on kokoluokaltaan yhdeksän jalkapallokentän kokoinen [6.]

Sähköverkkoon liitetty sähkön pientuotanto (alle 1 MW yksiköt)

Tuotantomuoto	Nimellisteho (MW)* 31.12.2019	Nimellisteho (MW) 31.12.2018	Muutos %
Aurinko	197	120	+64 %
Tuuli	14	14	0 %
Bio	13	13	0 %
Vesi	29	31	-6 %
Diesel	23	21	+10 %
Muut	2	2	0 %
Yhteensä	278	201	+38 %

*Vuoden 2019 luvut alustavia



Kuva 1. Sähköverkkoon liitetty sähkön pientuotanto (MW) 2018-2019 ja sen kasvu [5.]

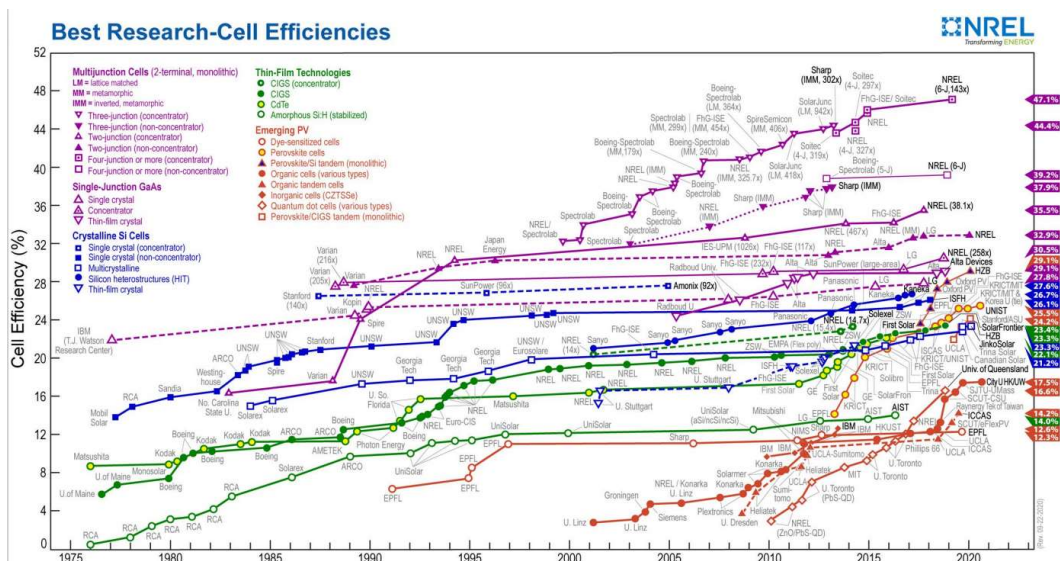
2.1 Aurinkosähkö

Auringon säteilystä voidaan tuottaa sähköä kolmella eri tekniikalla. Näitä ovat valosähköiseen ilmiöön perustuvat aurinkokennot (photovoltaic eli PV), keskittävät aurinkovoimalaitokset (Concentrating Solar Power eli CSP) sekä keskittävät aurinkokennot (Concentrating Photovoltaics eli CPV) [7.] Näistä tekniikoista opinnäytetyössä keskitytään tarkemmin ainoastaan valosähköiseen ilmiöön perustuviin PV-kennoihin, joka on tekniikoista yleisin sekä kaupallisesti saatavilla.

2.1.1 Taustaa

Aurinkokenno ei ole ilmiönä uusi keksintö. Sen juuret ulottuvat aina vuoteen 1839 kun ranskalainen fyysikko Edmond Becquerel havaitsi ja löysi valosähköisen ilmiön. Aurinkokennojen innovaation alkuna voidaan pitää vuotta 1883, jolloin New Yorkilainen keksijä Charles Fritts loi ensimmäiset aurinkokennot päällystämällä seleenikennon ohuella kultakerroksella. Nämä kennot pystyivät hyödyntämään ja muuntamaan 1-2 prosenttia auringonvalon sisältämästä energiasta sähköksi [8.] Nykyisin noin 90 prosenttia kaupallisista aurinkokennoista ovat piipohjaisia ja niiden hyötysuhde on tavallisesti 15-17 prosentin välillä [9.] Näiden aurinkokennotyyppien kehitys tulevaisuudessa kaupallisiin sovelluksiin on kuitenkin entistä haastavampaa, koska niiden teoreettinen maksimihyötysuhde on noin 29 prosenttia [10.]

Tutkimus- ja kehitysvaiheessa on tällä hetkellä useita erilaisia aurinkokennotyyppejä sekä niiden valmistuksessa käytettäviä materiaaleja. Yksi mielenkiintoinen vaihtoehto piin korvaajaksi tai piipohjaisten aurinkokennojen tueksi voisivat olla perovskiitti-rakenneiset materiaalit.



Kuva 2. Erialaisten aurinkokennotyyppien hyötysuhteet [26.]

Perovskiittia tukena käyttävien aurinkokennojen vahvuuksina pelkkään piihin verrattuna voidaan pitää niiden teoriassa korkeampaa hyötysuhdetta [11] sekä mahdollisesti halvempia tuotantokustannuksia [12.] Perovskiittien suurimmat haasteet piihin verrattuna ovat puolestaan niiden epästabiilius, mikä ilmenee muun muassa lyhyempänä käyttöikä, sekä niiden sisältämät myrkylliset aineet. Tehokkaimmat perovskiitti-aurinkokennot sisältävät tyypillisesti lyijyä [13], mikä on vaarallista sekä ympäristölle että ihmisille.

Perovskiittikennojen kaupallistuminen näkyy kuitenkin jo Euroopan markkinoilla. Niitä hyödyntävistä yrityksistä voidaan mainita esimerkiksi puolalainen Saule Technologies, joka panostaa muun muassa IoT-markkinoihin, sekä brittiläinen Oxford PV. Oxford PV:n tutkijat totesivat jo vuonna 2018 pystyvänsä rakentamaan 28 prosentin hyötysuhteen tandem-aurinkokennoja, joissa yhdistyvät perovskiitti- ja piikennojen edut [14.] Tandemkennoissa auringon spektristä voidaan hyödyntää useampi aallonpituus, mikä antaa niille suuremman hyötysuhteen kuin kumpikaan materiaali yksin käytettynä. Oxford PV:n ensimmäiset kaupalliset tuotteet ovat tulossa myyntiin arviolta vuoden 2021 puolivälissä. Tuote pohjautuu piiaurinkokennoihin, joihin on integroitu lisäksi ohut perovskiittikalvokerros [15.]

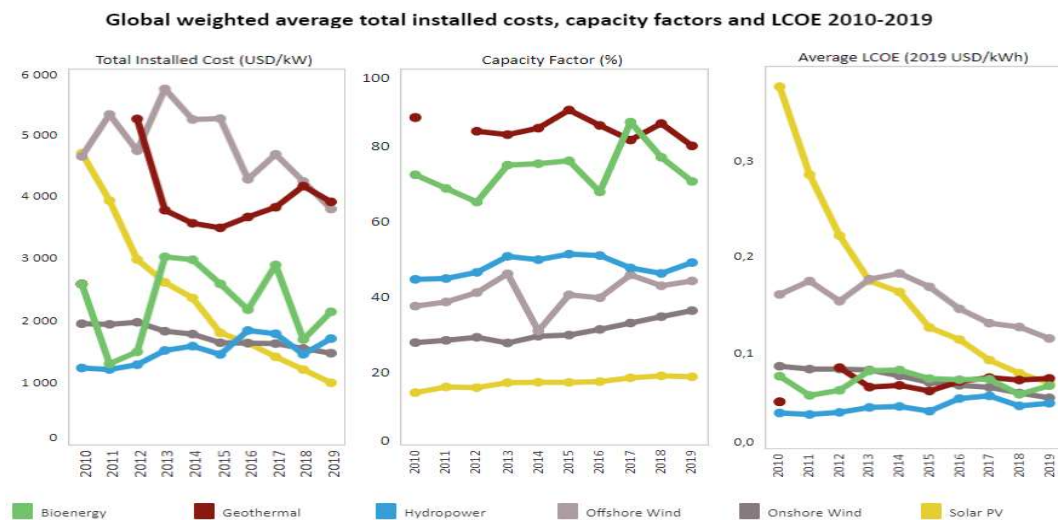
Tulevaisuudessa markkinoille tulevissa uusissa kaupallisissa tuotteissa joudutaan todennäköisesti tekemään kompromisseja, sillä korkeimman hyötysuhteen tuottava aurinkokenno ei välttämättä ole stabiilein eikä myöskään taloudellisin vaihtoehto tuotteen valmistajan ja sitä kautta kuluttajan näkökulmasta.

2.1.2 Aurinkosähkö maailmalla

Aurinko- ja tuulisähkökapasiteetti on kasvanut monissa maissa hyvin nopeasti muuttuneen tukipolitiikan sekä teknologiakustannusten voimakkaan laskun seurauksena. Vaikka aurinkosähkö oli verrattain kallis sähköntuotantotyyppi vielä kymmenen vuotta sitten, on siitä nopeasti tullut yksi edullisimmista uusiutuvan energian muodoista.

2.1.2.1 Uusiutuvien energioiden vertailu

Erialaisten uusiutuvien energioiden kannattavuutta voidaan vertailla LCOE (levelized cost of electricity) laskentamenetelmän avulla. Näitä tarkastellaan kuvassa 3. Globaalisti painotetut asennusten kokonaiskustannukset näkyvät kuvassa vasemmalla ja tekniikan mukaan määritetty kapasiteettikerroin (capacity factor) kuvassa keskellä.



Note: All LCOE values are calculated based on project level data for total installed costs and capacity factors from the IRENA Renewable Cost Database, with other assumptions necessary for LCOE detailed in the source link below, notably an assumption of a weighted-average cost of capital of 7.5% real in the OECD and China and 10% elsewhere.

Source: IRENA (2020), Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
<https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

Kuva 3. Aurinkosähkön kannattavuus on parantunut merkittävästi [16.]

LCOE:n menetelmässä eri energiantuotantomuodoille voidaan arvioida keskenään vertailukelpoisia tuotantohintoja (\$ tai € / kWh tai MWh). LCOE:n avulla eri teknologioiden tuotantokustannukset saadaan arvioitua yhdellä ja samalla mittarilla, jota on helppo lukea sekä ymmärtää. LCOE laskuissa on kuitenkin lähteestä sekä sähköntuotantotyyppistä riippuen käytetty erilaisia parametrejä, tekijöitä sekä oletuksia, joten niiden keskinäinen vertailu saattaa olla ongelmallista ja harhaanjohtavaa. Alla olevassa kuvassa nähdään hyvin yksinkertaistettu tapa laskea tuotantokustannusarvio. Lifecycle cost eli elinkaarikustannukset sisältävät muun muassa laitteiston hinnan, asennuksen sekä huolto- ja ylläpitokustannukset. Lifetime energy production kuvaa puolestaan laitteiston koko elinkaarensa aikana tuottamaa sähkön määrää.

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Lifecycle cost (\$)}}{\text{Lifetime energy production (kWh)}}$$

Kuva 4. LCOE-tuotantokustannusarvio [17.]

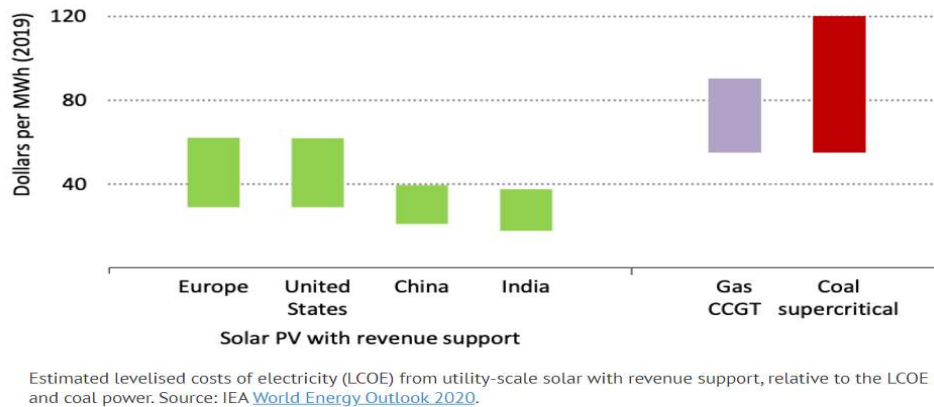
Kaavan perusteella voidaankin todeta, että valmistus- sekä käyttökustannusten tulisi olla mahdollisimman pienet ja laitteen luotettavuus sekä tehokkuus puolestaan mahdollisimman korkealla tasolla, jotta LCOE arvosta saataisiin paras mahdollinen.

2.1.2.2 Maailman energianäkymät

Kansainvälinen energiajärjestö (IEA) julkaisee syksyisin vuotuisen World Energy Outlookin (WEO). Se sisältää yksityiskohtaisia ja tarkemmin tutkittuja analyysejä globaalista energiajärjestelmästä.

Raportin mukaan aurinkoenergian hyödyntäminen on tällä hetkellä useissa maissa halvempaa kuin uusien hiili- tai kaasuvoimaloiden rakentaminen. Syynä tähän ovat kuluneen vuosikymmenen aikana alentuneet aurinkoenergian kustannukset. Samaisesta raportista käy ilmi, että uusimmat aurinkohankkeet ovat myös nousseet halvimmaksi sähköntuotantomenetelmäksi maissa, joissa maantieteellinen sijainti sekä poliittinen tuki ja rahoitus ovat sille suotuisia. Näissä paikoissa aurinkosähkön arvioidut LCOE kustannukset ovat noin 20 \$/MWh tai jopa sen alle [18.]

IEA:n mukaan Yhdysvalloissa ja Euroopassa uudet aurinkohankkeet maksavat nyt 30-60 dollaria per megawattitunti. Kiinassa ja Intiassa kyseiset tuotantokustannukset ovat 20-40 dollaria per megawattitunti. Kuvasta 5 nähdään, että esimerkiksi hiilivoimaloihin verrattaessa aurinkosähkön arvioidut LCOE kustannukset ovat Kiinassa ja Intiassa jo selkeästi pienemmät [18.]



Kuva 5. Arvioidut aurinkosähkön LCOE kustannukset hiili- ja kaasuvoimaloihin verrattuna [18.]

Edellä ilmenevät Kiinan ja Intian LCOE:n arvioidut arvot ovat jo samalla tasolla kuin nykyisten olemassa olevien hiilivoimaloiden käyttökustannukset. Tämä voidaan todeta, kun verrataan kuvan 5 arvoja kuvan 6 "Fuel and O&M" 2019 arvoihin. Kuvan 6 "Stated Policies Scenario" ei ole WEO:n ennuste vuodelle 2040, eikä sitä tule tulkita tai käsitellä sellaisena. WEO kutsuukin sitä yksityiskohtaiseksi arvioksi, jossa otetaan huomioon nykyinen politiikka ja sen suunnitelmat esimerkiksi Pariisin ilmastopimuksen osalta. Arviossa ei kuitenkaan spekuloida sitä, miten poliittiset päätökset voivat muuttua ja kehittyä tulevaisuudessa [19.]

Technology costs by selected region in the Stated Policies Scenario

		Capital costs		Capacity factor		Fuel and O&M		LCOE		VALCOE	
		(\$/kW)		(%)		(\$/MWh)		(\$/MWh)		(\$/MWh)	
		2019	2040	2019	2040	2019	2040	2019	2040	2019	2040
United States	Nuclear	5000	4500	90	90	30	30	105	100	105	100
	Coal	2100	2100	60	60	30	30	75	75	75	75
	Gas CCGT	1000	1000	50	50	30	40	50	65	45	65
	Solar PV	1220	680	21	23	10	10	75	40	80	55
	Wind onshore	1560	1440	42	44	10	10	50	45	55	55
	Wind offshore	4260	2160	41	48	35	20	155	70	150	75
European Union	Nuclear	6600	4500	75	75	35	35	150	110	145	115
	Coal	2000	2000	40	40	40	40	120	150	110	125
	Gas CCGT	1000	1000	40	40	45	65	65	110	50	75
	Solar PV	840	490	13	14	10	10	85	50	85	80
	Wind onshore	1560	1420	28	31	15	15	75	65	80	80
	Wind offshore	3800	2040	49	59	15	10	110	50	115	60
China	Nuclear	2600	2500	80	80	25	25	65	60	65	60
	Coal	800	800	60	60	30	30	50	70	50	60
	Gas CCGT	560	560	50	50	60	75	75	100	70	95
	Solar PV	790	450	17	19	10	5	55	30	55	55
	Wind onshore	1220	1140	25	27	15	10	65	55	65	60
	Wind offshore	3000	1640	32	44	25	15	130	55	130	55
India	Nuclear	2800	2800	80	80	30	30	70	70	70	70
	Coal	1200	1200	60	60	30	35	55	55	55	50
	Gas CCGT	700	700	50	50	50	70	60	85	60	65
	Solar PV	610	350	20	21	5	5	35	20	40	50
	Wind onshore	1060	1020	26	29	10	10	55	50	60	55
	Wind offshore	3140	1700	29	38	25	15	135	60	135	70

Note: O&M = operation and maintenance; LCOE = levelised cost of electricity; VALCOE = value-adjusted LCOE; kW = kilowatt; MWh = megawatt-hour; CCGT = combined-cycle gas turbine. LCOE and VALCOEs figures are rounded. Lower figures for VALCOE indicate improved competitiveness.

Source: IEA WEO-2020

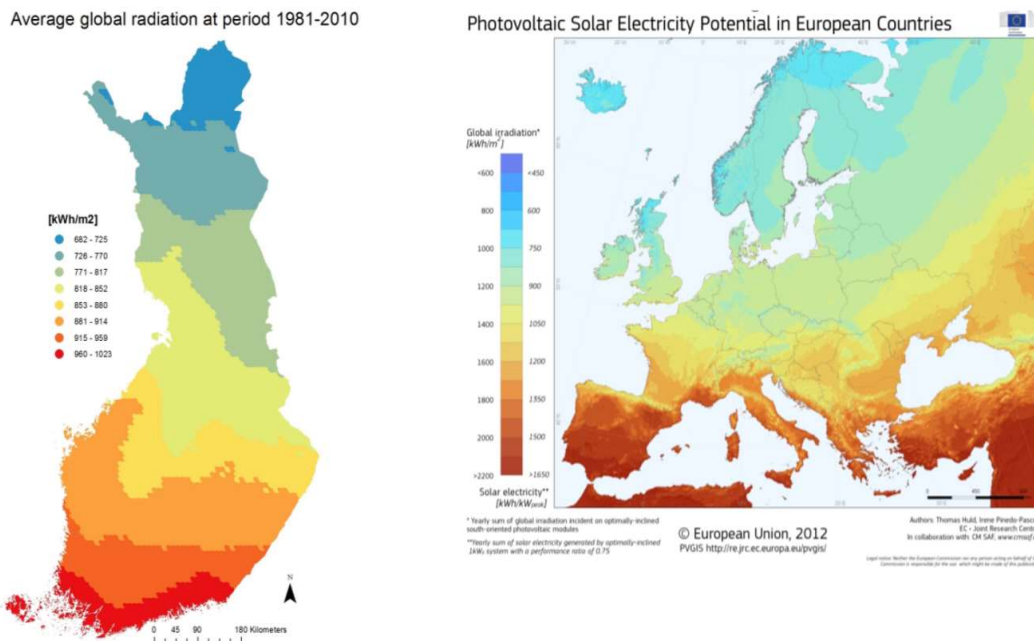
Kuva 6. IEA:n Stated Policies Scenario vuodelle 2019 ja arvio vuodelle 2040 [20.]

2.1.3 Aurinkosähkö Suomessa

Tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat maahan saapuvan säteilyenergian määrään ja sitä kautta aurinkosähkön tuotantoon, ovat auringon korkeuskulma sekä vallitsevat sääolosuhteet. Suomen sijainti pohjoisena maana aiheuttaa sen, että auringon korkeus horisontista vaihtelee varsin voimakkaasti vuodenajasta riippuen. Näin ollen Suomeen saapuva auringon säteilyenergia jakautuu vuositasolla suhteellisen epätasaisesti ja keskittyy vahvimmin kesäkuukausille.

Kuitenkin verrattaessa kokonaissäteilyn määrää Euroopan johtavaan aurinkosähkömaahan Saksaan, on Suomen kokonaissäteilyn määrä lähes samaa suuruusluokkaa. Esimerkiksi Etelä-Suomessa vuotuista kokonaissäteilyä kertyy suunnilleen saman verran kuin Pohjois-Saksassa. Tämä johtuu Suomen sääolosuhteista, jotka ovat aurinkosähkölle otollisemmat. Pilviä ja sateita on Suomessa vähemmän ja lisäksi aurinkopaneelit toimivat tehokkaammin, koska ilmasto on viileämpi. Aurinkopaneelit nimittäin tuottavat energiaa sitä paremmalla hyötysuhteella, mitä kylmemmässä ympäristössä ne ovat [21.]

