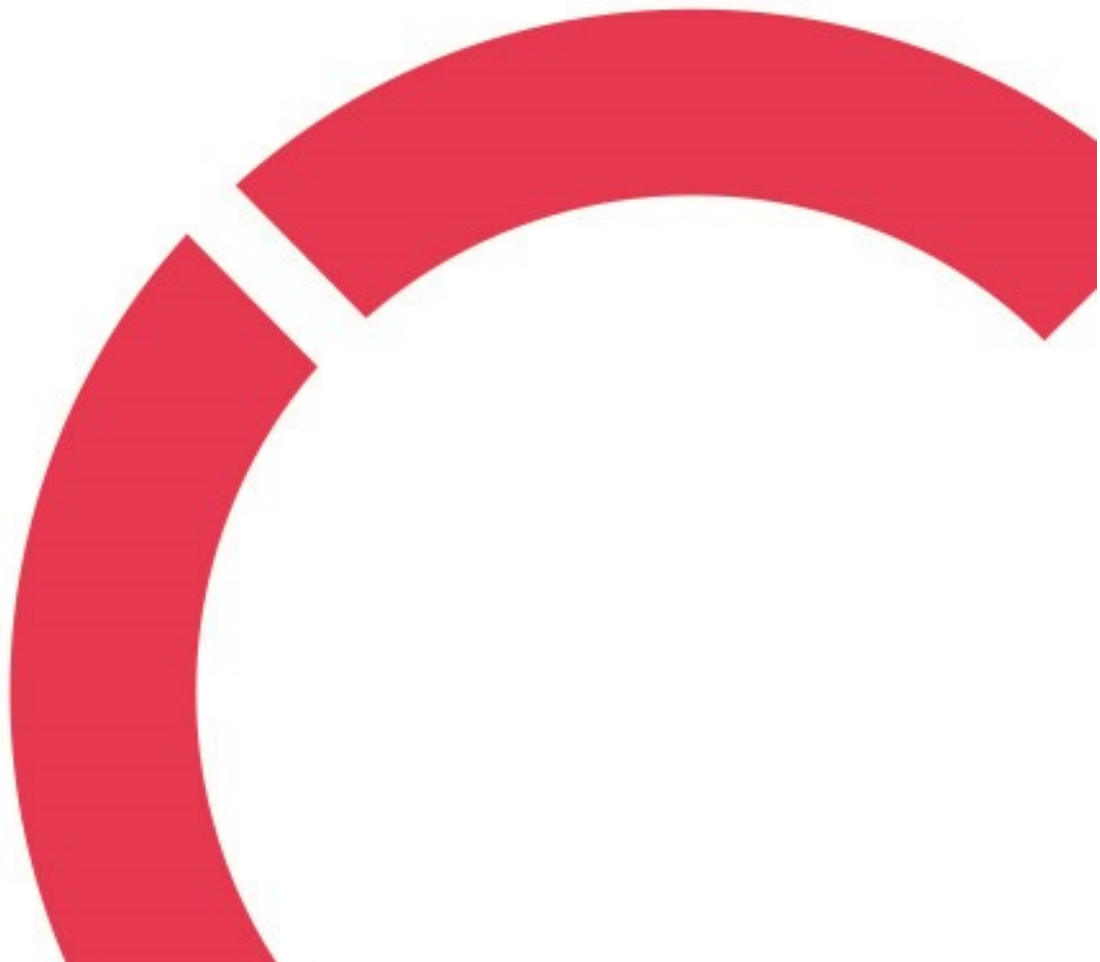


Tapio Ojala

**AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN AKUSTON
LÄMMITYKSEN OPTIMOINTI**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Huhtikuu 2023**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Huhtikuu 2023	Tekijä/tekijät Tapio Ojala
Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN AKUSTON LÄMMITYKSEN OPTIMOINTI		
Työn ohjaaja Aki Suokko		Sivumäärä 21 + 4
Työelämäohjaaja		
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin aurinkosähköjärjestelmän akuston lämmitystä ja lämmityksen vaikutusta akuston toimintaan. Työssä mitattiin akuston kennojen ominaispaineja ja napajännitteitä eri lämpötiloissa ja selvitettiin niiden vaikutusta akuston varaukseen.</p> <p>Lisäksi selvitettiin, saavutetaanko akuston lämmityksellä kustannussäästöjä verrattuna siihen, että akusto olisi suurempi.</p>		