Kuvasta 7 nähdään vuotuisen kokonaissäteilyn määrä Suomessa ja Euroopassa (kWh/m²).



Kuva 7. Vuotuinen auringon säteily määrä Suomessa ja Euroopassa [22, 23.]

Suomessa kesäkuukausille painottuvasta säteilyenergiasta hyötyvät muun muassa kesämökin omistajat, jotka ovat asentaneet vapaa-ajan asunnolleen aurinkosähköjärjestelmän. Tilastokeskuksen mukaan Suomessa on yli 500 000 kesämökkiä ja näistä yli 50 000 on asennettu off-grid järjestelmä [4.] Itsenäisten off-grid järjestelmien pääasiallisena tarkoituksena on tuottaa sähköä valaistukselle, jääkaapille ja kulutuselektronikalle. Sähköverkon rinnalle kytkettyjä on-grid järjestelmiä on asennettu puolestaan yksittäisiin pien- ja kerrostaloihin, liikerakennuksiin, myymälöihin sekä maatalous- ja teollisuuslaitoksiin. Asennettujen on-grid järjestelmien aurinkosähkökapasiteetin jakautumisesta vuonna 2019 ei ole tarkkaa tietoa. Kahden merkittävän suomalaisen aurinkosähköjärjestelmien toimittajan haastattelujen perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että asuinrakennukset kattavat kapasiteetista noin 45 prosenttia, liikerakennukset noin 30 prosenttia ja teollisuuslaitokset loput noin 25 prosenttia. PV-voimalaitosten kokonaismäärän arvioidaan Suomessa olevan noin 20 000 – 25 000 [3.]

2.2 Aurinkolämpö

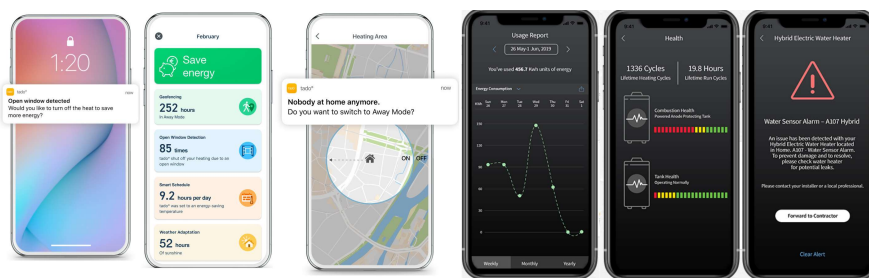
Auringosta saatavaa säteilyenergiaa muunnetaan sähkön lisäksi myös lämmöksi. Aurinkolämpöä voidaan käyttää hyödyksi rakennuksissa sekä passiivisella että aktiivisella tavalla.

Passiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä auringon säteilemä energia käytetään hyväksi ilman erillisiä lisälaitteita. Tällöin rakennukset pyritään suunnittelemaan niin, että ne keräävät energiaa ja varastoivat lämpöä rakenteisiinsa mahdollisimman tehokkaasti [21.]

Kaikki rakennukset varastoivat jonkin verran aurinkoenergiaa, mutta sen määrä vaihtelee huomattavasti rakennusten sijoituksen, suuntauksen, muodon, ikkunoiden koon ja sijainnin sekä käytettyjen rakennusmateriaalien mukaan [21.]

Aktiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä auringon säteily puolestaan muunnetaan aurinkokeräimien avulla lämmöksi. Lämpö kuljetetaan keräimestä ilman tai nesteen mukana joko suoraan käyttöön tai vaihtoehtoisesti lämpövarastoon. Lämminvesivaraaja on selkeästi yleisin varastointimuoto [21.]

IoT-tekniikan avulla aurinkoenergiaa on mahdollista käyttää hyödyksi vieläkin monipuolisemmin. Lämminvesivaraajiin ja ilmalämpöpumppuihin integroitujen tai erikseen liitettävien moduulien avulla lämminvesivaraaja ja ilmalämpöpumppu on mahdollista liittää internetiin. Laitteiden toimintoja voidaan näin ollen etäohjata tai -monitoroida reaaliajassa paikasta ja ajasta riippumatta. Kuluttaja voi halutessaan tarkkailla mobiililaitteen tai internetselaimen välityksellä esimerkiksi rakennuksen lämpötiloja tai energiankulutusta graafisen käyttöliittymän avulla. Tällöin historia- sekä reaaliaikaista tietoa tarkastelemalla kuluttajan on mahdollista ymmärtää taloutensa energiankulutusta paremmin. Lisäksi laitteet pystyvät ilmoittamaan epätyypillisestä toiminnasta tai toimintahäiriöistä it-sediagnostiikan avulla.

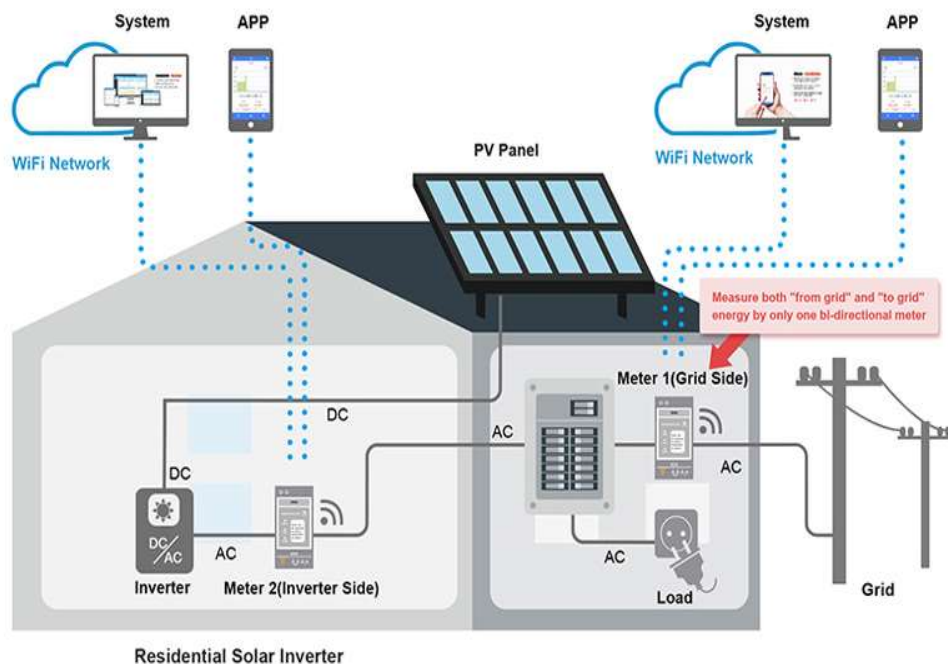


Kuva 8. Tado°:n ja Rheem:n mobiilisovellukset mahdollistavat etähallinnan sekä -monitoroinnin [24, 25.]

3 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentteina voidaan pitää aurinkopaneeleita ja invertteriä. Invertterin tehtävänä on muuttaa aurinkopaneelilta tuleva tasavirta (DC) vaihtovirraksi (AC), jonka voi käyttää itse, myydä sähköyhtiölle tai varastoida akkuihin. Akkuihin varastointi onnistuu vain, mikäli invertteriin on integroitu latauksen mahdollistava ominaisuus. Tällöin invertteriä kutsutaan myös hybridi- tai monitoimilaitteeksi. Sähköverkkoon kytkemätön järjestelmä sisältää myös lataussäätimen sekä akuston. Lisäksi käyttökohteesta ja sovelluksesta riippuen aurinkosähköjärjestelmään liittyy myös muita oheiskomponentteja kuten energiamittari, kaapelointi, turvakytkimet, sulakkeet sekä katto- tai maa-asennuksen kiinnitystarvikkeet.

IoT:n myötä aurinkosähköjärjestelmän eri komponentit voivat langallisen tai langattoman tiedonsiirron avulla kommunikoida sekä keskenään, että useamman eri paikassa olevan ihmisen kanssa samanaikaisesti. Järjestelmän komponenttien keräämä data mahdollistaaakin kuluttajalle uusia työkaluja, joiden avulla aurinkosähköjärjestelmää voi käyttää optimaalisemmin hyödyksi.

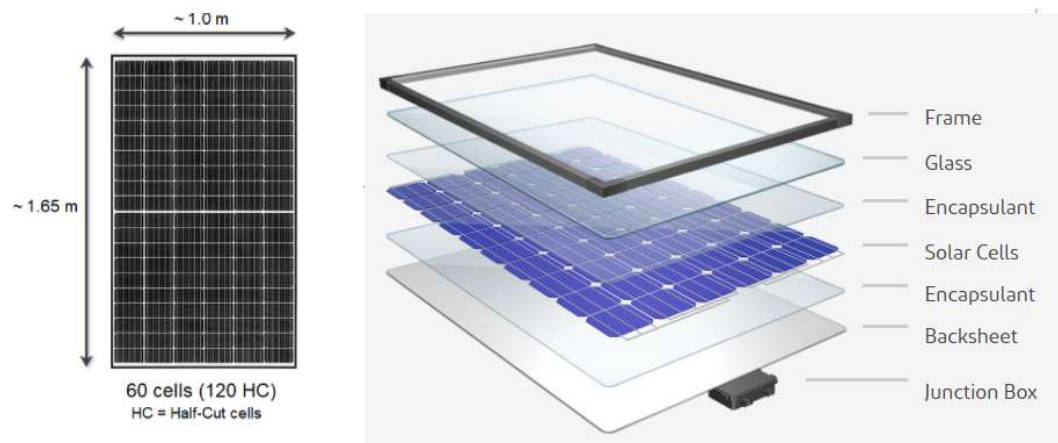


Kuva 9. IoT:n myötä aurinkosähköjärjestelmän etävalvonta on mahdollista [27.]

IoT:n avulla off-grid järjestelmästä voisi esimerkiksi saada tietoa akuston nykytilasta, jolloin omistaja voisi reagoida tilanteeseen tarpeenmukaisella tavalla. Tietyissä tilanteissa käyttäjän toimintaa ei tarvita lainkaan, vaan IoT-laite pystyy tekemään tarvittavat päätökset itsenäisesti. Mikäli esimerkiksi akuston varaus olisi laskemassa liian alhaiseksi, voitaisiin aggregaatti ennakoivasti kytkeä päälle. Vaihtoehtoisesti tämä voitaisiin tehdä myös etänä mobiililaitteen avulla. Etäohjaus tuo kuitenkin mukanaan omat riskinsä tietoturvan osalta ja tietoturvan varmistamiseen onkin siten syytä kiinnittää erityistä huomiota.

3.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneelin tehtävänä on muuttaa auringon säteilemä energia tasasähköksi (DC) valosähköisen ilmiön avulla. Aurinkopaneeli koostuu yksittäisistä, yleensä sarjaan kytketyistä aurinkokennoista (156 mm x 156 mm). Laminointi, lasi sekä tyypillisesti alumiininen kehys suojaavat paneelien aurinkokennoja ympäristön vaikutuksilta. Kuluttajille myynnissä olevat aurinkopaneelit ovat yleensä 60-kennoisia ja ne ovat kooltaan ~1 m x ~1.6. Yleisimmät asuinrakennuksiin asennettavat aurinkokennoteknologiat ovat piipohjaisia yksi- tai monikidepaneeleita [21.]



Kuva 10. Aurinkopaneelin rakenne [28, 29.]

Maantieteellisesti erilaisista ja muuttuvista sääolosuhteista johtuen aurinkopaneelien suorituskyvyn keskinäinen vertailu on luonnossa käytännössä lähes mahdotonta. Standardisoidut testiolosuhteet (STC, Standard test condition) mahdollistavat aurinkopaneelien yhdenmukaisen vertailun eri valmistajien välillä. STC-testiolosuhteissa aurinkopa-

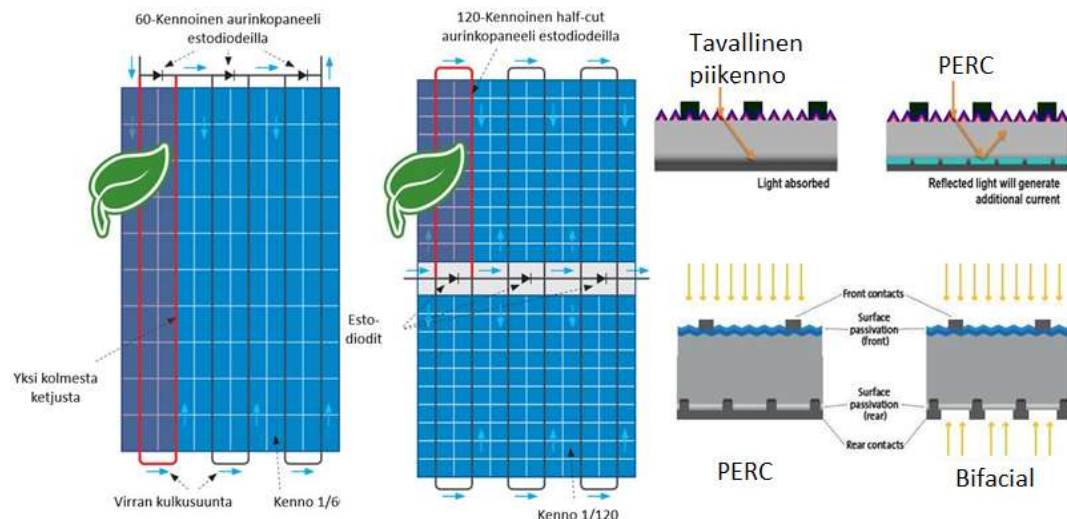
neelien tuottama suurin nimellinen tuotantoteho (W_p , watt-peak) mitataan kolmen parametrin avulla. Näitä ovat auringonsäteilyintensiteetti (1000 W/m^2), paneelin lämpötila (25°C) sekä ilmassakerroin (AM 1,5) [21.]

ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-310	TSM-315	TSM-320	TSM-325	TSM-330	TSM-335
Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	310	315	320	325	330	335
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- U_{MPP} (V)	33.0	33.2	33.4	33.6	33.8	34.0
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	9.40	9.49	9.58	9.67	9.76	9.85
Open Circuit Voltage- U_{OC} (V)	39.9	40.1	40.3	40.4	40.6	40.7
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	10.03	10.12	10.20	10.30	10.40	10.50
Module Efficiency η_m (%)	18.4	18.7	19.0	19.3	19.6	19.9

STC: Irradiance 1000 W/m^2 , Cell Temperature 25°C , Air Mass AM1.5
* Measuring tolerance: $\pm 3\%$

Kuva 11. Aurinkopaneelin tekniset ominaisuudet [30.]

Aurinkopaneeli- ja aurinkokennoteknologioiden jatkuvasti kehittyessä kuluttajalla voikin olla haasteita ymmärtää eri mallien välisiä eroja. Kuvassa 12 nähdään muutama esimerkki viimeisimmistä kaupallistetuista kehitysaskelista, joilla paneelien suorituskykyä, kestävyyttä sekä käytettävyyttä on pyritty parantamaan.



Kuva 12. Aurinkokennon ja -paneelin teknologioita [33, 34, 35.]

Half cut -teknologiassa aurinkokennot on "halkaistu" kahtia, mistä johtuen paneelien kennot ovat puolet pienempiä. Teknologian tarkoituksena on parantaa paneelityypin suorituskykyyn liittyviä ominaisuuksia sekä tehdä paneeleista rakenteellisesti kestävämpiä.

Kennot on myös ketjutettu eri tavalla perinteiseen paneeliin verrattuna. Paneelin ylä- ja alaosa ovat riippumattomia toisistaan ja erityyppisen ketjutuksen avulla pyritäänkin vähentämään varjostuksista johtuvaa tehohäviötä. Ohitusdiodien avulla half cut -aurinkopaneelit on jaettu kuuteen osaan ”perinteisen” paneelin kolmen sijasta. Näin ollen pienempi osa paneelista lakkaa tuottamasta sähköä, jos paneeli altistuu varjostuksille.

PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) tyyppisessä aurinkopaneelissa aurinkokennojen takapuolelle on puolestaan lisätty ylimääräinen kerros, jonka avulla auringon säteily saadaan paremmin hyötykäyttöön. Bifacial-tekniikka taas mahdollistaa tehon tuottamisen kaksipuoleisesti eli myös aurinkopaneelin taustapuolelta.

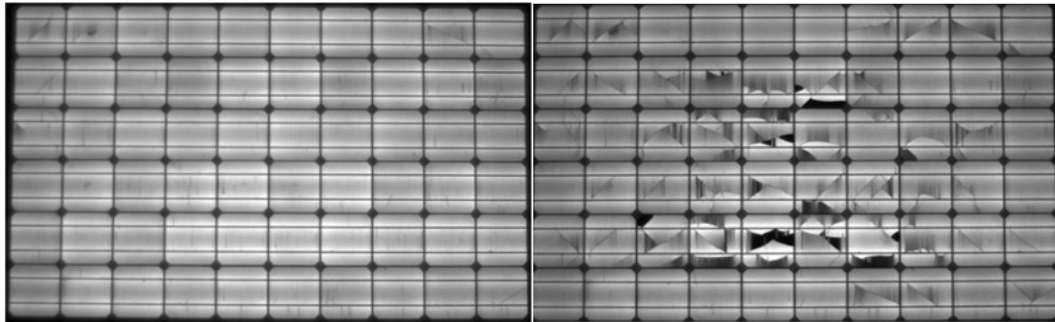
Oikean aurinkopaneelityypin valitseminen kesämökille saattaa olla haasteellista. Eri paneelityypit tarjoavat nimittäin parhaan suorituskyvyn erilaisissa olosuhteissa. Internetistä on kuitenkin mahdollista löytää erilaisia aurinkosähköjärjestelmän tuottoa seuraavia palveluita. Liitteestä 2 nähdään yksi esimerkki avoimesti seurattavasta aurinkosähköjärjestelmästä, jossa tehontuottoa verrataan eri paneelityyppien välillä reaaliaikaisesti. Nämä neljä erityyppistä paneelimalia on asennettu niin, että sääolosuhteet sekä paneeleihin liittyvät ominaisuudet kuten esimerkiksi kaapelointi ja kallistuskulma ovat identtiset. Näin ollen niiden tuottama teho on myös keskenään vertailukelpoista.

Aurinkopaneelissa käytettävästä teknologiasta riippumatta niiden elinikä on pitkä. Valmistajat lupaavat 10-12 vuoden tuotetakuita sekä 25-30 vuoden tehontuottotakuita. Tehontuottotakuu takaa, että vähintään noin 80 % maksimitehosta pystytään tuottamaan 25 käyttövuoden jälkeen. Paneelien erilaiset testaukseen liittyvät sertifikaatit ja pitkät takuuajat herättävät luottamusta, mutta käytännössä kuluttajan on haasteellista itse todeta, toimiiko paneeli niin kuin valmistaja on tyyppikilvessä luvannut.



Kuva 13. Esimerkki aurinkopaneelin takuuseen liittyvästä takuusta sekä sertifikaateista [30.]

Aurinkokennoihin liittyviä vikoja kuten aurinkokennoissa esiintyviä mikrohalkeamia ei paljaalla silmällä näe. Lisäksi vallitsevat sääolosuhteet ja aurinkopaneelien suuntaus, liikaisuus sekä varjoisuus vaikuttavat aurinkopaneelin kulloinkin tuottamaan tehoon. Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhde ei myöskään ole 100 % erinäisistä hävikeistä johtuen, joten Matti Meikäläisen on lähes mahdotonta havaita, mikä tai mitkä paneeleista eivät toimi valmistajan lupaamalla tavalla. Suomessa aurinkopaneelien puolueettomia testauspalveluita tarjoaa Turun ammattikorkeakoulu. Kyseiset palvelut sopivat etenkin tukkukauppiaille tai suurempien paneelimäärien omistajille.



Kuva 14. Aurinkopaneelien elektroluminesenssikuva ennen ja jälkeen kuormitustestin [31.]

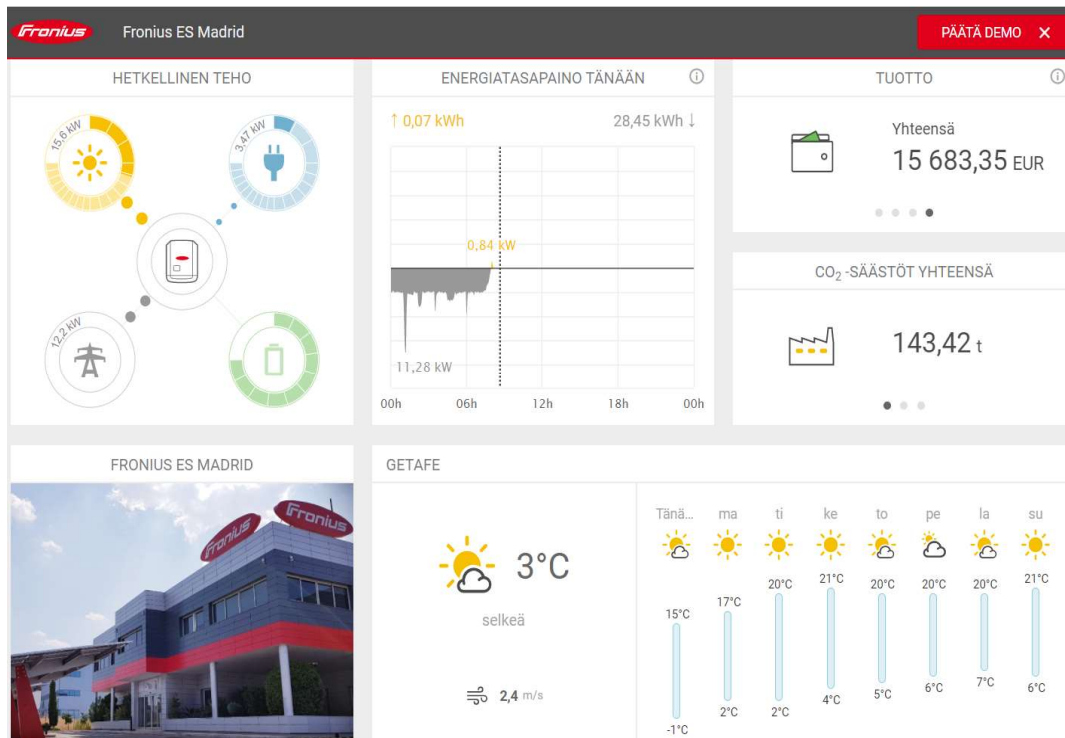
Herääkin kysymys, voisiko aurinkopaneelisiin integroida IoT-antureita, jolloin esimerkiksi paneelien tai niiden kennojen mahdolliset lämpötilaeroavaisuudet tai kosteusvauriot olisi mahdollista havaita? Kyseiset parannukset auttaisivat Mattia monitoroimaan energiantuottoaan sekä todistamaan mahdollisesti aurinkopaneeleissa ilmeneviä vikoja. Myös valmistajat voisivat saada käyttökelpoista dataa edelleen tuotekehityksessä hyödynnettäväksi. On toki otettava huomioon, että paneelit voivat kokea vaurioita valmistuksen lisäksi esimerkiksi kuljetuksessa, asennuksessa sekä luonnonvoimien johdosta.

3.2 Invertteri

Invertteri on yksi aurinkosähköjärjestelmän pääkomponenteista aurinkopaneelien ohella. Sähköverkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä invertteriä kutsutaan myös string- tai verkkoinvertteriksi, joka on vastuussa monitahoisista toiminnoista. Sen tärkeimpinä ominaisuuksina voidaan pitää aurinkopaneelien tuottaman tasavirran (DC) muuttamista sähköverkossa käytettäväksi vaihtovirraksi (AC). Lisäksi invertteri vastaa aurinkosähköjärjestelmän turvallisen toiminnan varmistamisesta sen käytön aikana.

Verkkoinverterit valvovat esimerkiksi julkista sähköverkkoa, jolloin normaalista poikkeavissa olosuhteissa, kuten verkkohäiriöissä tai -katkoksissa, ne katkaisevat syötön sähköverkkoon [32.]

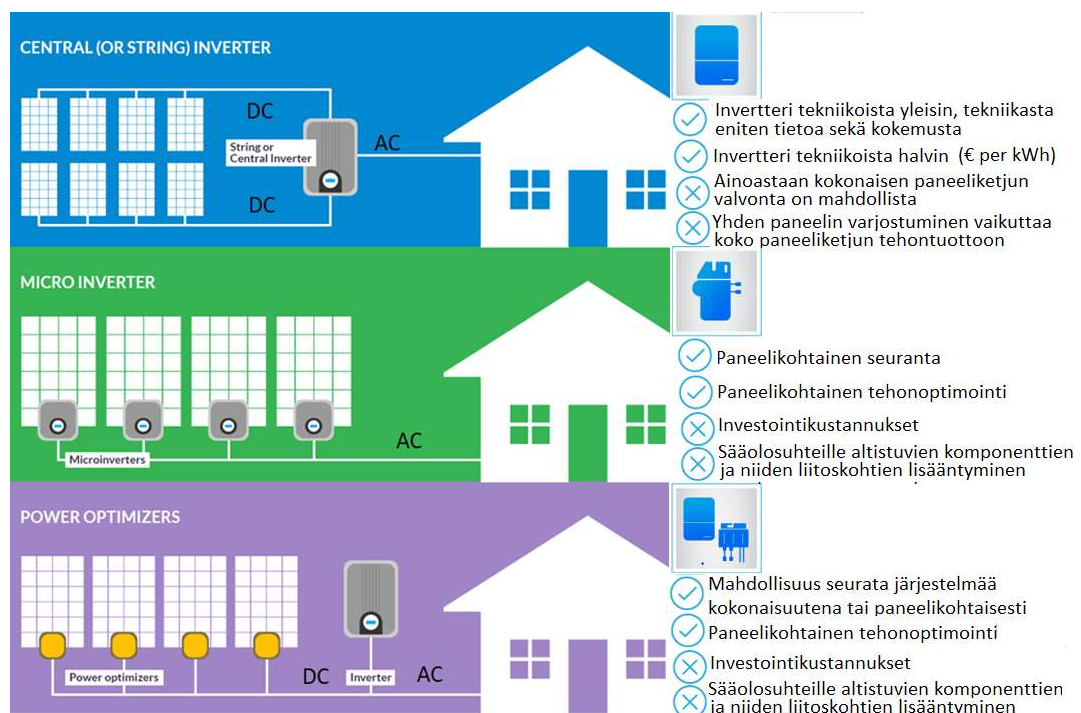
Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi modernit verkkoinverterit sisältävät MPPT (Maximum Power Point Tracker) säätimen. Säätimen avulla inverteri löytää siihen liitetyn paneeliketjun optimaalisimman toimintapisteen sääolosuhteista riippumatta. Näin ollen paneeliketjuista saadaan tuotettua aina paras mahdollinen teho. Jos MPPT-säätimiä on useita, paneeliketjut voivat sijaita eri ilmansuunnissa ilman, että ne vaikuttavat toistensa tuottamaan tehoon. Lisäksi nykyaikaiset verkkoinverterit pystyvät keräämään paljon dataa [32]. Etävalvonta onkin tärkeä työkalu aurinkosähköjärjestelmän suorituskyvyn seuraamisessa. Ilman yksityiskohtaista ja luotettavaa järjestelmän valvontaa kuluttajan on haasteellista tietää, toimiiko järjestelmä niin kuin pitää vai vaatiiko se jonkinlaista huoltoa, ja jos vaatii niin minkälaista? Monipuoliset tekniset ominaisuudet tuovat inverttereille myös omat haasteensa. Altistavatko useat siihen integroidut teknologiat invertterin vioille?



Kuva 15. Yksi esimerkki Fronius -verkkoinvertterivalmistajan etävalvonnan avulla nähtävästä datasta [36.]

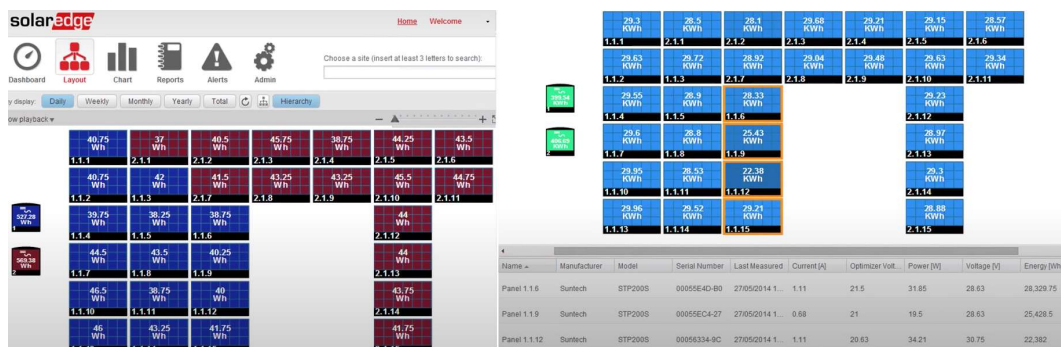
Verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä invertterin päätehtävänä on yksinkertaisimmillaan muuttaa akkuun varastoidun 12, 24, 36 tai 48 voltin tasasähkö 230 voltin vaihtosähköksi [21.] Kesämökille tai kiinteistöihin asennetuissa järjestelmissä voidaan käyttää vaihtoehtoisesti myös hybridi- tai monitoimilaitetta. Tämän tyyppisissä ratkaisuisa invertteri on yksi osa isompaa kokonaisuutta muun muassa lataussäätimen ja akkulaturin ohella. Kuluttajan ei siis halutessaan tarvitse ostaa kaikkia laitteita yksitellen vaan kaikki tarvittava on yhden kotelon sisällä. Tämä vähentää tarvittavaa kaapeloinnin määrää, jolloin myös tilaa saattaa säästyä.

Yllä mainittujen invertteri -tekniikoiden lisäksi on myös kaksi muuta tapaa, joilla paneelien tuottama tasasähkö saadaan muutettua 230 voltin verkkosähköksi. Yksi vaihtoehdoista on asentaa jokaiselle yksittäiselle aurinkopaneelille oma invertteri, jolloin niitä kutsutaan mikroinverttereiksi. Mikroinverttereitä käytettäessä jokainen siihen kytketty paneeli toimii omana itsenäisenä tuotantoyksikkönään. Mallista riippuen yhteen mikroinvertteriin voidaan yhdistää yhdestä neljään kappaletta aurinkopaneeleita. Tekniikan tarkoituksena on saada korkeampi sähköntuotto tilanteissa, joissa paneelit altistuvat esimerkiksi varjoille tai lialle. Haasteena ovat puolestaan aurinkosähköjärjestelmän nousevat investointikustannukset sekä mahdolliset ylläpito- ja huoltokustannukset, koska järjestelmän komponenttimäärä ja sitä myötä vikaantumiseen liittyvät riskit lisääntyvät [21.]



Kuva 16. Aurinkosähköjärjestelmän invertterityypit [37.]

Viimeisin vaihtoehto on asentaa aurinkosähköjärjestelmään tehnoptimoijat (power optimizer). Mikroinvertterien tapaan tehnoptimoijat asennetaan aurinkopaneelien alle, mutta sähkömuodon muuttamisen sijasta ne optimoivat paneelin tuottaman tasasähkön ja välittävät sen sitten invertterille. Tehnoptimoijilla pyritäänkin siis parantamaan paneelikohtaisesti järjestelmän hyötysuhdetta, jolloin myös koko aurinkosähköjärjestelmä toimii kokonaisuutena tehokkaammin. Suorituskyvyn parantamisen lisäksi nykyaikaiset tehnoptimoijat pystyvät keräämään dataa, mikä mahdollistaa paneelikohtaisen tuoton seurannan. Tästä nähdään esimerkki liitteessä 3, jossa paneelille osuvan varjostuksen vaikutus tehontuottoon voidaan havaita myös datan avulla. Kuluttaja voi siten halutessaan seurata sekä vertailla paneelien toimintaa keskenään eri sääolosuhteissa. Kuvasta 17 nähdään puolestaan esimerkki siitä, miten kuluttajalle voidaan datan avulla havainnollistaa aurinkosähköjärjestelmän reaaliaikaista tehontuottoa [21.]



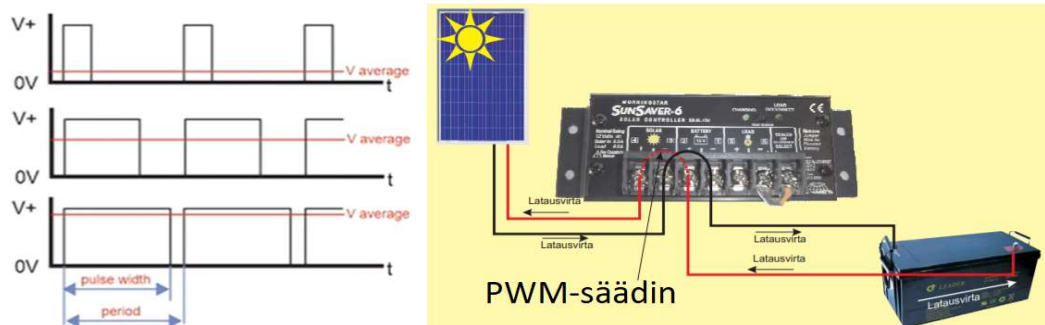
Kuva 17. Tehontuoton seuranta invertteri- ja paneelikohtaisesti [38.]

3.3 Lataussäädin

Lataussäädintä tarvitaan niihin aurinkosähköjärjestelmiin, joihin on kytketty akustoa. Sen tehtävänä on muuttaa aurinkopaneelien tuottama tasajännite ja -virta sellaiseen muotoon, että se soveltuu akuston lataamiseen. Lisäksi lataussäätimen avulla estetään akkujen yllilatautumista ja syväpurkautumista sekä mahdollisesti ohjataan akustolta virtaa suoraan 12 voltin kuormille. Markkinoilla on saatavilla usealta eri valmistajalta laaja kirjo sekä PWM- (Pulse-Width Modulation), että MPPT- (Maximum Power Point Tracker) tyyppin säätimiä. MPPT on näistä tekniikoista kehittyneempi ja sitä myötä myös kalliimpi vaihtoehto.

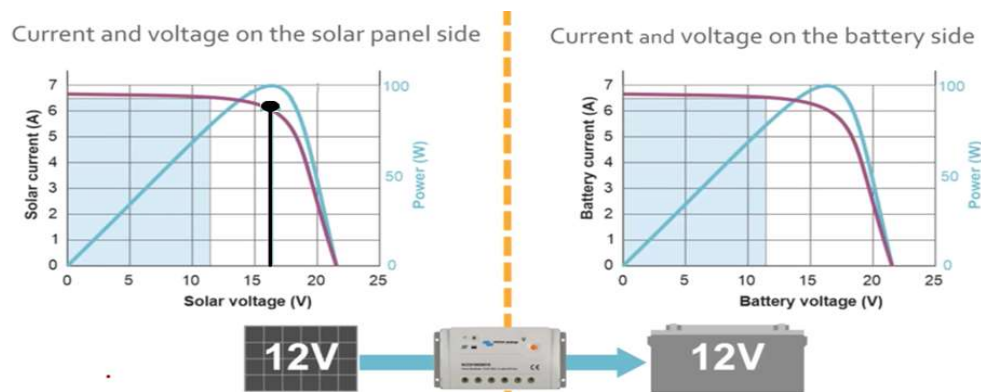
3.3.1 PWM-säädin (Pulse-Width Modulation)

Pulssinleveysmodulaatioon (PWM) pohjautuva säädin on oikeastaan kytkin tai katkaisija, joka sijoitetaan aurinkopaneelin ja akun väliin. PWM-säätimen tarkoituksena on tarvittaessa laskea aurinkopaneelin tuottamaa jännitettä samalle tasolle akun kanssa, jotta jännitteen määrä soveltuisi akun lataukseen ja esimerkiksi yllilataukselta välttyttäisiin akuston ollessa täynnä [39.]



Kuva 18. PWM-säätimen toimintaperiaate [39, 40.]

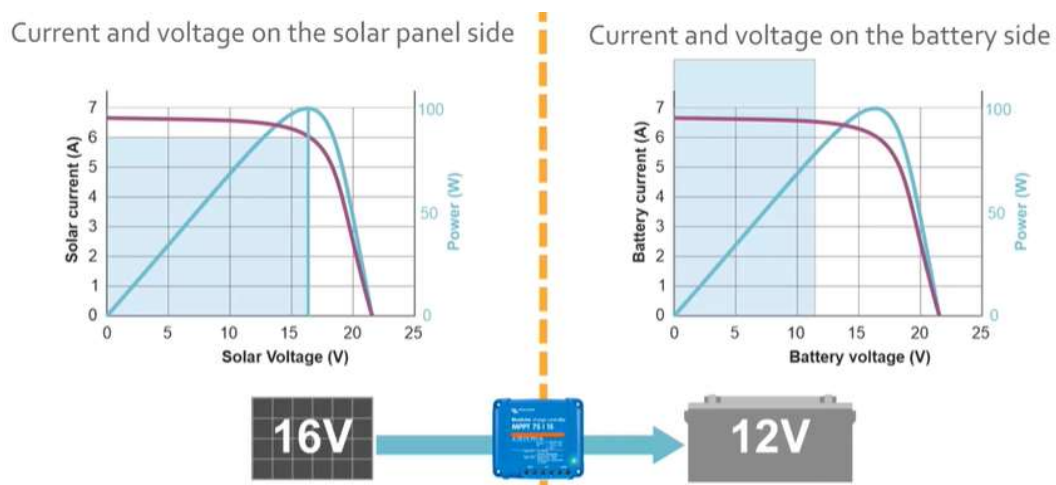
PWM-lataussäädin siis säätelee akuston jännitettä muuttamalla signaalin pulssisuhdetta lyhyemmäksi eli tässä tapauksessa akustoon päin kulkevan virran määrää pienemmäksi. Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhteen näkökulmasta PWM-teknologia ei ole optimaalisin vaihtoehto aurinkosähköjärjestelmien lataussäätimeksi, koska aurinkopaneeli tuottaa vähemmän tehoa matalilla jännitteillä. Tämä tulisikin ottaa huomioon aurinkopaneelien valinnassa, mikäli PWM-säädin valitaan käytettäväksi teknologiaksi. Alla olevassa kuvassa nähdään, että kyseisestä paneelista ($U_{MPP} \sim 17 \text{ V}$) olisi mahdollista tuottaa 20-30 % enemmän tehoa kuin mitä PWM-säädin ~ 12 voltilla pystyy tuottamaan [39.]



Kuva 19. PWM-säätimen virta- ja jännitearvot. Potentiaalinen tehontuotto vaaleansinisellä [39.]

3.3.2 MPPT-säädin (Maximum Power Point Tracker)

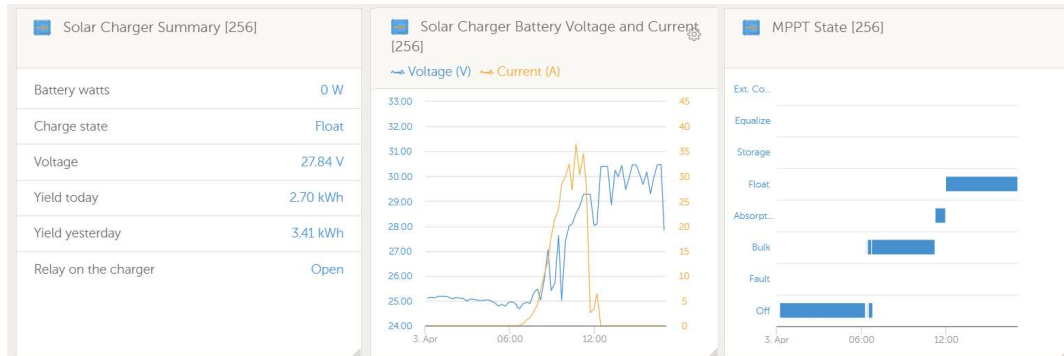
Aurinkopaneeleilla on olemassa selkeä maksimitehopiste (MPP, Maximum Power Point), jossa niiden tehontuotto on optimaalisinta. Kyseinen piste määräytyy tietyillä paneelin tuottamalla virran ja jännitteen arvoilla. Nämä vaihtelevat kulloistenkin käyttöolosuhteiden mukaan ja merkittävimmin niihin vaikuttavat paneeliin kohdistuva lämpötila sekä auringon säteilyn intensiteetti. Esimerkiksi pilvisuus vähentää paneeliin osuvaa säteilyn voimakkuutta, jonka seurauksena paneelissa kulkeva virta tippuu ja tehontuotto laskee. Laskeva lämpötila puolestaan nostaa aurinkopaneelin napajännitettä, jonka takia aurinkopaneeli pystyy tuottamaan paremmin tehoa. Jotta aurinkopaneeleista saataisiin jatkuvasti suurin mahdollinen teho irti, tulisi paneeli pitää maksimitehopisteessä riippumatta vallitsevien sääolosuhteiden vaihtelusta. Tästä syystä on kehitetty MPPT-säädin, joka algoritmien avulla säätää paneelin ulostulojännitettä siten, että toiminta on jatkuvasti mahdollisimman tehokasta [39.]



Kuva 20. MPPT-säätimen virta- ja jännitearvot. Potentiaalinen tehontuotto vaaleansinisellä [39.]