Asiasanat

Akku, aurinkopaneeli, off-grid, ominaispaine

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date April 2023	Author Tapio Ojala
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis OPTIMISING THE MATTERY HEATING OF A SOLAR SYSTEM		
Centria supervisor Aki Suokko	Pages 21 + 4	
Instructor representing commissioning institution or company		
<p>In this thesis the goal was to study the battery heating of a solar electric systems and how the heating affects battery operation. In this work apparent density and terminal voltage of battery cells were measured in different temperatures and their impact on battery reserve was examined.</p> <p>In addition, it was examined whether the heating of the battery would result in cost savings compared to the higher battery capacity.</p>		
Key words Apparent density, battery, off-grid, solar panel		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

ANODI

Elektrodi, jolle negatiiviset ionit virtaavat, kun kennoon kytketään jännite.

AGGREGAATTI

Sähköä tuottava generaattori, jota pyöritetään polttomoottorin avulla.

KATODI

Elektrodi, joka lähettää elektroneja

MPPT

Maximum power point tracing. Syöttöjännitteen säätö siten, että suurin mahdollinen teho saadaan käyttöön.

OFF-GRID

Kokonaan yleisestä sähköverkosta irrallaan oleva järjestelmä.

OMINAISPAINO

Tiheys, joka ilmaisee massan suhteessa sen tilavuuteen.

OMINAISLÄMPÖKAPASITEETTI

Kuvaa lämpöenergian sitoutumista materiaaliin lämpötilaeroa ja massaa kohti.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 AURINKOPANEELIEN TOIMINTAPERIAATE	2
3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT	4
3.1 Aurinkopaneeli	4
3.2 Vaihtosuuntaaja	5
3.3 Akusto.....	6
3.4 Varavoima.....	8
4 KÄYTETYT MENETELMÄT JA MITTAUKSET.....	9
5 TULOKSET.....	11
6 POHDINTA	13
6.1 Yhteenveto	13
6.2 Opinnäytetyöprosessi.....	14
6.3 Loppusanat	15
LÄHTEET	16
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1.....	5
KUVIO 2.....	5
KUVAT	
KUVA 1. Victron Energy EasySolar 12/1600/70 -yhdistelmälaite	6
KUVA 2. Tutkittavassa laitteistossa käytetty akusto.....	6
KUVA 3. Laitteiston varavoimana toimiva aggregaatti	7
TAULUKOT	
TAULUKKO 1. Kennojen ominaispainot mittausten alkaessa (mittaus 1).....	9
TAULUKKO 2. Kennojen ominaispainot mittausten päättyessä (mittaus 2).....	9
TAULUKKO 3. Kennojen ominaispainot mittausten päättyessä (mittaus 3).....	10

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena selvittää off-grid-aurinkosähköjärjestelmän akuston lämmitystä, sekä optimoida se parhaan kokonaishyötysuhteen saavuttamiseksi, jolloin varavoimana toimivaa dieselaggregaattia tarvittaisiin mahdollisimman vähän. Lisäksi oli tarkoitus tutkia, onko akuston lämmityksellä saavutettavissa kustannussäästöjä verrattuna lämmittämättömään suurempaan akustoon.

Tutkittavana kohteena oli lapissa sijaitseva metsästysmökki, jota ei ole liitetty yleiseen sähköverkkoon. Työssä mitattiin aurinkopaneelijärjestelmään liitetyn akuston lämpötiloja ja ominaispaineja sekä jännitteitä ja näiden perusteella pyrittiin määrittelemään akuston varaamiselle optimaaliset olosuhteet.

Valitsin tämän aiheen, koska aurinkopaneelijärjestelmät ovat yleistymässä kovalla vauhdilla, mutta niihin liittyviä akkujärjestelmä ja varsinkaan niiden lämmitystä ei mielestäni ole tutkittu vielä tarpeeksi.

2 AURINKOPANEELIEN TOIMINTAPERIAATE

Aurinkopaneelien toiminta ja niiden sähköntuotanto perustuu auringon säteilyyn, puolijohdemateriaalien ominaisuuksiin sekä valosähköiseen ilmiöön. Valosähköinen ilmiö tarkoittaa, että sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen, eli fotoni, irrottaa alkuaineen (aurinkosähkösovelluksissa yleensä piin) atomista elektronin ja fotoni siirtää energiansa elektronille. Tähän ilmiöön perustuu aurinkopaneelin toiminta. (Lehto ym, 2021.)

Auringon säteilystä on aurinkopaneeleja käytettäessä mahdollista hyödyntää lähinnä ultraviolettisäteilyn ja lähi-infrapunasäteilyn välistä aluetta. Ultraviolettisäteilyn aallonpituus on alueella 100–380 nm ja lähi-infrapunasäteilyn aallonpituus alueella 600–1300 nm, jolloin aurinkopaneelin hyödyntämä auringon säteily on alueella 100–1300 nm. (Lehto ym, 2021.)

Auringon säteilyn intensiteetti on maan ilmakehän ulkorajalla noin $1,37 \text{ kW/m}^2$. Tämä on auringon säteilyn intensiteetin teoreettinen yläraja pinnalla ja tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Kaikki säteily ei kuitenkaan saavu maan pinnalle, ja käytännössä säteilyn intensiteetti maan pinnalla on noin 1 kW/m^2 . Sekä maantieteellinen sijainti että ilmakehän olosuhteet vaikuttavat säteilyn määrään ja säteilyn intensiteetti onkin korkeimmillaan keskipäivän aikaan päiväntasaajan kohdalla, jolloin aurinko on zenitissä eli lakipisteessä. (Lehto ym, 2021.) Vaikka tätä lukua ($1,37 \text{ kW/m}^2$) kutsutaan aurinkovakioksi, sen suuruus vaihtelee hieman. Auringonpilkkut himmentävät auringon pintaa tuhannesosalla sinä aikana, kun pilkkut kulkevat Auringon pinnan yli siltä osalta, joka on maahan päin. Auringon ollessa aktiivisimmillaan on pilkkujen ulkopuolinen osa kuitenkin pinnasta hieman kirkkaampi. Koska auringonpilkkujen esiintyminen vaihtelee 11-vuoden jaksoissa, on auringon säteilyteho pilkkujen maksimin aikana suurempi kuin pilkkujen minimin aikana, mutta ero on hyvin pieni, noin 1 W/m^2 . (Ilmatieteen laitos.)

Aurinkopaneelien yhteydessä on yleensä käytännöllisempää tarkastella auringon vuotuista kokonaissäteilymäärää. Se sisältää sekä auringosta suoraan maan pinnalle saapuvan säteilyn että ilmakehästä, pilvistä ja maan pinnasta heijastuneen säteilyn. Suomessa vuoden kokonaissäteilymäärä vaihtelee suuresti sääoloista riippuen ja on Etelä-Suomessa keskimäärin noin 980 kWh/m^2 ja Pohjois-Suomessa keskimäärin 750 kWh/m^2 . (Lehto ym, 2021.)

Aurinkosähköjärjestelmä voidaan periaatteessa asentaa mihin tahansa, missä tarvitaan sähkövirtaa, mutta käytännössä se kuitenkin kannatta asentaa paikkaan, jossa se tuottaa parhaan hyödyn. Paneelit asennetaan yleensä joko kiinteistön katolle tai maahan erillisille telineille. Asennustapa valikoituu yleensä sen mukaan, miten saadaan optioitua paras vuosituotto, sillä jos paneelit on suunnattu väärin tai ne ovat esimerkiksi puiden varjossa, vähenee niiden tuottama sähköenergia olennaisesti. (Lehto ym, 2021.)