PWM-säätimistä poiketen MPPT-typin lataussäätimillä on mahdollista hyödyntää paneelin nimellisteho lähes kokonaisuudessaan ja nykyaikaiset säätimet pystyvätkin jopa ~98 prosentin hyötysuhteisiin. Tämä johtuu siitä, että MPPT-säätimet ovat käytännössä DC-DC muuntimia, joissa tehohäviötä syntyy ainoastaan lataussäätimen elektronikan ja kaapeloinnin muodossa [39.]

IoT:n luomat mahdollisuudet on jo pystytty kaupallistamaan nykyaikaisissa MPPT-lataussäätimissä. Alla olevasta kuvassa nähdään Victronin valmistama MPPT-säädin, johon liittyviä tietoja on mahdollista lukea esimerkiksi Victron Remote Management -portaalin (VRM) kautta [39.]



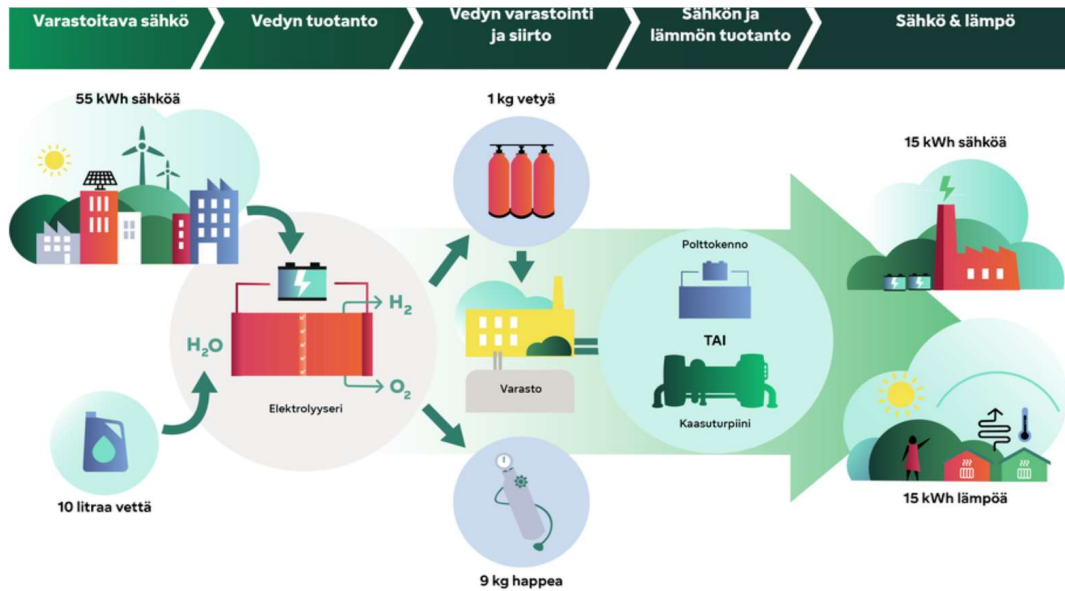
Kuva 21. Victronin MPPT-säätimen etäseuranta [39.]

3.4 Akusto

Aurinkosähköjärjestelmissä akustot ovat tehoonsa nähden kallis investointi. Ne ovat ratkaisuna kuitenkin käytännöllisin aurinkopaneelien tuottaman sähköenergian lyhytaikaiseen varastointiin. Etenkin kesämökeille ne soveltuvat hyvin, sillä akut ovat tehokkaimmillaan, kun niiden varastoimaa energiaa käytetään hyväksi tunti- ja päivätasolla. Talven kausikohtaiseen energian varastointiin ne eivät Suomessa tarjoa käytännön ratkaisua, vaan tällöin tarvitaan tueksi esimerkiksi varavoimageneraattoria [21.]

Perinteisesti kesämökeille asennetut akut ovat olleet lyijyakkuja, mutta nykyään litiumakut ovat yleistyneet ja niitä on hyvin tarjolla. Tyypillisesti off-grid järjestelmän akustolta toivottavia ominaisuuksia ovat muun muassa pitkä elinikä, vähäinen huollontarve, latauksen/purkautumisen hyötysuhde (%) sekä kokonaistaloudellisuus eli elinikään liittyvät kustannukset. Kokonaistaloudellisuudessa otetaan huomioon akun hankintahinta, odotettava elinikä sekä huollontarve [21.]

Tulevaisuuden pitkäaikaiseen kausivarastointiin mielenkiintoisin teknologia on puolestaan Power to X (P2X). Sen perustarkoitus on elektrolyysin avulla muuttaa päästöttömästi tuotettua ylijäämäsähköä toiseen energiamuotoon, kuten vedyksi. Tämän jälkeen vety voidaan muuttaa esimerkiksi synteettiseksi polttoaineeksi tai takaisin sähköksi. Jos tähän yhdistettäisiin vielä älykkäät sähköverkot, johon IoT yhtenä osa-alueena kuuluu, voisivat tulevaisuuden energiantuottojärjestelmät olla hyvinkin moniulotteisia.



Kuva 22. Power to X toimintaperiaate [41.]

3.4.1 Lyijyhappoakku (lead acid)

Kaikkien lyijyhappoakkujen toimintaperiaate on perusrakenteen sekä kemian puolesta samanlainen. Akut koostuvat positiivisesta ja negatiivisesta lyijylevystä, jotka on upotettu laimeaan rikkihappoon. Levyjen välillä tapahtuu kemiallinen reaktio, kun lyijyakkua joko puretaan tai varataan. Kun lyijyaku varattaessa lähestyy täyttä varaustilaansa, alkaa sivureaktiona syntyä vaarallista kaasua. Avoimissa lyijyakuissa kaasu vapautetaan ympäröivään ulkoilmaan, minkä johdosta niihin pitää säännöllisin väliajoin lisätä manuaalisesti tislattua akkuvettä. Suljetut lyijyakut eivät nimestään huolimatta ole täysin kaasutiiviitä vaan niihin on integroitu ylipaineventtiili (VRLA, valve regulated lead-acid), jonka avulla syntyneet kaasut voidaan tarvittaessa päästää ulos. Venttiilistä johtuen suljetut akut ovat helppokäyttöisiä sekä huoltovapaita ja ne soveltuvatkin hyvin aurinkosähköjärjestelmän energianlähteeksi [21.]

Lyijyakut ovat kuitenkin alttiita erilaisille häiriötekijöille, kuten syväpurkautumiselle, liian nopealle lataukselle, korkeille lämpötiloille sekä yli- ja alilataukselle. Itse akun rakenne ja syklistoisuus asettavat tietyt rajat lyijyakkujen käyttöiälle, mutta häiriötekijät lyhentävät käyttöikää entisestään, jos niitä ei oteta huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa. Pahimmassa tapauksessa häiriötekijät voivat jopa aiheuttaa ennenaikaisen

akkujen vikaantumisen tai käyttökelvottomuuden. Lisäksi kemiallisessa reaktiossa syntyvien kaasujen seurauksena sekä avoimen että suljetun akkutyyppin käytössä tulee huolehtia niiden riittävästä tuuletuksesta [21.]

Aurinkosähköjärjestelmään soveltuvat lyijyakut voidaan jakaa kahteen ryhmään paikallisten (putkilevyakku) ja syklikäyttöön (deep cycle) soveltuvien akkujen muodossa. Paikallisia akkuja on tarjolla sekä avoimina että suljettuina malleina, kun taas syklikäyttöön soveltuvat geeli- ja AGM-akut valmistetaan suljettuina malleina [21.]

3.4.2 Litiumakku

Litiumakku on terminä laaja ja se kattaa lukuisia ominaisuuksiltaan erilaisia litiumpohjaisia akkuteknologioita. Etenkin litiumioniakkujen käyttöaste on kasvanut viime vuosina voimakkaasti, koska ne ovat laajasti käytössä oleva akkutyyppi niin kulutuselektronikassa kuin ajoneuvoteollisuudessakin. Lyijyakkuihin verrattuna litiumioniatkut ovat painoltaan selkeästi kevyempiä, ja niillä on sekä suurempi teho- että energiatiheys [21.] Turvallisuuden näkökulmasta hyvä energiatiheys tuo myös omat haasteensa paloturvallisuuden muodossa. Vahingoittumaton litiumioniakku on käytössä turvallinen, mutta jos se pääsee ylilatautumaan tai muulla tavalla vaurioitumaan, voi akussa käynnistyä niin sanottu lämpökarkaaminen, joka johtaa lopulta akun palamiseen [42.]

Chemistry	Voltage	Energy Density	Working Temp.	Cycle Life	Safety	Environmental	Cost based on cycle life x wh of SLA
LiFePO ₄	3.2V	>120 wh/kg	-20-60 °C	>2000(0.2C rate, IEC Standard)	Safe	Good	0.15-0.25 lower than SLA
Lead acid	2.0V	> 35wh/kg	-20 - 40°C	>200	Safe	Not good	1

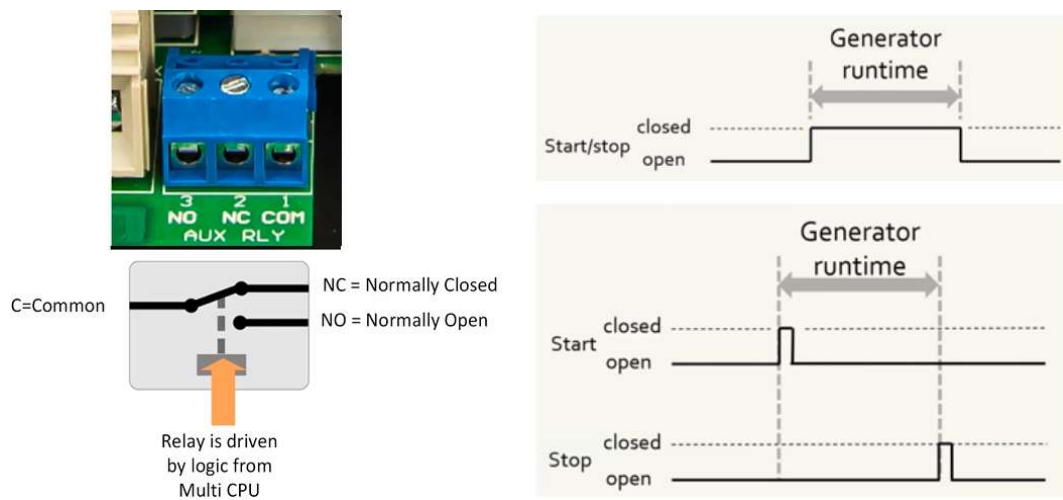
Kuva 23. Lyijy- ja litiumakun ominaisuuksia [43.]

Aurinkosähköjärjestelmissä litiumioniakkuihin liittyviä ominaisuuksia, kuten purku- ja latausvirtoja, lämpötilaa sekä jännitteitä olisi hyvä seurata akustonhallintajärjestelmän (BMS, battery management system) avulla. Sen tarkoituksena on seurata sekä suojata akun jokaista yksittäistä kennoa, jotta akun lataaminen ja purkaminen tapahtuisi turvallisesti. Turvallisuuden lisäksi myös käyttöikä pitenee [39.]

3.5 Aggregaatti

Aggregaatti on laite, jonka avulla voidaan tuottaa sähköä. Aggregaatteja on saatavilla useassa eri teho- sekä kokoluokassa ja ne voivat käyttää käyttövoimanaan joko bensiniä, dieseliä tai kaasua. Aurinkosähköjärjestelmissä aggregaatti toimii usein akuston varavirtalähteenä. Tällöin sen tarkoituksena on suojata akustoa, jotta se ei tyhjenisi liikaa. Aggregaatin avulla voidaan myös täydentää järjestelmän toimintavarmuutta, koska aurinkosähkö on riippuvainen vallitsevasta sääolosuhteesta sekä vuorokaudenajasta.

Aggregaatti voidaan käynnistää sekä manuaalisesti että automaattisesti ohjaussignaalin avulla. Esimerkiksi osaan Victronin valmistamista tuotteista on integroitu rele tai kytkin, jonka avulla aggregaatin automaattinen sammuttaminen sekä käynnistäminen on mahdollista tehdä. Releen avulla ohjaus voidaan toteuttaa joko yhdellä start/stop-signaalilla tai niin, että start/stop-signaali muunnetaan kahdeksi eri signaaliksi. Tällöin tosin edellytetään lisäpalikoiden asentamista eli rele ei yksinään riitä [39.]



Kuva 24. Joihinkin Victronin tuotteisiin integroitu toiminto, jonka avulla voidaan tuottaa ohjaussignaali esimerkiksi generaattorin ohjaukseen [39.]

Esimerkkinä mainittakoon Victronin BMV-sarjan akkumonitori, josta kyseinen start/stop ohjaussignaali löytyy. Yksinkertaisimmillaan sitä voitaisiin käyttää hyödyksi yhdistämällä se suoraan aggregaatin ohjausyksikköön [39.] Todennäköisesti kaupallisissa tuotteissa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista vaan lisäpalikoille on tarvetta. Määrättyihin aggregaatteihin on myös mahdollista asentaa erillinen kitti, joka mahdollistaa aggregaattien ulkoisten ohjaussignaalien käytön.

Suomen markkinoilla ei vaikuta ainakaan tällä hetkellä olevan pieniin aurinkosähköjärjestelmiin soveltuvia aggregaatteja, joihin Victronin kyseistä ominaisuutta voisi helposti käyttää hyödyksi. Lisäksi ominaisuuden käyttöönotto vaatisi erinäisten parametrien ja arvojen konfiguroimista, jotka tehdään Victronin omassa mobiiliapplikaatiossa. Kuluttajan näkökulmasta idea onkin hyvä, mutta vaatii käytännön osaamista. Voisiko yhtenä ratkaisuvaihtoehtona olla esimerkiksi Victronin ja akkuvalmistajien välinen yhteistyö, jonka myötä Victronin kotisivuille tai itse akkuihin lisättäisiin QR-tarra? Tällöin kuluttaja voisi mobiilisovelluksen avulla ensin lukea ja sitten tallentaa akkuun liittyvät parametrit suoraan Victronin mobiiliapplikaatioon. Vaihtoehtona voisi olla myös QR-koodin takana oleva opetusvideo, jonka avulla laitteen konfigurointi ja käyttöönotto olisi käytännöllisempää.

4 Mökin aurinkosähköjärjestelmän nykytila

Tutkimuksen kohteena oleva kesämökki sijaitsee Etelä-Karjalan maakunnassa. Mökki on rakennettu vuonna 2006 ja sitä käytetään aktiivisesti keväästä syksyyn. Aurinkosähköjärjestelmän hankinta oli jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa selvää, sillä mökin käyttömukavuutta haluttiin parantaa, mutta mökin liittäminen sähköverkkoon ei ollut taloudellisesti järkevää eikä todennäköisesti ylipäättään mahdollista. Alkuperäinen aurinkosähköjärjestelmä suunniteltiin ja mitoitettiin niin, että sen avulla voitiin ladata mobiililaitteita, käyttää sisävalaistusta sekä katsella televisiota.

Aluksi aurinkosähköjärjestelmä täytti mökin omistajien toiveet. Se havaittiin käytännölliseksi ja toimivaksi, mutta ruokahalu kasvoi syödessä. Aurinkosähköjärjestelmää päätettiin laajentaa 2010-luvun alkupuolella, sillä kesämökille haluttiin asentaa kompresiojäälämpäin. Lisäksi haluttiin ottaa käyttöön myös muuta kodin elektroniikkaa, kuten imuri, kahvinkeitin ja hiustenkuivain.

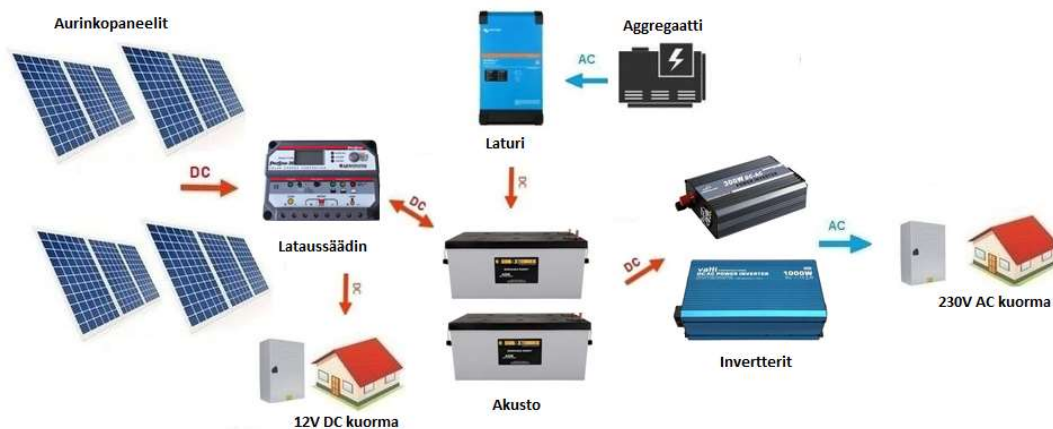
4.1 Mökin omistajien kehitystoiveet

Mökin omistajilla ei ole mitään erityisiä kehitystoiveita nykyiselle aurinkosähköjärjestelmälle, mutta akkuihin toivottaisiin lisää kestävyyttä. Omistajien mielestä järjestelmän etähallinta ja -monitorointi ei olisi pahitteeksi, mutta he tulevat toimeen ilmankin. Lähinnä omistajia mietityttää se, mitä lisäarvoa suhteessa kustannuksiin kyseiset etähallinta- ja monitorointiominaisuudet voisivat tuoda.

Kartoituksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että omistajilla ei ole tekniikan alaan liittyvää harrastuneisuutta. Tästä johtuen mahdollisesti hankittavien tuotteiden tulisi olla mahdollisimman helposti asennettavia ja käyttöönotettavia. Mahdollisissa tuote-, tuki-, takuu- tai huoltokysymyksissä mökin omistaja haluaa kommunikoida suomen kielellä. Näin ollen isot ulkomaiset verkkokauppayhtiöt, kuten esimerkiksi Amazon, eBay ja Alibaba, joissa on laaja kirjo tuotteita, eivät tule kysymykseen. Esittelenkin työssäni ainoastaan Suomesta saatavilla olevia tuotteita.

4.2 Mökin aurinkosähköjärjestelmän komponentit

Aurinkosähköjärjestelmään sisältyy kokonaisuudessaan neljä aurinkopaneelia, kaksi invertteriä, PWM-lataussäädin, kaksi AGM-akkaa sekä tarvittaessa akun lataukseen osallistuvat aggregaatti ja laturi. Lisäksi mökiltä löytyy tuuliturbiini ja sen lataussäädin, mutta niiden käsittely on rajattu työni ulkopuolelle. Liitteestä 1 nähdään mökin järjestelmän sähkökaavio. Liitteestä 1 poiketen kesämökillä on nykyään 2 x 305 Ah akusto 3 x 200 Ah akuston sijasta. Liitteen 1 sähkökaaviosta puuttuvat aggregaatti ja laturi.



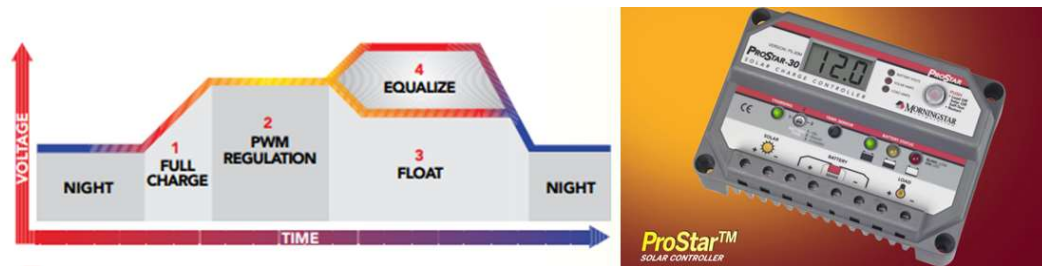
Kuva 25. Kuvituskuva kesämökin aurinkosähköjärjestelmästä.

4.2.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleita on asennettu kesämökille yhteensä neljä. Nämä pystyvät teoriassa tuottamaan noin 550 watin nimellisen yhteistehon. Tämä ei kuitenkaan käytännössä ole mahdollista sillä puolet paneeleista on suunnattu etelään ja puolet länteen. Kolme paneeleista on sinisiä monikidepaneeleita ja yksi on musta yksikidepaneeli. Aurinkosähköjärjestelmän alkuperäiset paneelit (2 kpl) on asennettu mökin katolle noin 45 asteen kulmaan. Loput kaksi on asennettu jälkikäteen maa-asennuksena mökin rantaan.

4.2.2 Lataussäädin

Aurinkosähköjärjestelmän lataussäätimenä toimii PWM-tyyppinen Morningstarin ProStar 30, version PS 30 M. Se on asennettu aurinkosähköjärjestelmän asennuksen yhteydessä vuonna 2007 ja mökin omistajat ovat olleet sen toimintaan hyvin tyytyväisiä. Valmistajan datalehden mukaan lataussäätimen arvioitu käyttöikä on noin viisitoista vuotta, joten aurinkosähköjärjestelmän kehittämisen kartoitus on tästä näkökulmasta ajankohtainen.