Aurinkosähköjärjestelmän tasajännitepuolen jäädessä alle 120 V:n, voi periaatteessa kuka tahansa suorittaa sähköturvallisuuslain 56 §:n mukaan asennuksen ja asennusoikeudella S3 voidaan asentaa erotuskytkin ja ryhmäjohto vaihtosuuntaajan liittämiseksi sähköverkkoon edellyttäen, että sähkökeskuk- sen rakennetta ei ole tarvetta muuttaa. (Sähköturvallisuuslaki 2016.) Kuitenkin jos aurinkosähköjärjes- telmä liitetään osaksi yleistä sähköverkkoa, edellyttää se aina oikeutta sähkötöihin ja jakeluverkkoon liitettävällä aurinkosähköjärjestelmällä on aina oltava alueen sähköverkkoa hallinnoivan verkkoyhtiön lupa. Aurinkosähköjärjestelmä tulee asentaa sähköasennusstandardin SFS 6000 osan 7–712 *erikoistilo- jen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät* -mukaisesti ja verkkoon liitetyn aurinkosäh- köjärjestelmän asennus on tarkastettava SFS-EN 62446-1 standardin mukaisesti. (SFS 2018.) Jos lait- teistossa on akusto, koskee sitä myös standardin 5–55 kohta 551 *Pienjännitteiset generaattorilaitteis- tot*. (SFS 2017.) Jos järjestelmä on suunniteltu oikein, siinä on käytetty laadukkaita komponentteja ja sen asennus on toteutettu määräysten mukaisesti, on se sekä turvallinen että ekologinen energianlähde. (Tukes.)

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista, paneeleilta lähtevistä tasasähkökaapeleista, vaihtosuuntaajasta ja siitä lähtevistä vaihtosähkökaapeleista, erotuskytkimistä ja järjestelmän sähkökeskuksesta. Järjestelmään voidaan myös sisällyttää energiavarasto eli akusto, johon aurinkosähkölaitteiston tuottamaa sähköenergiaa voidaan varastoida. Jos järjestelmä liitetään yleiseen sähköverkkoon, täytyy kiinteistössä olla kaksisuuntaiseen mittaukseen kykenevä sähkömittari. (Tukes.)

Tutkittavassa järjestelmässä oli aurinkopaneeliston lisäksi varavoimana toimiva dieselaggregaatti, joka käynnistyy, jos akuston varaustaso laskee liian alhaiseksi.

3.1 Aurinkopaneeli

Yleisimmät kaupallisessa käytössä olevat aurinkopaneelit ovat joko yksi- tai monikidepiikkenoja. Yksikiteisen piikennon valmistuksen yhteydessä syntyvistä hionta- ja leikkuujätteistä voidaan valmistaa monikidepiikkenoja. Prosessista aiheutuu virheistä piin kiderakenteeseen ja siksi rakennetta kutsutaan monikiteiseksi. Virheet alentavat kennon hyötysuhdetta, koska ne saattavat estää elektronin poistumisen kidevirheen alueelta. Yleensä aurinkopaneelissa kennot on juotettu yhteen ja kytketty sarjaan. Rakenne kehystetään tavallisesti alumiinikehyksellä ja pinta päällystetään lasilla. Paneelin taakse asennetaan tarvittavat liittimet sekä kaapeloinnit. (Lehto ym, 2021.)

Lisäksi käytössä on ohutkalvopaneeleja, joissa materiaalina käytetään joko amorfista tai mikrokiteistä piitä. Ohutkalvopaneelissa on kerroksittain eri materiaaleja, jotka tuottavat sähköenergiaa auringonvalon eri aallonpituuksilla. (Lehto ym, 2021.)

Kehittyneemmissä kohteissa, kuten avaruussovelluksissa käytetään ns. moniliitoskennoja. Niissä rakenne koostuu kerroksittain eri puolijohdemateriaaleista. Näillä kennoilla saavutetaan korkeampi hyötysuhde, mutta kerroksissa käytetyt puolijohdemateriaalit ovat kalliita. (Lehto ym, 2021.)

Uutena kennotekniikkana on yleistymässä väriaineherkistetyt kennot. Näissä ei käytetä myrkyllisiä aineita ja ne voivat olla lähes minkä muotoisia tai värisiä tahansa tai jopa värittömiä. Väriaineherkistetyt kennon toiminta ei perustu valosähköilmiöön kuten piipohjaisten aurinkokennojen, vaan keinote-

koiseen fotosynteesiin, Tämän kennotyyppin valmistus on myös halvempaa kuin piipohjaisten kennojen valmistus. (Lehto ym, 2021.)

3.2 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja eli invertteri on laite, joka muuntaa aurinkopaneeleilta tulevan tasajännitteen (yleensä 12 V tai 24 V) 230 V/50 Hz:n vaihtojännitteeksi. Laite voi sisältää myös muita toimintoja, kuten lataussäätimen etäohjaustoimintoja ja se voi myös tallentaa historiatietoja sekä pitää virhelokia. Siinä voi olla myös esimerkiksi relekosketinohjaus varavirtageneraattorille. Aurinkosähköjärjestelmä voidaan kytkeä kiinteään sähköverkkoon vaihtosuuntaajan avulla. Järjestelmä kytketään sulakkeiden kautta ryhmä- tai mittauskeskuksessa. (Tukes.)

Tutkittavassa laitteistossa oli käytössä Victron Energy EasySolar 12/1600/70 -yhdistelmälaite (LIITE 1), joka sisältää MPPT-lataussäätimen, invertterin, käyttö- ja hallintapäätteen sekä 230 voltin vaihtojännitelähdöt (KUVA 1).



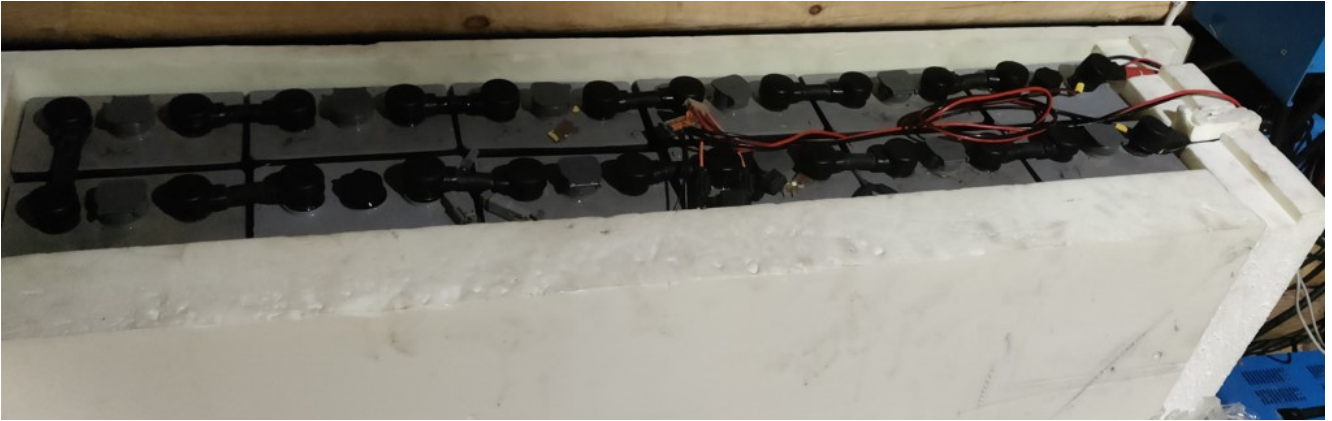
KUVA 1. Victron Energy EasySolar 12/1600/70 -yhdistelmälaite

3.3 Akusto

Akustoja käytetään tavallisimmin ns. off-grid-järjestelmissä, eli sellaisissa paikoissa, jotka ovat yleisen sähköverkon ulkopuolella, mutta niitä voidaan käyttää myös yleiseen sähköverkkoon kytketyissä aurinkosähköjärjestelmissä. Akkuina käytetään yleensä suljettuja lyijyakkuja, mutta myös avoimia akkuja voidaan käyttää, erityisesti isommissa aurinkosähköjärjestelmissä. Akkujärjestelmä tarvitsee aina lataussäätimen, joka sovittaa paneeleilta tulevan jännitteen akustolle sopivaksi. Latauksen säädin voi sisältää myös akkumonitorin, joka seuraa akuston varaustehoa ja -virtaa sekä purkaustehoa ja -virtaa. (Lehto ym, 2021.)

Lyijyakun elektrolyytinä käytetään tislattua vedellä laimennettua rikkihappoa. Positiivisena elektrodina eli anodina on lyijyoksidipitoinen levy ja negatiivisena elektrodina eli katodina on lyijylevy. Lyijyakun toiminta perustuu sähkökemialliseen reaktioon, joissa akkua ladattaessa negatiivinen elektrodi pelkistyy lyijyksi ja positiivinen elektrodi hapettuu lyijyoksidiksi sekä elektrolyytinä toimiva vesirikkihapposeos väkevöityy. Tätä ilmiötä voidaan seurata mittaamalla elektrolyytin ominaispaineen muutosta latauksen aikana. (Yleiselektronikka.)