Kuva 26. Kesämökin nykyinen lataussäädin ja sen nelivaiheinen latausmenetelmä [44.]

ProStar käyttää kyseisessä mallissaan nelivaiheista akuston latausta. Ensimmäisessä eli "full tai bulk charge" vaiheessa akkua ladataan aurinkosähköjärjestelmän tuottamalla maksimivirralla. Akkuja ladataan tällä maksimivirralla siihen saakka, kunnes akuston jännite saavuttaa ennalta asetetun rajan (absorption voltage). Esimerkiksi nyt käytössä oleville AGM-akuille optimaalisin asetusarvo olisi 14.2-14.4 voltin välillä. Nykyinen PWM-säädin aloittaa pulssituksen 14.15 voltin kohdalla [44.]

Toisessa vaiheessa säädin alkaa rajoittamaan akkuihin menevän virran määrää jännitteen pysyessä 14.15 voltin asetusarvossa. Jännitettä pidetään vakiona, kunnes latausvirta pienenee hyvin pieneen arvoon. Nykyisiä Concorden Sun Xtender akkuja voidaan pitää täyteen ladattuina, kun ladattavan virran määrä laskee 0,5 prosenttiin 258 ampeeritunnin akkukapasiteetista ($0.005 * 258 = 1,29 \text{ A}$). Absorptiovaihe kestää tyypillisesti kahdesta neljään tuntia ennen kuin virta saavuttaa tämän tason [44, 45.]

Kun PWM-säädin havaitsee akkujen olevan täynnä, se siirtyy float-tilaan, jossa akuston 100% lataustilaa ylläpidetään "kellutusjännitteen" avulla. Kellutusvaiheessa latausjännitettä lasketaan alempaan arvoon, jotta akuston ylikuormituksen todennäköisyys minimoituu. Nykyinen asetusarvo säätimelle on 13.7 voltia kun akustolle optimaalisin olisi 13.2-13.4 voltia [44.]

Equalizingin eli tasaustilan tarkoituksena on tasapainottaa akun tai akustojen sisäiset ~2 voltin kennot. Tämä toteutetaan nostamalla latausjännitettä sen jälkeen, kun akku on jo ladattu täyteen. Tasaus on suoritettava säännöllisesti, jotta voidaan varmistua siitä, ettei akuston kennoissa esiinny epätasapainoa.

Kesämökille asennetun akuston datalehdessä equalize tilaa kutsutaan ”conditioning” tilaksi. Sitä tulisi käyttää hyödyksi silloin, kun akuston kapasiteetin on havaittu pienentyneen tai kun sarjaan kytkettyjen akkujen kellutusjännitteet osoittavat liiallista vaihtelua. Näin saattaa tapahtua, jos akkujen annetaan olla liian pitkään alhaisessa lataustilassa tai jos akkuja aliladataan toistuvasti, eli niitä ei ladata täyteen välittömästi sen jälkeen, kun niitä on käytetty [39, 44, 45.]



Kuva 27. Concorden Sun Xtender 12 voltin akku koostuu kuudesta noin kahden voltin kennosta, jotka on kytketty sarjaan [45.]

Akkujen latauksessa käytettävät jännitearvot ovat lisäksi lämpötilariippuvaisia, joten säätimien tulisi ottaa huomioon lämpötilankompensaatio. Tämä ominaisuus nykyisestä säätimeistä myös löytyy [44.]

Table 5-1 Recommended Charge Voltage Settings

	Absorption Voltage at 25°C (77°F)	Float Voltage at 25°C (77°F)
Volts per Cell	2.37 - 2.40V	2.20 - 2.23V
For 12V System	14.2 - 14.4V	13.2 - 13.4V
For 24V System	28.4 - 28.8V	26.4 - 26.8V
For 48V System	56.8 - 57.6V	52.8 - 53.6V

Battery Voltage Setpoints*

	Gel	Sealed	Flooded
Regulation Voltage	14.0	14.15	14.4
Float	13.7	13.7	13.7
Equalization	n/a	14.35	14.9/15.1
Load Disconnect	11.4	11.4	11.4
Load Reconnect	12.6	12.6	12.6

Note: values are for 12V. Use 2X for 24V and 4X for 48V.

Kuva 28. Nykyiseen lataussäätimeen ja akustoon liittyviä parametrejä [44, 45.]

4.2.3 Invertteri

Kesämökille on asennettu kaksi invertteriä. Niistä pienempi pystyy tuottamaan 300 W ja isompi 1000 W tehon. Sähkökulutuksen monipuolistuessa ja lisääntyessä inverttereistä pienempi on jäänyt vähemmälle käytölle suuremman ollessa pääasiallisessa käytössä. Omistajat ovat kuitenkin huomanneet, että kaikkia mökiltä löytyviä sähkölaitteita ei voi käyttää samanaikaisesti. Syynä tähän on se, että isommankaan invertterin teho ei yksinkertaisesti riitä.

4.2.4 Akusto

Kesämökille on tällä hetkellä asennettuna kaksi Concorden Sun Xtender PVX-2580L AGM-akkuja, jotka on kytketty rinnan. Akkuja säilytetään ympärivuotisesti ulkotiloissa erillisessä säilytyslaatikossa. Säilytyslaatikko antaa suojaa muuttuvilta sääolosuhteilta mahdollistaen samalla erinomaisen ilmanvaihdon. Laatikko on sijoitettu mökin alle mahdollisimman lähellä lataussäädintä sekä inverttereitä. Mikäli akkuihin haluaa päästä käsiksi, on kiskoilla kulkevaa säilytyslaatikkoa vedettävä ulos arviolta kolmen metrin verran. Näin ollen asennettujen akkukaapeleiden poikkipinta-ala ei välttämättä ole ihan optimaalisin.

Akkukaapeleiden mitoituksessa on otettava huomioon niiden fyysinen pituus ja niissä kulkevan virran suuruus, jotta siirtohäviöt saataisiin minimoitua. Tämä saattaa aiheuttaa myös haasteita aurinkosähköjärjestelmän kehittämiseksi. Kaapeli on sitä kalliimpaa, mitä paksumpaa se on, joten onko kaapeleiden mitoituksessa otettu huomioon tai jätetty ”vara” aurinkosähköjärjestelmän mahdolliselle laajentamiselle?



Kuva 29. Concorden Sun Xtender PVX-2580L AGM-akku [45.]

Eri akkuvalmistajien käyttöohjeista voitaneen päätellä, että valmistajat tyypillisesti ilmoittavat akkuja markkinoidessaan akkukapasiteetin vastaamaan 20 tunnin purkausarvoja.

Mikäli akkua myydään esimerkiksi "100 Ah" akkuna niin silloin siitä voidaan ottaa 5 ampeerin virtaa 20 tunnin ajan.

$$5A * 20 h = 100 Ah$$

Kuva 30. Kuvitteellisen akun purkausaika

Kesämökin omistajalta saatujen kuittien perusteella nykyinen akusto on myyty 305 ampeeritunnin kokoisena. Tämä on mielestäni ollut harhaanjohtavaa, koska PVX-2580L käyttöohjeen lähempi tarkastelu osoittaa, että jos akut markkinoitaisiin 24 tunnin purkausajalla niin akkukapasiteetti olisi 258 Ah eikä 305 Ah. Akkujen jälleenmyyjän toiminnan voisi jopa hieman kyseenalaistaa, koska todellinen akkukapasiteetti on tippunut mökillä 600 ampeeritunnista noin 510 ampeerituntiin. Laskua on tapahtunut siis 15 prosenttia, vaikka mökin omistajan tavoite on ollut pitää kapasiteetti ennallaan akkujen vaihdon yhteydessä. Myös PVX-2580L tuotenimestä voinee päätellä, että akunvalmistaja mieltänee akkukapasiteetin "markkinointiluvuksi" 258 Ah eikä 305 Ah. Alla oleva taulukko näyttää miten purkausnopeus vaikuttaa PVX-2580L akkujen käytettävissä olevaan akkukapasiteettiin.

Sun Xtender® PVX-2580L Solar Battery Specifications

Industry Reference	Voltage	Nominal Capacity Ampere Hours @ 25° C (77° F) to 1.75 Volts per cell										Length		Width		Height		Weight	
		1 Hour Rate	2 Hour Rate	4 Hour Rate	8 Hour Rate	24 Hour Rate	48 Hour Rate	72 Hour Rate	100 Hour Rate	120 Hour Rate	in	mm	in	mm	in	mm	Lbs	Kg	
		Group 8D	12v	165 Ah	209 Ah	214 Ah	236 Ah	258 Ah	285 Ah	295 Ah	300 Ah	305 Ah	20.76	527	10.89	277	9.77	248	159

Kuva 31. PVX-2580L AGM-akun purkausajat [45.]

Mielestäni olisikin asianmukaista tuotetta yksityishenkilölle markkinoidessa huomioida akkujen kapasiteetteihin liittyvät yleiset "markkinointikäytännöt" ja tuoda esiin 20-tunnin purkausarvot. Kuluttajalle, jolla tekniikan alaan liittyvää harrastuneisuutta ei ole, on lähes mahdotonta huomata ja kyseenalaistaa myyjän antamia tietoja. Akustot ovat kuitenkin aurinkosähköjärjestelmien kallein yksittäinen komponentti.

Kesämökillä olevien AGM-akkujen mitoituksessa on otettava huomioon niihin liittyvät tyyppiominaisuudet. AGM-akut tulisi yleensä mitoittaa mökille siten, että nimelliskapasiteetti on vähintään kaksinkertainen kuorman edellyttämään kapasiteettiin verrattuna.

Tämä lähestymistapa rajoittaa keskimääräisen purkaussyvyyden 50 prosenttiin, mikä pidentää huomattavasti akun käyttöikä. Nykyinen käytössä oleva akkukapasiteetti on siis ~250 Ah, koska rinnakkain kytkettyjä akkuja on kaksi kappaletta ja niistä on molemmista ”käytävissä” 50 % nimelliskapasiteetista. Lisäksi on hyvä tiedostaa aikaisemmin jo todettu purkausnopeuden vaikutus akkukapasiteetin määrään. Eli mitä suuremmalla virralla akkuja kuormitetaan, sitä pienempi on käytössä oleva akun nimelliskapasiteetti.

Liitteiden 5 ja 6 pohjalta voidaan todeta, että käyttäjien toimesta akun käyttöikä olisi mahdollista pidentää, jos purkaus/lataus syklin kesto sekä sen vaatima virtamäärä ja sitä kautta myös akun nimelliskapasiteetin tippuminen olisivat mahdollisimman vähäisiä. Käytännössä tämä tapahtuisi käyttömukavuuden kustannuksella, joten sitä on turha edes miettiä. Sähkönkulutuksesta saatavilla oleva data ja sen analysointi saattaisivat kuitenkin muuttaa tilannetta olettaen, että käyttäjät edes haluaisivat optimoida milloin ja minkä verran sähköä ”kannattaa” kulloinkin kuluttaa. AGM-akkujen käyttöiän pituuteen liittyy myös akun toiminta- ja ympäristölämpötila, mutta näihin ei mökin omistajien puolesta ole mahdollista vaikuttaa.

- The cycle starts when the battery is full
 - the battery is discharged
 - the battery is recharged
- The cycle ends when the battery is full again



Kuva 32. Lyijyakun purkaus-/lataussykli [39.]

4.2.5 Aggregaatti

Aggregaatti on asennettu kesämökille vuonna 2013. Aggregaatti on teholtaan 2,6 kW ja sen päätarkoituksena on ollut turvata sähkönsaanti tilanteissa, jossa mökillä oleskellaan pidempiä aikoja kerrallaan tai kun sääolot ovat aurinkosähkön kannalta epäsuotuisat

useita päiviä peräkkäin. Aggregaatti on ollut muutenkin hyvä lisäys aurinkosähköjärjestelmään, sillä siihen on ollut tarpeen vaatiessa mahdollista kytkeä myös pientyökoneita.

4.3 Nykyisen järjestelmän haasteet

Kesämökille on asennettu sekä sähkö- että kaasujääkaappi. Sähkijääkaappia käytetään ensisijaisesti sen nopeamman kylmenemisen sekä suuremman koon vuoksi. Tarvittaessa vaihto sähkijääkaapista kaasujääkaappiin kestää useita tunteja kaasujääkaapin hitaan kylmenemisen vuoksi. Näin ollen vaihtoa joutuu ennakoimaan hyvissä ajoin, mikäli säät näyttävät epävakailta. Akuston käyttökapasiteetti tai varsinkin se, onko käytävissä olevan sähkön määrä nouseva vai laskeva, on nykyisellä lataussäätimellä hyvin haastavaa todentaa.

Akuston nykytila ilmoitetaan lataussäätimen näytöllä napajännitteen avulla. Tämä luku on ainoastaan suuntaa antava, koska käytettävien sähkölaitteiden kuorma ja aurinkopaneelien avulla tehtävä lataus eivät ole stabiileja. Jos haluttaisiin mahdollisimman tarkka tieto akuston nykytilasta, tulisi akuston olla "Open circuit voltage" tilassa, eli kokonaan aurinkosähköjärjestelmästä irti kytkettynä. Lähimpänä vastaavaa tilannetta ollaankin ainoastaan aikaisin aamulla, mikäli aurinko ei ole vielä noussut ja sähkijääkaappi ei ole ollut yön aikana päällä. Mahdollisuus seurata akkukapasiteetin todellista tilannetta toisikin helpotusta ja lisäarvoa nykytilanteeseen.

Kesämökin käyttöasteen sekä mökin käyttäjien määrän lisääntyessä myös sähköntarve kasvaa. Todennäköistä on, että tulevaisuudessa mökkiä käyttää yhtäaikaisesti useampi henkilö ja siellä tullaan myös oleskelemaan pidempiä aikoja yhtäjaksoisesti. Nykyisessä aurinkosähköjärjestelmässä on ollut huomattavissa varsinkin säiden puolesta huonoimpina kesinä, että sen tuottama teho ei riitä, mikäli useampi käyttäjä oleskelee mökillä yhtäjaksoisesti pidempiä aikoja. IoT:n avulla esimerkiksi sähkökulutukseen, käyttäjämääriin sekä säätietoihin liittyvät datat voitaisiin yhdistää. Näin ollen mökin omistajat saisivat paremman kokonaiskuvan vallitsevasta tilanteesta. Onko nykyinen aurinkosähköjärjestelmä mitoitettu oikein kasvavaan käyttäjämäärään sekä Suomen vaihteleviin sääolosuhteisiin suhteutettuna?

4.4 Muut kehitysmahdollisuudet

Mökiltä löytyy aurinkosähköjärjestelmän lisäksi muitakin kohteita, joiden nykyaikaistamista voisi IoT:n avulla pohtia. Nämä on listattu alla. Mökin omistajat eivät näe tarpeelliseksi mitata rakennuksen lämpötilaa tai kosteutta etäyhteyden avulla. Kartoituksessa on hyvä ottaa huomioon, että silloin kun mökillä ei oleskella, niin siellä ei myöskään ole saatavilla invertterin tuottamaa 230 voltin vaihtojännitettä.

- Käytettävä juomavesi pumpataan rengaskaivosta, jonka pinnan korkeutta ei tällä hetkellä tiedetä. Reaaliaikainen mittaus toisi varmuuden ja tiedon, miten paljon juomavettä on kulloinkin jäljellä.
- Mökin valvonnasta vastaa riistakamera, jota ohjataan tekstiviestein. Kameraan on asennettu 2G-liittymä. Liikkeen havaitessaan kamera lähettää automaattisesti sähköposti-ilmoituksen sekä valokuvan sähköpostiin. Valvontajärjestelmän parantamista voitaisiin harkita.
- Mökillä käytetään nestekaasulla toimivaa liettä sekä jääkaappia. Turvallisuuden näkökulmasta nestekaasun pitoisuuksia huoneilmassa olisi hyvä monitoroida 24/7. Näin ollen mahdollisesti vikaantuvista laitteista tai niiden vuotavista letkuista sekä liitoksista saataisiin varoitus välittömästi.

5 Kehittämissuunnitelma

Sähköä on tarvittu mökillä alun perin vain vähäisiä määriä, pääasiassa valaistukseen sekä mobiililaitteiden lataamiseen. Vuosien saatossa sähkön tarve on kuitenkin lisääntynyt kesämökin käyttöasteen kasvaessa sekä käyttäjämäärän lisääntyessä. Näin ollen mökin omistajalla on nykytilanteessa haasteita hahmottaa, kuinka paljon mökillä kulutetaan sähköä ja minkä verran akkukapasiteettia on kulloinkin vielä käytössä. Nykyisen lataussäätimen digitaalinäyttö kertoo kyllä akuston napajännitteen, mutta sen perusteella ei pysty tekemään luotettavia päätelmiä siitä, kuinka paljon akkukapasiteettia on vielä käytettävissä.

Omistajan ensisijainen toive oli, että akkuihin saataisiin lisää kestävyyttä. Niinpä kehittämissuunnitelma on hyvä aloittaa akustosta. AGM-akuston akkukapasiteetin seuranta lä-

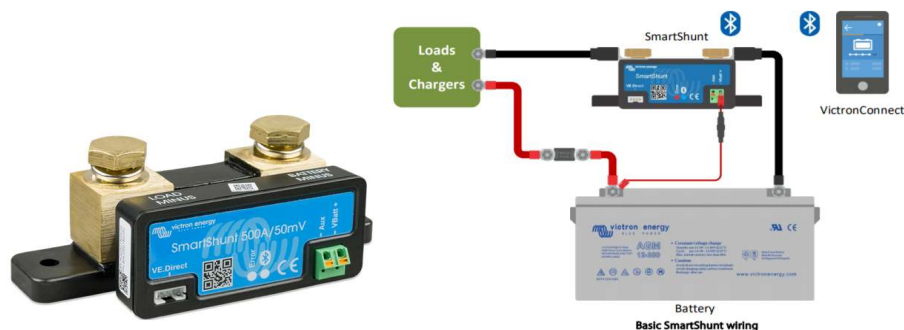
hes reaaliajassa auttaisikin mökin omistajaa ja muita käyttäjiä ennakoimaan mökillä tapahtuvaa sähkönkulutusta. Näin ollen voitaisiin esimerkiksi välttyä akuston turhalta raskauttamiselta ja kytkeä aggregaatti manuaalisesti päälle jo hyvissä ajoin ennen, kuin akuston jäljellä oleva kapasiteetti lähestyy 50 %. Näin ollen akuston käytön ”vahtiminen” voisi tuoda mahdollisia säästöjä muun muassa akkujen pidentyneenä käyttöikänsä, sillä akusto ei altistuisi käyttäjien toimesta turhille riskitekijöille. Lisäksi akkumonitorilla voitaisiin tarkkailla nykyisten aurinkopaneelien ja varsinkin noin 15 vuotta vanhojen lataussäätimen sekä aurinkopaneelien toimintaa.

Olen tutustunut eri valmistajien tuotteisiin ja tullut siihen tulokseen, että suosittelisin työn kohteena olevan kesämökin aurinkosähköjärjestelmän kehittämiseen ja parantamiseen seuraavia Victronin valmistamia tuotteita. Tulen jäljempänä perustelevaan jokaisen tuotteen valinnan ja mahdollisen sopivan ajankohdan niiden hankkimiseksi. Jäljempänä perustelen myös mitä hyötyjä tuotteiden hankinnan keskittämisestä yhteen valmistajaan on. Alle esittelen kaksivaiheisen suunnitelmani järjestelmän kehittämiseksi ja laajentamiseksi.

5.1 Aurinkosähköjärjestelmän ensimmäinen laajennusvaihe

Nykyisen akuston tarkkailuun soveltuisivat mielestäni Victronin SmartShunt 500A tai BMV-sarjan akkumonitorit. Näistä kahdesta vaihtoehdosta tulen tarkastelemaan lähemmin ensimmäisenä mainittua tuotetta. Tuotteet maksavat noin 150-200 € ja niillä on 5 vuoden takuu. Akkumonitorien avulla mökin käyttäjät voisivat nähdä akuston toimintaan olennaisesti liittyvät parametrit visuaalisessa ja helpommin ymmärrettävässä muodossa.

Kyseiset tuotteet eivät yksilöinä toimiessaan automaattisesti suojaisi, huolehtisi tai automatisoisi aurinkosähköjärjestelmän tai akuston toimintaa, vaan niiden tuottaman datan avulla olisi tarkoitus paremmin hahmottaa aurinkosähköjärjestelmän nykytila. Datan avulla olisi myös mahdollista tehdä reaaliaikaisia päätöksiä, mikäli akku ei toimi ”turvallisten” toimintaparametriensä rajoissa. Tuotteisiin voi halutessaan aktivoida myös esimerkiksi hälytysominaisuuden, jolloin akkumonitori hälyttää käyttäjiä joko summerin tai mobiiliapplikaatio-ilmoituksen muodossa.