Uutena akkutyypinä aurinkosähköjärjestelmiin on tulossa litiumakut, joilla saavutetaan perinteisiä lyijyakkuja suurempi kapasiteetti ja lataus- ja purkauskertojen eli lataussyklien määrä. Lyijyakulla on tavallisesti vain noin 500 lataussykliä, kun taas litiumakuilla on noin 2500–3000 lataussykliä. Litiumakkujen käytössä on kuitenkin huomioitava, että ne saattavat vaurioituessaan aiheuttaa vakavan tulipalovaaran, joten niiden sijoituksessa on otettava huomioon palosuojaus erityisen huolellisesti. (Markuksela 2023.)



KUVA 2. Tutkittavassa laitteistossa käytetty akusto lämpöeristeessä. Eristemateriaalina oli uretaani ja eristevahvuus oli 100 mm.

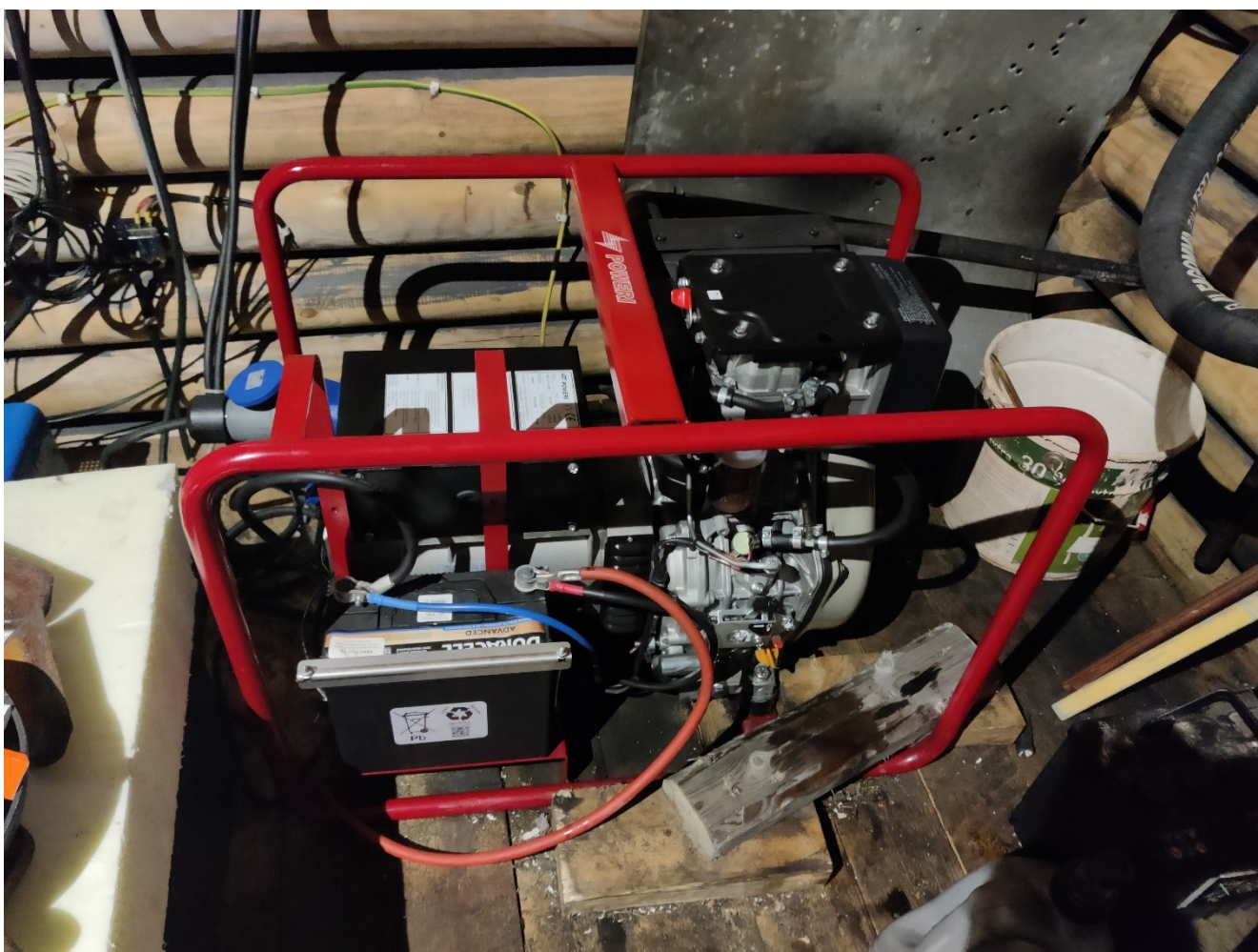
Tutkimuksen kohteena ollut akusto (KUVA 2). Akustossa on 12 kappaletta 2 voltin lyijyakkukkenoja, jonka kapasiteetti on 750 Ah (LIITE 3). Akusto on lämpöeristetty ja varustettu lämmityselementeillä. Lämmityselementteinä on käytössä Artic Battery Heater ABH5-1N akkulämmitinelementit. Lämmityselementtien toimintaa ohjataan sekä termostaatilla että akuston napajännitettä monitoroimalla. Termostaatti kytkee lämmityselementit päälle, kun akuston lämpötila alittaa 10 °C, mutta vain, jos akuston napajännite on yli 27,0 V. Lämmitys kytkeytyy pois, kun lämpötila nousee yli 20 °C:een tai napajännite laskee alle 26,2 V:n. (Articheat.)