Kuva 33. Victronin SmartShunt akkumonitori [39.]

Molemmat akkumonitorit vaativat kuitenkin asennuksen lisäksi akkutyyppistä ja -mallista riippuvaisten akkuihin liittyvien käyttöasetusten konfiguroimista. Jos asetukset konfiguroidaan käyttäjän puolesta virheellisesti, voivat esimerkiksi akun varaustasoon liittyvät lukemat näyttää oudoilta, jolloin akkumonitori menettää täysin hyötynsä. Tuloksena voi olla akkujen turha rasittuminen ja sen seurauksena jopa niiden tuhoutuminen. Jos parametrit ovat puolestaan oikeat, on käyttäjien halutessaan mahdollista analysoida, suunnitella ja valvoa sähkönkulutustaan monitoreiden avulla.

Yhteen valmistajaan keskittämisessä olisi sekä omat hyötynsä että haittansa. Näitä on eritelty alla olevassa taulukossa. Mökin omistajien näkökulmasta merkittävimpana etuna pitäisin sitä, että kaikki aurinkosähköön liittyvät tiedot ja parametrit olisivat näkyvillä samasta paikasta esimerkiksi puhelimen välityksellä.

Keskittäminen Victronin tuotteisiin	Tuotteiden hajauttaminen
<ul style="list-style-type: none"> + tunnettu toimija aurinkosähkömarkkinoilla + mahdollisuus kasvattaa järjestelmästä saatavaa optimaalista hyötyä laajennuksen tai laajennuksien yhteydessä + runsaasti aurinkosähköjärjestelmätuotteita + tuotteisiin liittyvää oppimismateriaalia runsaasti saatavilla. Materiaalia on useassa eri muodossa. + järjestelmän hallittavuus 	<ul style="list-style-type: none"> + enemmän vaihtoehtoja + Morningstarin lataussäätimestä positiivisia kokemuksia + ”riippumattomuus” yhdestä valmistajasta, heidän tuotteistaan tai niiden varaosista + halvempia tuotteita saatavilla + jokaisesta tuotekategoriasta voit valita markkinoiden parhaan tai itsellesi sopivimman tuotteen
<ul style="list-style-type: none"> - oppimismateriaalia ei suomeksi - tuotteista ei käyttäjäkohtaista kokemusta - tuotteiden hinnat pienen aurinkosähköjärjestelmän omistajan näkökulmasta - tuotteiden kuluttajaystävällisyys asennuksien yhteydessä - etähallinnan tai -monitoroinnin ollessa yhden toimittajan ja sitä myötä serverin varassa kaikki voi ”kaatua” kerralla 	<ul style="list-style-type: none"> - useat hallintajärjestelmät, jotka eivät kommunikoi keskenään - vikatilanteissa yhteydenpito useisiin toimijoihin

Taulukko 1. Yhteen valmistajaan keskittämisen hyödyt ja haitat

5.2 Aurinkosähköjärjestelmän toinen laajennusvaihe

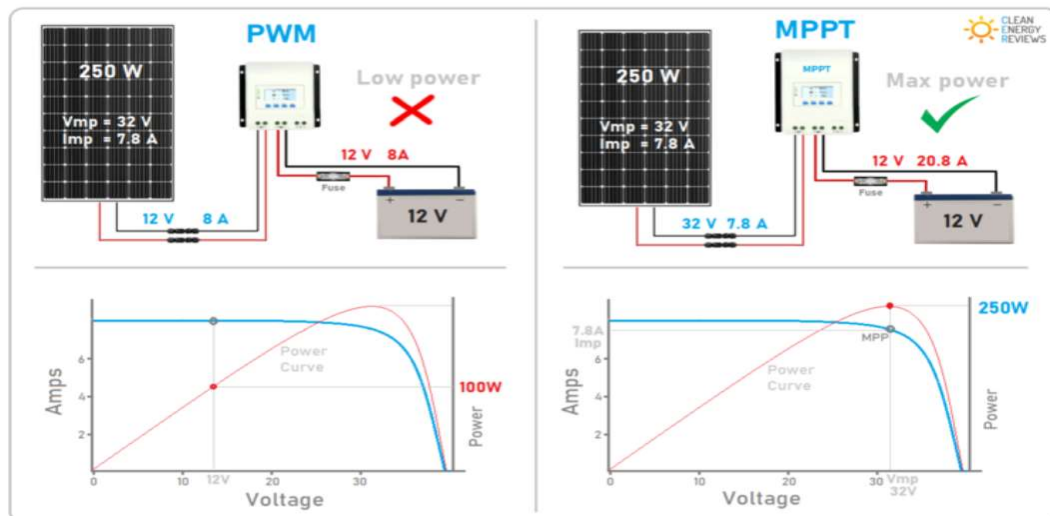
Kun vanha lataussäädin aikanaan hajoaa tai sen uusiminen tulee muuten ajankoh-
taiseksi, suosittelisin tilalle Victronin Smart MPPT 100/30 säädintä. Näin ollen
SmartShunt-tuotteesta voisi saada vieläkin enemmän hyötyjä irti ja järjestelmän mahdol-
linen laajentaminen aurinkopaneelien muodossa helpottuisi, koska paneeleita voisi kyt-
keä myös sarjaan. Tämä ei ole nykytilanteessa mahdollista vanhasta lataussäätimestä
johtuen. Tulevaisuudessa aurinkopaneelien sarjaankytkennässä tulee kuitenkin ottaa
huomioon, että paneelien yhteenlaskettu Voc arvo ei saa nousta yli 100 voltin. Victronin
Smart MPPT-säätimen virrankesto on samaa luokkaa kuin nykyisen säätimen eli 30 am-
peeria.

Valmistajan mukaan esimerkiksi Victronin Smart MPPT -lataussäätimet sekä
SmartShunt -akkumonitori pystyvät keskustelemaan keskenään VE.Smart -networkin
avulla. Tästä johtuen lataussäädin pystyy vastaanottamaan akkumonitorilta jännite- sekä
lämpötilatietoja ja käyttämään saatuja tietoja latausparametriensa optimointiin. Tämä tu-
lee parantamaan olemassa olevan aurinkosähköjärjestelmän suorituskykyä, kun jänni-
tetietojen avulla kompensoidaan akkukaapeleiden jännitehäviöt ja lämpötilatiedoilla puo-
lestaan optimoidaan akuston lataamiseen liittyvät jännitteet. Tästä johtuen olisikin perus-
teltua hankkia Victronin Smart MPPT-säätimen hankinnan yhteydessä myös
SmartShuntille yhteensopiva lämpötila-anturi (ASS000100000).

Akustojen datalehdissä ilmoitetaan, mitä latausjännitteitä ja -virtaa akkujen lataamisessa
tulisi kulloisissakin olosuhteissa käyttää. Kylmänä aikana lyijyakut tarvitsevat tyypillisesti
suurempaa latausjännitettä ja lämpimänä puolestaan pienempää latausjännitettä. Akku-
jen käyttöänsä sekä latauksen tehostamiseksi olisikin tärkeää ladata niitä teknisten vaati-
musten mukaisesti. Jos akuston toimintaan liittyvät parametrit on tallennettu SmartShun-
tin asetuksiin virheellisesti, ei nykyisen akuston kapasiteettia pystytä käyttämään hyväksi
optimaalisimmalla tavalla. Tämä tulee ottaa huomioon myös, jos nykyisen lataussäät-
imen seuraajaksi valitaan Victronin säädin ja se yhdistetään VE.Smart networkin avulla
SmartShunttiin. Tällöin SmartShunttiin käyttäjän toimesta asennetut parametrit vaikutta-
vat MPPT-säätimen toimintaan ja sitä kautta myös suoraan akuston lataamiseen.

Akkumonitorin tuottama data ja mökin käyttöasteen lisääntyminen saattavat tuoda esille
myös kysymyksen siitä, onko kesämökille tällä hetkellä asennettu riittävä määrä aurin-
kopaneeleita sähkönkulutukseen nähden. Mikäli nykyinen määrä ei tunnu riittävältä ja

kesämökillä olisi tarvetta lisäpaneelleille, olisi tällöin MPPT-tyypin lataussäädin käytännöllisempi vaihtoehto kuin PWM-säädin. Lataussäätimen vaihdon yhteydessä olisi suositeltavaa muuttaa myös sekä katon että rannan paneelien kytkentätapa rinnankytkennästä sarjankytkennäksi. Näin toimimalla MPPT-ominaisuus saataisiin paremmin hyötykäyttöön ja nykyisistä paneeleista enemmän tehoa irti. Alla oleva kuva selventää edellä kertomaani.



This comparison highlights the problem with using a higher voltage solar panel on a 12V battery without MPPT

Kuva 34. PWM- ja MPPT-tyypin vertailu. Mökin katolla ja rannassa olevien aurinkopaneelien yhteisteho on noin 250 wattia [46.]

Akuston käyttöikää olisi mahdollista parantaa myös automatiikan avulla. Aggregaattiin lisättävän erillisen automatisointipaketin ja akkumonitorin yhteistyön avulla akuston lataaminen olisi mahdollista aloittaa automaattisesti. Eräältä suomalaiselta toimittajalta kysytyn tarjouksen perusteella BMV-akkumonitorilla toteutettu automaattiohjaus maksaisi noin 1000 €. Taloudellisesti tämä ei siten ole varteenotettava vaihtoehto, vaikka akuston käyttöikään halutaankin lisää kestävyyttä. Toki on syytä huomioida kustannusarvion olevan vain suuntaa antava, sillä tarjousta on kysytty ainoastaan yhdeltä Suomessa toimivalta automatiikan palveluita tarjoavalta yritykseltä. Kesämökin omistajien on silti hyvä olla tietoisia, että vastaavanlaisia tuotteita on mahdollista hankkia tarpeen niin vaatiessa.

5.3 Kesämökin muiden kehityskohteiden nykyaikaistaminen

IoT:n näkökulmasta katsottuna aikaisemmin mainittujen muiden kehityskohteiden nykyaikaistaminen olisi myös mahdollista. Kartoituksessa on silti otettava huomioon, että ke-

sämökillä ei ole tällä hetkellä saatavilla sisäverkkoa, johon uudet anturit voitaisiin yhdistää. Ainoa datansiirtoon soveltuva teknologia löytyy riistakamerasta, johon on asennettu SIM-kortti. Kamera tukee datansiirrossa ainoastaan 2G-teknologiaa eikä sen kautta ole mahdollista luoda langatonta WLAN (wireless local area network) lähiverkkoa. Nykyai-kaistaminen voisi tämän osalta olla ajankohtaista, sillä kesämökin omistaja ei ole tällä hetkellä tyytyväinen riistakameran mobiili liittymän ~10 €/kk hinta/laatu suhteeseen. Riistakameralta pyydetään kuvia kuukausitasolla ainoastaan satunnaisesti, joten SIM-kortin tarve tai sen tarjoama hyöty verrattaessa kustannuksiin on hyvä selvittää.

Mobiili liittymän päivittämistä voidaan lähestyä kahdesta eri näkökulmasta. Onko omistajien mielestä tärkeämpää saada kuukausittaisia kustannuksia pienemmäksi vai hinta/laatu suhdetta paremmaksi? Jos hinta/laatu suhdetta halutaan parantaa niin kesämökille tulisi hankkia reititin, johon voidaan asentaa ulkoinen SIM-kortti. Lisäksi reitittimen tulisi toimia akuston 12 voltin tasajänniteverkossa, jotta sitä voitaisiin hyödyntää myös silloin, kun mökillä ei oleskella. Mikäli puolestaan liittymän kustannuksia kuukausitasolla halutaan laskea, voisi yksi vaihtoehto olla Telia Dot -liittymä, jossa asiakas maksaa liittymästä käyttönsä mukaan kuukausittain 5-25 €.

Käytön mukaan -liittymä on tarkoitettu säännölliseen käyttöön, eli peruskäyttöä on oltava kolmen peräkkäisen kalenterikuukauden aikana yhteensä vähintään 15 €:n arvosta. Jos liittymää käytetään vähemmän, Teliällä on oikeus veloittaa takautuvasti numeron säilyttämisestä 5 €/kk [47.]

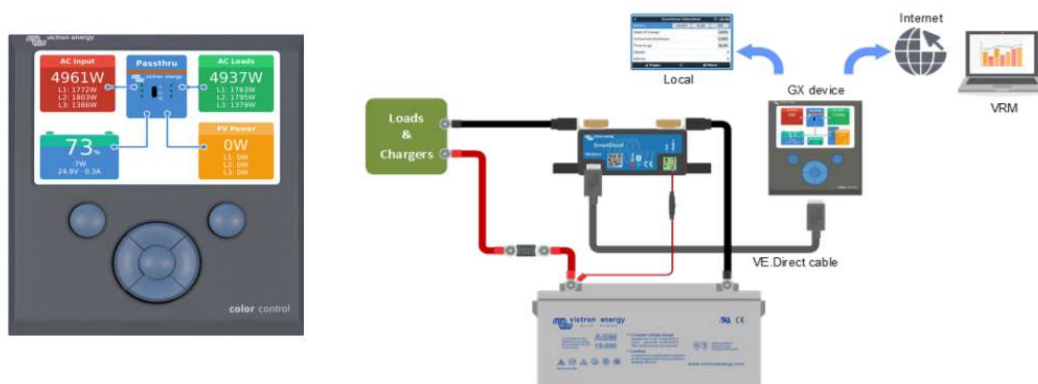
IoT:n näkökulmasta yksi vaihtoehto kesämökin tekniikan modernisoimiseksi voisi olla myös Shellyn valmistama nestekaasun havaitsemiseen soveltuva LPG (Liquefied Petroleum Gas) -anturi. Anturi maksaa suomalaisesta verkkokaupasta tilattuna noin 60 € ja ulkomailta tilattaessa sen saa vielä hieman halvemmalla. Mökin etävalvonnan tukemiseen Shellylta on mahdollisuus hankkia myös oveen tai ikkunoihin liitettävä pattereilla toimiva anturi, jonka avulla voidaan havaita ovien tai ikkunoiden avautuminen. Rengaskaivon veden korkeuden mittaamiseen oli puolestaan haastavaa löytää kuluttajille sopivaa ratkaisua.

5.4 Aurinkosähköjärjestelmän etämonitorointi ja -hallinta

Etämonitoroinnille tai -hallinnalle ei mökin omistajien haastattelujen aikana ilmennyt välitöntä tarvetta, joten siihen ei työssä ole syytä sen tarkemmin keskittyä. Mikäli sille tulisi

käyttöä tulevaisuudessa, olisi Victronin GX-tuoteperheen avulla tämä mahdollista toteuttaa. GX-tuotteiden ja ilmaisen VRM-portaalin avulla käyttäjä voi monitoroida ja hallita etänä omaa aurinkosähköjärjestelmäänsä.

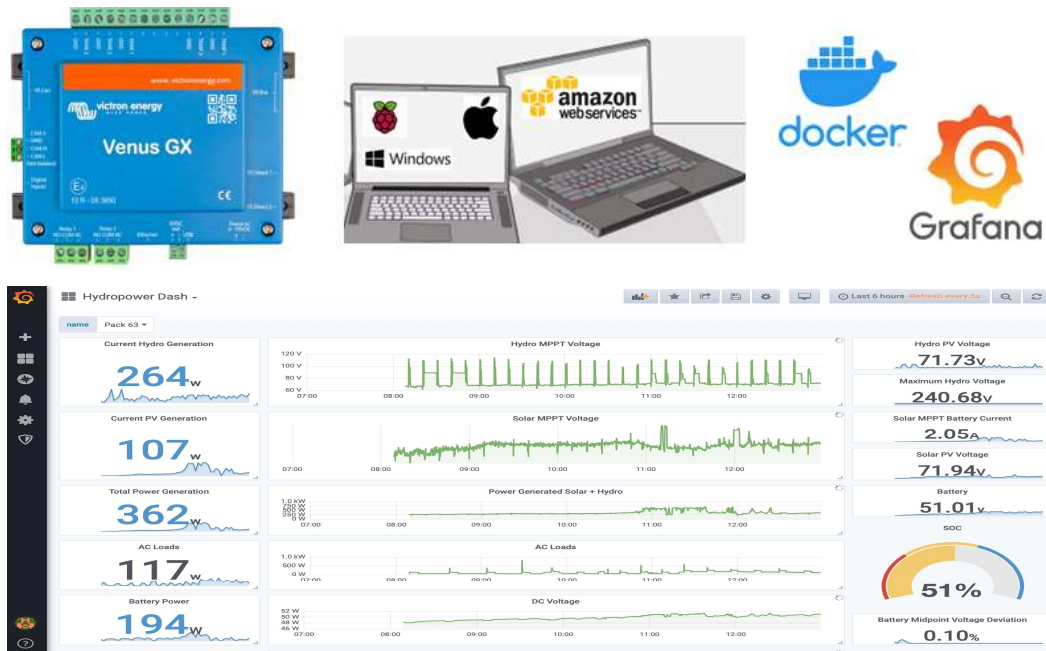
Etämonitorointi ja varsinkin etähallinta altistavat käyttäjän erilaisille riskeille, jotka on hyvä tiedostaa. Aurinkosähköjärjestelmän laitteiden laiteturva ja käyttäjien tietosuojat saattavat altistua väärinkäytöksille, jos esimerkiksi VRM-portaalin tunnukset joutuvat väärin käsiin tai VRM-palvelimille tehdään onnistunut tietomurto. Portaaliin tilin luvattoman käytön estämiseksi onkin suositeltavaa käyttää kaksivaiheista tunnistusta. Tällöin portaaliin kirjautumiseen ei pelkkä salasana riitä, vaan oikean henkilön kirjautumisyritys varmistetaan esimerkiksi puhelimeen lähetettävän turvakoodin avulla. Etäohjauksen laiteturvaan liittyvissä riskeistä ei tarvitse tässä tapauksessa olla huolissaan, koska asetusten konfiguroiminen on mahdollista tehdä etänä ainoastaan Victronin invertterit/laturi yhdistelmätuotteille.



Kuva 35. Victronin aurinkosähköjärjestelmän etämonitorointi ja -hallinta [39.]

5.5 Muut mahdollisuudet

Kiinnostus IoT:hen tai sen harrastuneisuus tuo mukanaan lisätyökaluja, joiden avulla aurinkosähköjärjestelmän monitoroinnin voi suunnitella sekä omalle järjestelmälleen että silmälleen sopivimpaan muotoon. Lisätyökalujen hyödyntäminen ei kuitenkaan sovellu kaikille aurinkosähkön ”peruskäyttäjille”, koska niiden käyttöönotto ja konfigurointi vievät aikaa, eikä virallista tukea ole tuotteen valmistajan puolesta tarjolla. Mahdollinen tuki haetaan esimerkiksi erilaisilta forumeilta ja niiden muilta käyttäjiltä. Alla olevassa kuvassa nähdään yksinkertaistettu esimerkki siitä, miten aurinkosähköjärjestelmän valvonnan voi halutessaan toteuttaa IoT:n avulla.



Kuva 36. Kuvituskuva käyttäjän itse luomasta valvontajärjestelmästä [39, 48.]

Kuvassa 36 on visualisoitu, miten IoT:n avulla aurinkosähköjärjestelmän data voitaisiin muuttaa käyttäjäystävällisempään muotoon. Järjestelmän tuottama data kerätään talteen Victronin tuotteella, joka sisältää GX ominaisuuden. GX laite välittää datan joko paikallisesti toimivalle tietokoneelle tai suoraan pilvipalvelujen tarjoajalle, esimerkiksi Amazonin AWS:lle. Tässä tapauksessa paikallinen tietokone vastaa datan jatkokäsittelyä. Tietokoneen on tuettava Dockerin virtualisointialustaa, jotta data saadaan välitettyä edelleen Grafana -ohjelmistolle. Grafana on verkkopohjainen tietojen analysointityökalu, jonka avulla käyttäjän on mahdollista luoda itselleen parhaiten sopiva käyttöliittymä.

5.6 Tulevaisuus

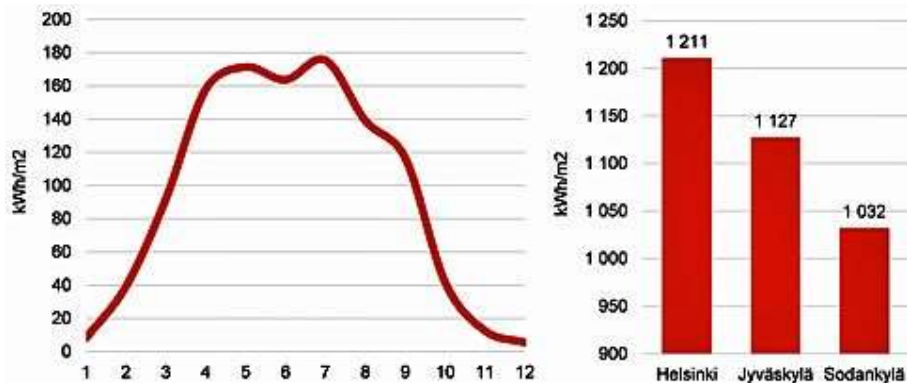
Tulevaisuudessa yhtenä vaihtoehtona aurinkosähköjärjestelmien akustojen lataamiseen voisivat olla sähköautojen akut. Sähköajoneuvojen lataaminen on yleensä yksisuuntainen sähköverkosta ajoneuvoon tyypinen tapahtuma, mutta V2G (Vehicle to Grid) teknologia mahdollistaa sähköajoneuvojen akkuihin tallennetun energian siirron myös toiseen suuntaan [49.] Kyseinen teknologia toisi aurinkosähköjärjestelmään ja etenkin sen hetkelliseen sähkönkulukseen lisää joustavuutta, sillä ”yhteisillä” akustoilla energiakapasiteetti kasvaisi entisestään.

6 Pohdinta

WEO:n tutkimuksista käy ilmi, kuinka auringosta on mahdollista saada jo nyt tuotettua tietyissä osissa maapalloa edullisesti sähköä, mikäli vain poliittinen tuki ja investoinnit ovat kunnossa. Aurinkosähköjärjestelmiin liittyvät tuet saattavat toisaalta luoda myös vääristyneen kuvan tekniikan edullisuudesta, eivätkä näin ollen kerro todellista tilannetta tekniikan kilpailukykyisyydestä muuttuvassa energiateollisuudessa.

Yleisellä tasolla voitaneen todeta, että Suomessa sähköä pidetään itsestäänselvyytenä. Suomalaiset ovat myös mökkeilykansaa ja aurinkosähkö onkin yksi varteenotettava vaihtoehto sähkön tuottamiselle, jos yleiseen sähköverkkoon liittyminen ei ole taloudellisesti järkevää tai mahdollista. Aurinkosähkö parantaakin näiden kohteiden käyttömukavuutta, mutta aiheuttaa omistajilleen myös runsaasti investointikustannuksia erityisesti akuston vuoksi.

Suomen pohjoisesta sijainnista johtuen aurinkosähkö soveltuu käytettäväksi varsinkin mökeille, jotka ovat käytössä ainoastaan kesäisin. Jos kesämökki on Suomessa ympärivuotisessa käytössä, ei aurinkosähköjärjestelmä tällöin yksin riitä. Tutkittavassa kohteessa aurinkosähkö on ollut toimiva ratkaisu, sillä kesämökkiä käytetään ainoastaan keväästä syksyyn.



Kuva 37. Auringonsäteilyn määrä Suomessa [50.]

IoT:n avulla laitteilta voidaan kerätä sekä analysoida suuria määriä dataa, joka sitten muutetaan yksinkertaisempaan, käyttäjälle näkyvään muotoon. Kesämökin omistajan näkökulmasta itse data tai sen määrä ei vielä tuo lisäarvoa, mutta esimerkiksi koti-PC:ltä näkyvä graafinen käyttöliittymä tai reaaliajassa mobiililaitteeseen tulevat virheilmoitukset

muuttavat jo tilanteen. Graafiset käyttöliittymät helpottavat aurinkosähköjärjestelmän toimivuuden ymmärtämistä yleisellä tasolla ja mobiililaitteet voivat puolestaan varoittaa useampaa käyttäjää välittömästi, jos jokin laite tai sen osa ei toimi niin kuin pitäisi. IoT:hen liittyvän datan tarkastelu ei sido käyttäjää myöskään tiettyyn ajankohtaan, vaan käyttäjä voi analysoida jälkikäteen talven pimeinä tunteina kesällä käyttämänsä aurinkosähkön määrää. Dataan ei tule kuitenkaan sokeasti luottaa, koska siihen vaikuttaa sekä käyttäjän toimesta tehdyt konfigurointiasetukset että itse tuotteen laatu.

Jos nykyinen laitteisto ei ole enää optimaalisin vaihtoehto kesämökin nykyisiin tarpeisiin sekä vaatimuksiin, olisi omistajien hyvä olla siitä tietoisia. Tästä johtuen Victron SmartShunt-akkumonitori olisikin mielestäni hyvä asentaa kesämökille mahdollisimman nopeasti. Sen tuottaman datan avulla mökin omistajat voisivat helpommin hahmottaa kesämökkinsä sähkönkulutuksen nykytilaa. Laitteen asentaminen voi tosin käynnistää lumipalloeftin, jos datan perusteella huomataan, että sähköä kuluu mökkiviikonlopuna reilusti ja käyttömukavuudesta ei haluta tinkiä. Saattaa siis olla, että akkumonitorin hankinnan seurauksena sekä lataussäätimen, että paneeleiden päivitys nähdään tarpeelliseksi.



Kuva 38. Akuston monitorointi SmartShunt -mobiiliapplikaation avulla [39.]

Haastatteluiden pohjalta kesämökin aurinkosähköjärjestelmän keskeisin kehittämistarve liittyi akustoon. Työn tavoitteena oli löytää konkreettisia tuotteita, jotka tuovat aurinkosähköjärjestelmän käyttäjälle lisäarvoa, mutta eivät ole kustannuksiltaan merkittäviä. Kehittämissuunnitelmasta käy ilmi, että markkinoilta on saatavilla tuotteita, joiden avulla akustoa on mahdollista monitoroida ja aurinkosähköjärjestelmän muita komponentteja nykyaikaistaa. Toisaalta olisi jopa hieman outoa, jos näin ei olisi, koska kesämökille asennettu aurinkosähköjärjestelmä on jo noin 15 vuotta vanha. Myös IoT:n näkökulmasta sekä aurinkosähköjärjestelmän että mökin muiden kehityskohteiden etämonitorointi sekä automatisointi olisi tarpeen mukaan mahdollista. Toki niiden osalta kustannukset tietyiltä osin tulisivat olemaan suuremmat.

Kehityksen kartoituksen edetessä olen tasaisin väliajoin palannut arvioimaan tekemiäni tuotevalintoja ja niiden mahdollista soveltuvuutta nykyiseen aurinkosähköjärjestelmään. Opinnäytetyössä ehdotetut aurinkosähköjärjestelmän laajennukset eivät uusien komponenttien lukumäärän tai kustannuksien puolesta ole merkittäviä. Esitettyjen laajennusehdotusten ymmärtämisen ja hahmottamisen kannalta tämä on hyvä asia. Kuitenkin konkreettiset tutkimustulokset puuttuvat, koska niitä on ilman aurinkosähköjärjestelmän tosiasiallista päivittämistä vaikea hankkia. Tästä johtuen tutkimuksessa esitettyjen tuotteiden hankkimiselle ei käytännön puolesta välttämättä löydykään tarvetta, vaikka teoriassa tältä näyttäisikin. Voisikin sanoa, että onnistuessaan kehityskartoitus tarjoaa laajennusten jälkeen kesämökin omistajille yksityiskohtaisempaa tietoperustaa aurinkosähköjärjestelmän nykytilasta ja tulevaisuuden mahdollisuuksista. Epäonnistussaan tutkimus puolestaan herättää kesämökin omistajille enemmän kysymyksiä kuin antaa vastauksia.

Työn edetessä huomasin, että varsinkin tuotteisiin liittyvissä valinnoissa oli tutkittavaan aineistoon liittyviä haasteita. Tuotteiden keskinäisessä vertailuissa ja lopullisissa tuotevalinnoissa tutkittava aineisto on kerätty valmistajien kotisivuilta. Aineistona on ollut pääasiassa itse tuotteiden valmistajien tekemiä markkinointimateriaaleja sekä tuotteiden käyttöohjeita. Tämä on tiedon luotettavuuden ja tutkimuksen objektiivisuuden näkökulmasta haasteellista. Aineisto on yrityksen henkilökunnan itse kirjoittamaa ja sen kyseenalaistaminen sekä haastaminen on käytännössä hyvin vaikeaa. Lisäksi tuotteiden valmistajat eivät luonnollisesti kerro omiin tuotteisiinsa liittyvistä ongelmista tai vertaile niitä muiden samankaltaisten tuotteiden kesken.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa yksi keskeisimmistä haasteistani oli aurinkosähköjärjelmiin liittyvän teoreettisen tietämyksen ja työkokemuksen puute. Toisaalta tekemäni kartoitus on ollut myös puolueeton, sillä minulla ei ole ollut mitään ennakkoluuloja tai -käsityksiä aiheeseen liittyen.

Opinnäytetyön heikkoutena on myös sen siirrettävyys. Kesämökin omistajien haastatteluiden pohjalta tehty kartoitus on tehty ainoastaan heidän kesämökilleen. Lähestymistavassa on otettu huomioon se, mitä lisäarvoa suhteessa kustannuksiin ehdotetut laajennukset toisivat. Kartoituksessa ei ole ajateltu aurinkosähköjärjestelmien kehittämistä yleisellä tasolla. Näin ollen opinnäytetyöni tuo tuskin lisäarvoa muille kuin työni kohteena olevan, tai sitä vastaavien mökkien omistajille.

Tulevaisuudessa litiumioniakkuihin liittyvä teknologia tulee entisestään yleistymään ja kehittymään. Yksi merkittävimmistä tähän vaikuttavista tekijöistä ovat sähköautot, joissa litiumioniakut ovat yleisin energian varastoinnissa käytettävä akkuteknologia. Uskoisin, että autoteollisuudesta johtuen litiumakkujen kehityksestä tulevat välillisesti hyötymään myös sähköverkkoon kytkemättömät aurinkosähköjärjestelmät, joissa akustoa tarvitaan energian pääasialliseksi lähteeksi sekä varastoksi.

7 Yhteenveto

Työn kirjoittaminen on auttanut hahmottamaan sitä, minkälaisilla tavoilla auringon tuottamaa energiaa voidaan hyödyntää. Lisäksi aurinkoenergiaan tutustuminen selvensi sitä, mistä komponenteista aurinkosähköjärjestelmät koostuvat, mitkä ovat eri komponenttien tehtävät ja miten ne toimivat yhdessä isompana kokonaisuutena. Olen havainnut, että aurinkosähkö soveltuu erinomaisesti kesämökeille tai muihin paikkoihin, jotka ovat maantieteellisesti sähköverkon ulottumattomissa. Tätä on edesauttanut etenkin aurinkosähköteknologiaan liittyvien kustannusten laskeminen globaalisti. Suuremmassa mittakaavassa myös erilaiset ilmastositoukset sekä ihmisten vihreä ja ekologisempi ajattelu puoltavat aurinkosähkön potentiaalia ja mahdollisuuksia.

Työssä tutustuttiin kesämökin aurinkosähköjärjestelmän yleiseen toimintaan ja tutkittiin sen sekä muiden mökin käyttöön liittyvien järjestelmien kehittämistä IoT:n avulla. Aurinkosähköjärjestelmän kehittämistä voidaan lähestyä usealta eri kantilta. Käyttäjien käyttökokemusten perusteella päädyin lähestymään aihetta erityisesti akustojen käytettävyy-

den parantamisen näkökulmasta. Tutkimuksen aikana selvisi, miten aurinkosähköjärjestelmää olisi mahdollista kehittää siten, että kustannukset pysyisivät alle tuhannessa eurossa. Myös laajempi kehittäminen olisi mahdollista, mutta tällöin kustannukset nousisivat suuremmiksi. Jos kuitenkin mietitään mahdollisten investointien hyötysuhdetta, niin työssä suositellut, hinnaltaan sadoissa euroissa pysyvät muutokset olisivat mielestäni järkeviä toteuttaa. Muutosten keskeisimmät hyödyt liittyvät tällöin akuston kapasiteetin monitorointiin sekä sen optimaalisempaan lataukseen.

Olen pyrkinyt siihen, että työni antaisi kesämökin omistajille kattavan kuvan nykyisen aurinkosähköjärjestelmän tämänhetkisestä tilasta. Kehittämisen tulokset ja tutkimuksen lähestymisnäkökulma olisivat kuitenkin saattaneet olla erilaisia, jos aurinkosähköjärjestelmään liittyvää analysoitua dataa olisi ollut saatavilla. IoT-tekniikan avulla tämä ongelma voidaan tai oikeastaan ollaankin jo voitu ratkaista, koska markkinoilta on mahdollista löytää tuotteita, joilla dataa pystytään keräämään sekä analysoimaan. Uskonkin, että IoT-tekniikka tulee tulevaisuudessa entisestään yleistymään ja tarjoamaan työkaluja esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmien laajentamiselle ja kehittämiselle. Mitä laadukkaampaa dataa aurinkosähköjärjestelmä pystyy tuottamaan, sitä helpommin myyjät voivat perustella tiettyjen yksittäisten komponenttien ostamista. Hyöty on siis molemminpuolista.

Lähteet

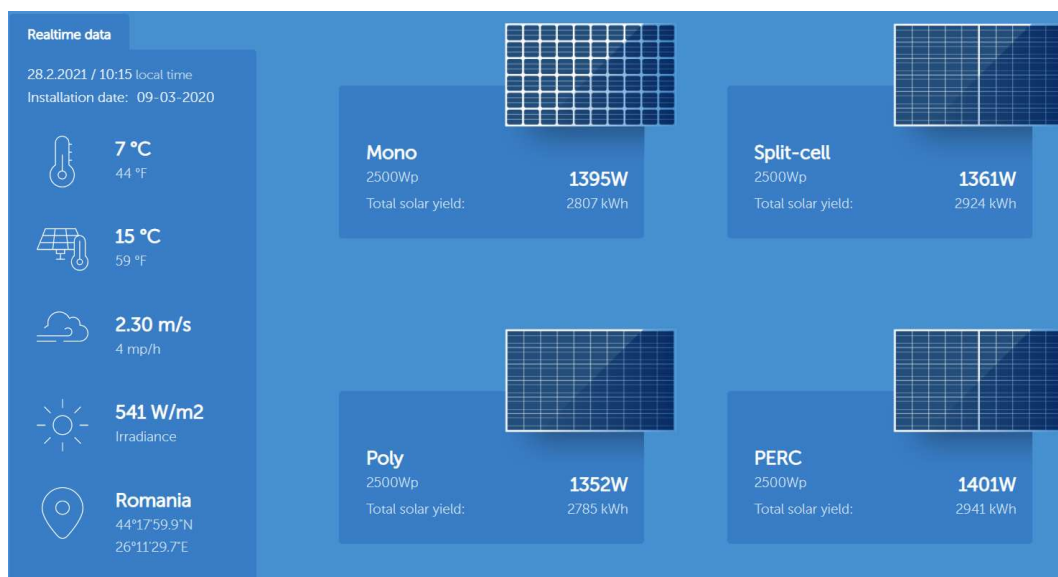
- 1 Renewable Power Generation Costs in 2019. <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>. Luettu 7.11.2020.
- 2 IEA. Verkkoaineisto. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>. Luettu 7.11.2020
- 3 National Survey Report of PV Power Applications in FINLAND, https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/09/NSR_Finland_2019.pdf. Luettu 7.11.2020
- 4 Tilastokeskus. Verkkoaineisto. https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html. Luettu 7.11.2020
- 5 Energiavirasto. Verkkoaineisto. <https://energiavirasto.fi/-/produktionskapaciteten-inom-solkraft-fortsatte-att-oka-2019-den-arliga-okningen-var-64-procent>. Luettu 14.11.2020
- 6 Atria. Verkkoaineisto. <https://www.atria.fi/konserni/ajankohtaista/atriablogi/blo-gaukset/atrialla-on-merkittava-rooli-aurinkosahkotuotannon-kehittamisessa/>. Luettu 14.11.2020
- 7 Motiva. Verkkoaineisto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/lisatietoja/aurinkosahkosanasto. Luettu 21.11.2020
- 8 A Brief History of Solar Panels. Verkkoaineisto. <https://www.smithsonian-mag.com/sponsored/brief-history-solar-panels-180972006>. Luettu 21.11.2020
- 9 Aurinkosähköteknologiat. Verkkoaineisto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat. Luettu 21.11.2020
- 10 Silicon solar cells: toward the efficiency limits. Verkkoaineisto. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23746149.2018.1548305>. Luettu 21.11.2020
- 11 Almost 40% conversion efficiency predicted in new perovskite solar cell. Verkkoaineisto. <https://www.advancedsciencenews.com/almost-40-conversion-efficiency-predicted-in-new-perovskite-solar-cell/>. Luettu 22.11.2020
- 12 Stanford scientists invent ultrafast way to manufacture perovskite solar modules. Verkkoaineisto. <https://news.stanford.edu/2020/11/25/scientists-invent-ultrafast-way-make-solar-modules-greener> Luettu 28.11.2020
- 13 Promises and challenges of perovskite solar cells. Verkkoaineisto. https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Abate/publication/320968828_Promises_and_challenges_of_perovskite_solar_cells/links/5a0d9c3caca2729b1f4ee91c/Promises-and-challenges-of-perovskite-solar-cells.pdf Luettu 28.11.2020
- 14 Oxford PV perovskite solar cell achieves 28% efficiency. Verkkoaineisto. <https://www.oxfordpv.com/news/oxford-pv-perovskite-solar-cell-achieves-28-efficiency>. Luettu 29.11.2020

- 15 Oxford perovskite solar panels to go on sale. Verkkoaineisto. <https://www.oxfordmail.co.uk/news/18707744.oxford-perovskite-solar-panels-go-sale/#:~:text=The%20product%20going%20on%20sale,with%20standard%20silicon%20solar%20cells>. Luettu 29.11.2020
- 16 Global trends. Verkkoaineisto. <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Global-Trends>. Luettu 30.11.2020
- 17 Levelized Cost of Energy for PV and Grid Scale Energy Storage Systems. Verkkoaineisto <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1609/1609.06000.pdf>. Luettu 1.12.2020
- 18 Solar is now 'cheapest electricity in history', confirms IEA. Verkkoaineisto. <https://www.carbonbrief.org/solar-is-now-cheapest-electricity-in-history-confirms-iea>. Luettu 12.12.2020
- 19 Stated Policies Scenario. Verkkoaineisto. <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/stated-policies-scenario>. Luettu 13.12.2020
- 20 WORLD ENERGY MODEL DOCUMENTATION. Verkkoaineisto. https://iea.blob.core.windows.net/assets/fa87681d-73bd-4719-b1e5-69670512b614/WEM_Documentation_WEO2020.pdf. Luettu 13.12.2020
- 21 Markku Tahkokorpi. 2016 Aurinkoenergia Suomessa, Into
- 22 Average global radiation at period 1981-2010. Verkkoaineisto. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/09/suomen-saan-valoisa-puoli-aurinkopaneeli-tuottaa-parhaiten- kylmassa#&gid=0&pid=17-37424563cc0d974158>. Luettu 19.12.2020
- 23 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Verkkoaineisto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. Luettu 20.12.2020
- 24 Tado. Verkkoaineisto. <https://www.tado.com/gb-en/tado-app-overview>. Luettu 21.12.2020
- 25 Rheem. Verkkoaineisto. https://www.rheem.com/innovations/innovation_residential/hybridsavings/. Luettu 22.12.2020
- 26 NREL, Best Research-Cell Efficiencies. Verkkoaineisto. <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20200925.pdf> Luettu 27.12.2020
- 27 Devicebit. Verkkoaineisto. <https://www.lemeter.com/products/energy-monitoring-system/> Luettu 07.01.2021
- 28 Clear energy reviews. Verkkoaineisto. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-powerful-solar-panels>. Luettu 14.1.2021
- 29 Dupont. Verkkoaineisto. <https://www.dupont.com/products/what-makes-up-a-solar-panel.html>. Luettu 14.1.2021