3.4 Varavoima

Varavoimana toimivan aggregaatin toiminta perustuu polttomoottorin voimalla pyörivään generaattoriin. Generaattori tuottaa vaihtojännitettä, jota voidaan hyödyntää suoraan 230 voltin jännitteellä toimivien laitteiden käyttöön tai sillä voidaan ladata akustoa sopivan latauslaitteen avulla.

Tutkittavassa laitteistossa käytetään sähkökäynnisteistä dieselaggregaattia, joka on asetettu käynnistymään, jos aurinkosähköjärjestelmän akuston jännite laskee alle asetetun arvon. Työn kohteena olevassa laitteistossa aggregaatin tuottama vaihtojännite johdetaan invertterin ja lataussäätimen kautta, jolloin siitä saadaan tasaisempaa eikä aggregaatin käynnistyminen tai pysähtyminen aiheuta jännite- tai taajuusvaihteluita käyttöjännitteeseen.

Laitteistossa käytössä oleva aggregaatti (KUVA 3). Poweri 7551 DYSA 5,5 kW 1-vaiheinen dieselaggregaatti (LIITE 2).



KUVA 3. Laitteiston varavoimana toimiva aggregaatti

4 KÄYTETYT MENETELMÄT JA MITTAUKSET

Mittausmenetelminä käytettiin akkuhapon ominaispainon mittausta siihen tarkoitettulla ominaispainomittarilla. Ominaispainoja mitattiin jokaisesta kennosta erikseen, koska osa kennoista oli vaihdettu uusiin hiljattain. Tällä tavoin myös kennojen väliset tulivat paremmin selville.

Akuston lämpötila oli mittauksen 1 alkaessa noin 1 °C ympäröivän ulkoilman lämpötilan ollessa noin -5 °C. Lataussäädin ilmoitti akuston napajännitteeksi 25,0 voltia, joka varmistettiin vielä yleismittarilla suoraan akuston navoista.

Taulukosta 1 on nähtävissä kennojen elektrolyyttiliuoksen ominaispainot mittauksen alkaessa.

TAULUKKO 1. Kennojen elektrolyyttiliuoksen ominaispainot mittauksen alkaessa (mittaus 1).