- 30 Vattenfall. Verkkoaineisto. https://www.vattenfall.fi/4a3d21/globalassets/energiafiksut-tuotteet/aurinkopaneeli/en_tsm_dd06m-05ii_datasheet_a_2020_web.pdf. Luettu 17.1.2021
- 31 MECHANICAL STABILITY OF SOLAR CELLS WITHIN SOLAR PANELS. Verkkoaineisto. https://www.solon.com/export/sites/default/solonse.com/_downloads/global/article-pid/Pinge_et_all_Mechanical_Stability.pdf. Luettu 21.1.2021
- 32 2019 PV INVERTER SCORECARD. Verkkoaineisto. <https://www.pvel.com>. Luettu 14.2.2021
- 33 SunCast. Verkkoaineisto. <https://mysuncast.com>. Luettu 17.2.2021
- 34 Ralos. Verkkoaineisto. <https://www.ralos.eco>. Luettu 18.2.2021
- 35 Case Western Reserve University. Verkkoaineisto. <https://engineering.case.edu/centers/sdle/node/131>. Luettu 19.2.2021
- 36 Fronius. Verkkoaineisto. <https://www.fronius.com/en>. Luettu 22.2.2021
- 37 Everlight solar. Verkkoaineisto. <https://www.everlightsolar.com/inverters-for-solar-systems-explained-string-inverters-microinverters-and-power-optimizers/>. Luettu 24.2.2021
- 38 SolarEdge. Verkkoaineisto. <https://www.solaredge.com/>. Luettu 24.2.2021
- 39 Victron Energy. Verkkoaineisto. <https://www.victronenergy.fi/>. Luettu 26.2.2021
- 40 MPPT ja PWM-lataussäädin ABC. Verkkoaineisto. <http://www.reps.fi/datasheet-sandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>. Luettu 28.2.2021
- 41 Fortum. Verkkojulkaisu. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>. Luettu 03.03.2021
- 42 Selvitys Li-akkujen turvallisuustekijöistä. Verkkojulkaisu. <https://tukes.fi/documents/5470659/6372809/Selvitys+litiumioniakkujen+turvallisuustekij%C3%B6ist%C3%A4/4eaac0e7-a824-42f8-b560-072f84d3e7ad/Selvitys+litiumioniakkujen+turvallisuustekij%C3%B6ist%C3%A4.pdf>. Luettu 05.03.2021
- 43 Battery Space. Verkkojulkaisu. <https://www.batteryspace.com/LiFePO4/LiFeMnPO4-Batteries.aspx>. Luettu 05.03.2021.
- 44 Morningstar. Verkkojulkaisu. <https://www.morningstarcorp.com/>. Luettu 13.03.2021
- 45 Sun Xtender. Verkkojulkaisu. <https://www.sunxtender.com/>. Luettu 16.03.2021
- 46 Clean Energy Reviews. Verkkojulkaisu. <https://www.cleanenergyreviews.info/>. Luettu 17.3.2021
- 47 Telia. Verkkojulkaisu. <https://www.telia.fi/dot/telia-dot-hinnasto.pdf>. Luettu 04.04.2021.
- 48 GitHub. Verkkojulkaisu. <https://github.com/victronenergy>. Luettu 07.04.2021

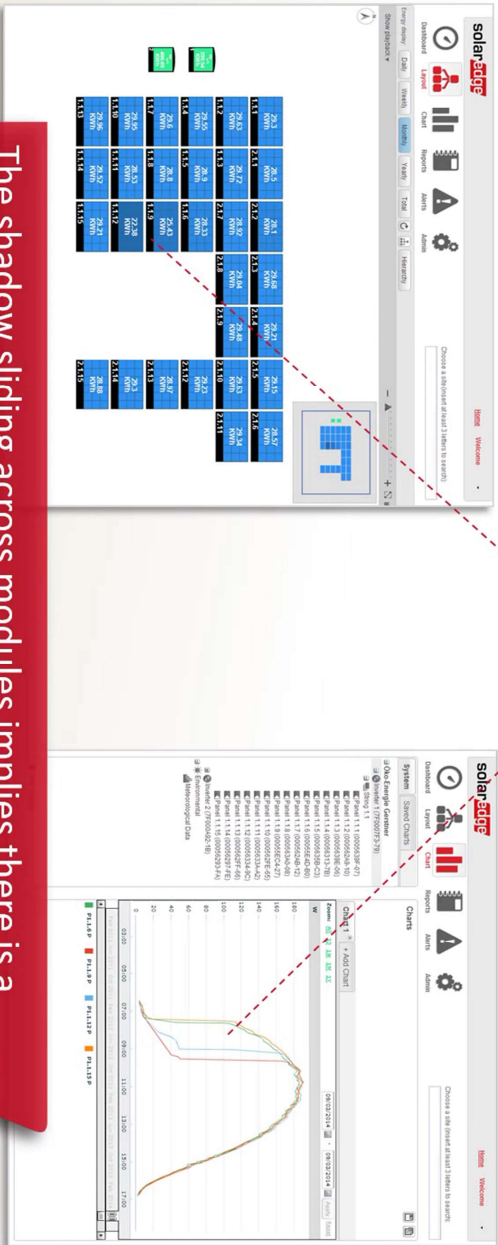
- 49 ABB. Verkkajulkaisu. <https://new.abb.com/ev-charging/abb-s-vehicle-to-grid-technology>. Luettu 10.04.2021
- 50 Motiva. Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. Luettu 10.04.2021

Liite 2. Eri paneelityyppien tehontuoton vertailu eri sääolosuhteissa.



Liite 3. Varjostuksen vaikutus paneelikohtaisessa tehonseurannassa.

Shading Pattern



The shadow sliding across modules implies there is a fixed obstruction in the area



©SolarEdge

Liite 4. Kesämökin nykyinen lataussäädin.



Product shown with optional meter.



PROSTAR™
SOLAR CONTROLLER

Morningstar's **ProStar** is the world's leading mid-range solar controller for both professional and consumer applications. This second generation ProStar:

- Adds new features and protections using highly advanced technology
- Provides longer battery life and improved system performance
- Sets new standards for reliability and self-diagnostics

Standard Features:

- Versions available: 15 or 30 amp
12 / 24 or 48 volt
negative or positive ground
- Estimated 15 year life
- PWM series battery charging (not shunt)
- 3-position battery select: gel, sealed or flooded
- Very accurate control and measurement
- Jumper to eliminate telecom noise
- Parallel for up to 300 amps
- Temperature compensation

- Tropicalization: conformal coating, stainless-steel fasteners & anodized aluminum heat sink
- No switching or measurement in the grounded leg
- 100% solid state
- Very low voltage drops
- Current compensated low voltage disconnect (LVD)
- LED's indicate battery status and faults
- Capable of 25% overloads
- Remote battery voltage sense terminals

Electronic Protections:

- Short-circuit — solar and load
- Overload — solar and load
- Reverse polarity
- Reverse current at night
- High voltage disconnect
- High temperature disconnect
- Lightning and transient surge protection
- Loads protected from voltage spikes
- Automatic recovery with all protections

PROSTAR™ TECHNICAL SPECIFICATIONS

ProStar Options:

- Digital meter
 - Highly accurate voltage and current display
 - Low self-consumption (1 mA)
 - Includes manual disconnect button
 - Displays 5 different protection functions and disconnect conditions
 - Self-diagnostics (self-test) provides a comprehensive test of the ProStar —
 - Displays 9 different controller status parameters, including temperature
 - Displays detected faults
- Positive ground
- Remote temperature probe

Optimized Battery Charging:

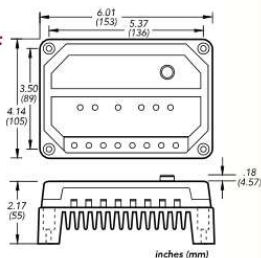
The ProStar has 4 stages of charging to provide increased battery capacity and life.



Mechanical Specifications:

Weight:
12 oz
(0.34 kg)

Wire Size:
#6 AWG
(16 mm²)



ProStar Versions:

	PS-15	PS-30	PS15M-48V
Rated Solar Current	15A	30A	15A
Rated Load Current	15A	30A	15A
System Voltage	12/24V	12/24V	48V
Options:			
Digital Meter	yes	yes	standard
Positive Ground	no	yes	yes
Remote Temp. Probe	yes	yes	yes

Battery Voltage Setpoints*

	Gel	Sealed	Flooded
Regulation Voltage	14.0	14.15	14.4
Float	13.7	13.7	13.7
Equalization	n/a	14.35	14.9/15.1
Load Disconnect	11.4	11.4	11.4
Load Reconnect	12.6	12.6	12.6

Note: values are for 12V. Use 2X for 24V and 4X for 48V.

Electrical Specifications:

	12V	24V	48V
Temp. Comp. (mV/°C)*	-30mV	-60mV	-120mV
Accuracy	40mV	60mV	80mV
Min. voltage to operate	8V	8V	15V
Self-consumption	22mA	25mA	28mA
LVD current coefficient**	-20mV	-40mV	-80mV
Charge algorithm	PWM, constant voltage		
Operating temperature	-40°C to +60°C		
Digital Display:			
Operating temperature	-30°C to +85°C		
Voltage accuracy	0.5%		
Current accuracy	2.0%		
Self-consumption	1 mA		

* 25°C reference
** per amp of load

WARRANTY: Five year warranty period. Contact Morningstar or your authorized distributor for complete terms.

AUTHORIZED MORNINGSTAR DISTRIBUTOR:

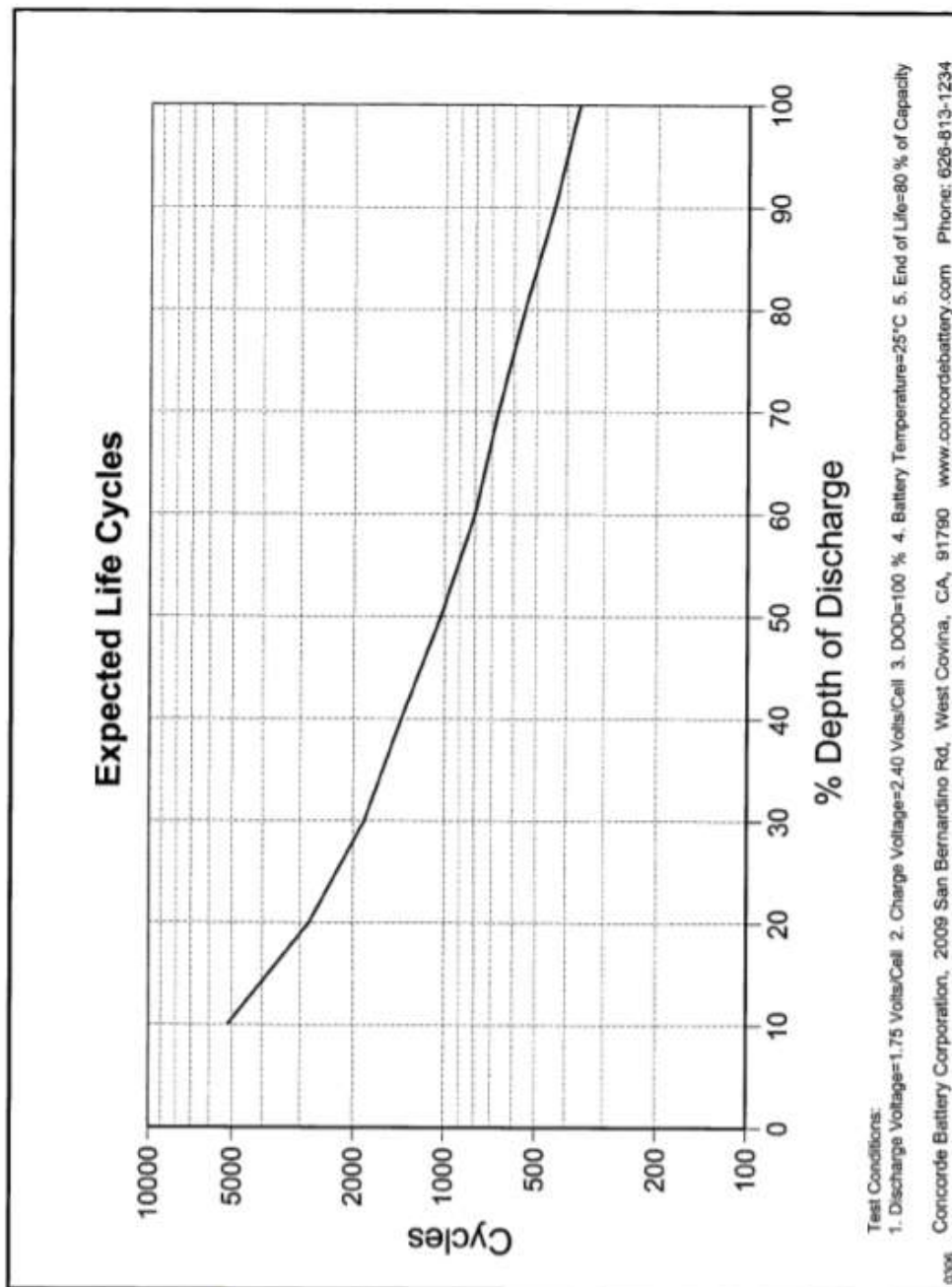


8 Pheasant Run
Newtown, PA 18940 USA
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458
E-mail: info@morningstarcorp.com
Website: www.morningstarcorp.com

© 2008-2011 MORNINGSTAR CORPORATION PRINTED IN USA 211E-K3-2/11

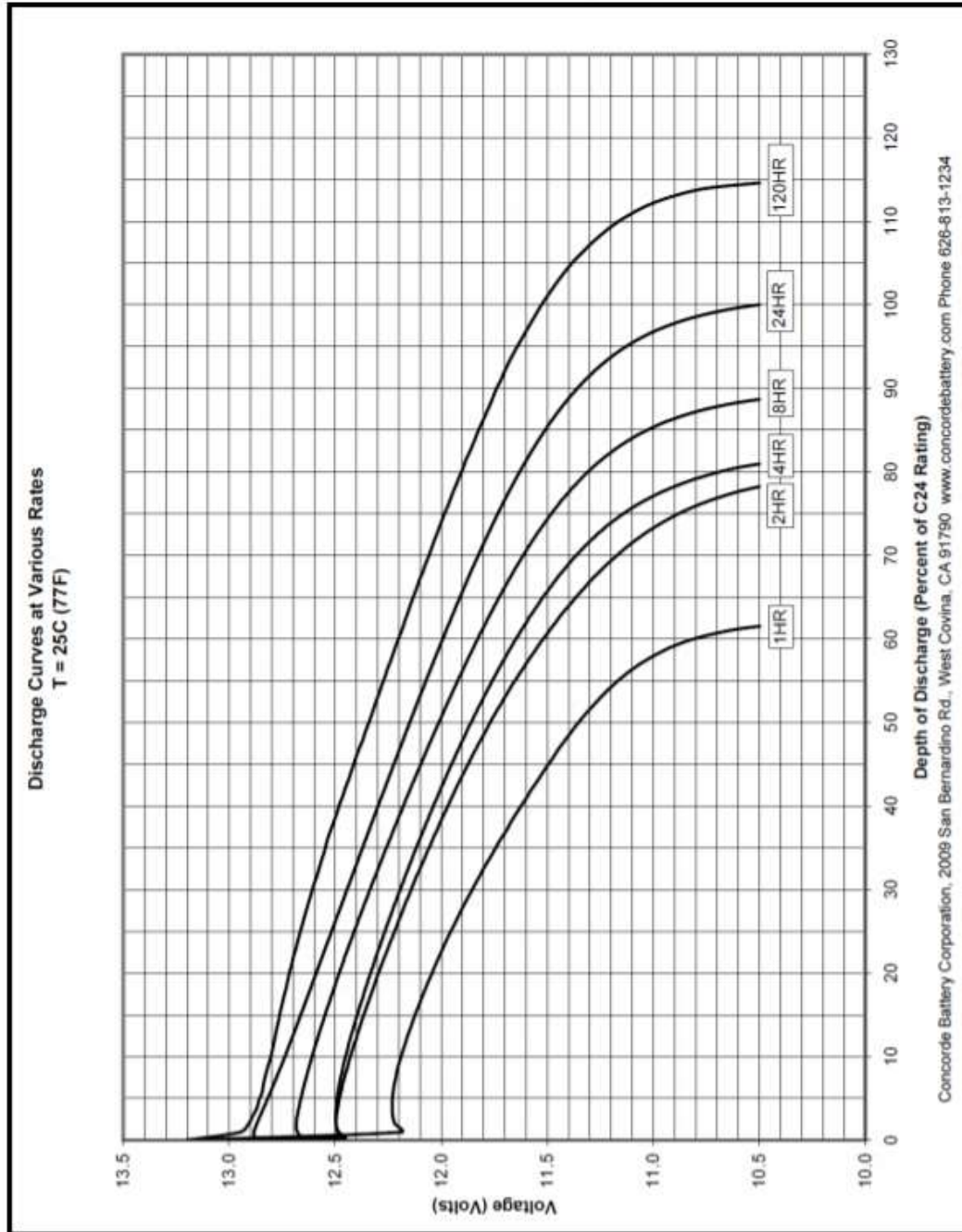


Liite 5. Nykyisen akuston arvioitu elinikä sykleissä suhteessa purkaussyvyyteen



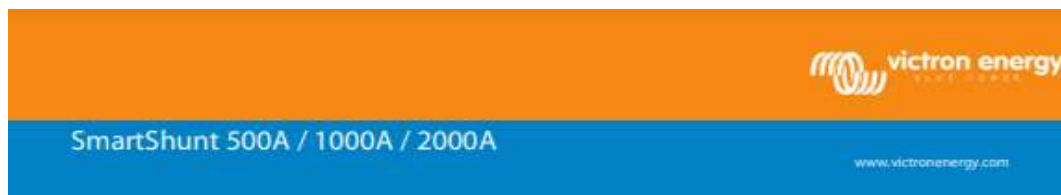
Copyright © Concorde Battery Corporation 2014

Liite 6. Purkausnopeuden vaikutus käytettävissä olevan akkukapasiteetin määrään.



Copyright © Concorde Battery Corporation 2014

Liite 7. Aurinkosähköjärjestelmän ensimmäinen laajennusvaihe. SmartShunt akkumonitorin asennus.



SmartShunt 500A



SmartShunt 1000A



SmartShunt 2000A



The SmartShunt is an all in one battery monitor, only without a display. Your phone acts as the display.

The SmartShunt connects via Bluetooth to the VictronConnect App on your phone (or tablet) and you can conveniently read out all monitored battery parameters, like state of charge, time to go, historical information and much more.

Alternatively, the SmartShunt can be connected and be read by a GX device. Connection to the SmartShunt is made via a VE.Direct cable.

The SmartShunt is a good alternative for a BMV battery monitor, especially for systems where battery monitoring is needed but less wiring and clutter is wanted.

The SmartShunt is equipped with Bluetooth, a VE.Direct port and a connection that can be used to monitor a second battery, for midpoint monitoring, or to connect a temperature sensor.

Differences compared to BMV712 Battery Monitor

- No programmable visual and audible alarm.
- No programmable relay.

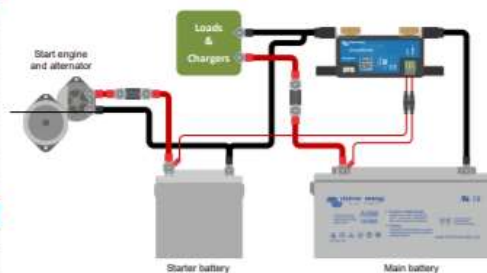


Basic SmartShunt wiring

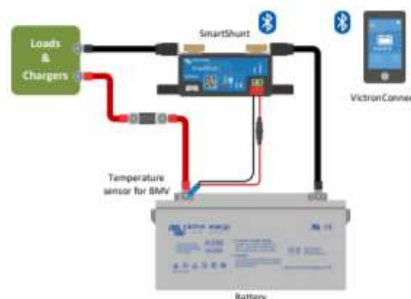


Connecting a SmartShunt to a GX device

SmartShunt	
SmartShunt	500A / 1000A / 2000A
Supply voltage range	6,5 - 70 VDC
Current draw	< 1mA
Input voltage range, auxiliary battery	6,5 - 70 VDC
Battery capacity (Ah)	1 - 9999 Ah
Operating temperature range	-40 +50°C (-40 - 120°F)
Measures voltage of second battery, or temperature, or midpoint	Yes
Temperature measurement range	-20 +50°C
VE.Direct communication port	Yes
RESOLUTION & ACCURACY	
Current	± 0,01A
Voltage	± 0,01V
Amp hours	± 0,1 Ah
State of charge (0 - 100%)	± 0,1%
Time to go	± 1 min
Temperature (if optional temperature sensor connected)	± 1°C/°F (0 - 50°C or 30 - 120°F)
Accuracy of current measurement	± 0,4%
Offset	Less than 20 / 40 / 80 mA
Accuracy of voltage measurement	± 0,3%
INSTALLATION & DIMENSIONS	
Dimensions (h x w x d)	500A: 46 x 120 x 54 mm 1000A: 68 x 120 x 54 mm 2000A: 68 x 120 x 76 mm
Protection category	IP21
STANDARDS	
Safety	EN 60335-1
Emission / Immunity	EN-IEC 61000-6-1 EN-IEC 61000-6-2 EN-IEC 61000-6-3
Automotive	EN 50498
Cables (included)	Two cables with 1A fuse, for '+' connection and starter battery or midpoint connection
Temperature sensor	Optional (ASS000100000)



Measuring voltage of the starter battery



Measuring battery temperature



Measuring battery bank midpoint

Liite 8. Aurinkosähköjärjestelmän toinen laajennusvaihe. Smart MPPT-säätimen ja akuston lämpötila-anturin lisääminen.