Kenno 1 1,16 g/cm ³	Kenno 2 1,16 g/cm ³	Kenno 3 1,17 g/cm ³	Kenno 4 1,17 g/cm ³	Kenno 5 1,18 g/cm ³	Kenno 6 1,14 g/cm ³
Kenno 7 1,17 g/cm ³	Kenno 8 1,11 g/cm ³	Kenno 9 1,18 g/cm ³	Kenno 10 1,17 g/cm ³	Kenno 11 1,16 g/cm ³	Kenno 12 1,18 g/cm ³

Toisessa mittauksessa akustoa ladattiin noin kolmen tunnin ajan, jolloin lataussäädin ilmoitti latauksen alkaessa lataustehoksi noin 1000 wattia ja kolmen tunnin jälkeen latausteho oli laskenut lataussäätimen ilmoittaman mukaan noin 500 wattiin. Akuston lämpötila oli kolmen tunnin latauksen jälkeen noin 9 °C. Tässä mittauksessa lämmitys ei ollut käytössä.

Akuston jännite oli noussut kolmen tunnin aikana 25,4 volttiin ja taulukosta 2 on nähtävissä latauksen jälkeiset ominaispainot.

TAULUKKO 2. Kennojen elektrolyyttiliuoksen ominaispainot mittauksen päättyessä (mittaus 2).

Kenno 1 1,17 g/cm ³	Kenno 2 1,16 g/cm ³	Kenno 3 1,27 g/cm ³	Kenno 4 1,18 g/cm ³	Kenno 5 1,19 g/cm ³	Kenno 6 1,15 g/cm ³
Kenno 7 1,15 g/cm ³	Kenno 8 1,14 g/cm ³	Kenno 9 1,17 g/cm ³	Kenno 10 1,17 g/cm ³	Kenno 11 1,19 g/cm ³	Kenno 12 1,18 g/cm ³

Mittauksessa 3 akuston lämmitys kytkettiin päälle ja akustoa ladattiin niin kauan, kunnes lataussäätimen ilmoittama napajännite oli asettunut noin 28 volttiin ja säädin siirtyi lataavasta tilasta jännitettä ylläpitävään tilaan (LIITE 2/1). Akuston lämpötila mittauksen 3 päättyessä oli 21 °C. Taulukosta 3 nähdään lämmitettynä ladatun akuston ominaispainot.

TAULUKKO 3. Kennojen elektrolyyttiliuoksen ominaispainot mittauksen päättyessä (mittaus 3).

Kenno 1 1,20 g/cm ³	Kenno 2 1,18 g/cm ³	Kenno 3 1,21 g/cm ³	Kenno 4 1,20 g/cm ³	Kenno 5 1,22 g/cm ³	Kenno 6 1,25 g/cm ³
Kenno 7 1,20 g/cm ³	Kenno 8 1,24 g/cm ³	Kenno 9 1,22 g/cm ³	Kenno 10 1,20 g/cm ³	Kenno 11 1,20 g/cm ³	Kenno 12 1,22 g/cm ³

Akuston lämpötilaa mitattiin infrapunalämpömittarilla. Akuston napajännitettä mitattiin sekä lataussäätimen omalla jännitteenvälvontalaitteistolla, että Fluke 107 -yleismittarilla.

5 TULOKSET

Suoritetuista mittauksista voidaan huomata, että lataus lämpöeristetyssä tilassa nostaa akuston lämpöä lataussyklin aikana noin 8 °C, ympäröivän ilman lämpötilan ollessa noin -5 °C. Tämä ei kuitenkaan riitä saamaan akustoa täyteen varaukseen, sillä täyteen varatulla akulla ominaispainon tulisi olla 1,28 g/cm³. Jotta akusto saataisiin ladattua täyteen ja haluttu ominaispaino saavutettaisiin, täytyisi akuston lämpötila olla noin 25 °C (LIITE 3). Tämän takia akustoa täytyy lämmittää, että se saadaan optimaaliseen lämpötilaan myös pakkasaikana.

Lasketaan akuston lämmittämiseen tarvittava energia:

Yhden kennon massa on 39,2 kg, josta elektrolyyttiä on 9,0 kg (LIITE 3). Tällöin koko akuston massa on

$$39,2 * 12 = 470,4 \text{ kg}$$

ja elektrolyytin massa on.

$$9,0 \text{ kg} * 12 = 108 \text{ kg}$$

Tästä saadaan akuston kuivapainoksi (lyijy)

$$470,4 \text{ kg} - 108 \text{ kg} = 362,4 \text{ kg}$$

Akkuhappo on 25 % rikkihappoa, jonka tiheys on 1,84 g/cm³. (Työterveyslaitos).

Veden tiheys 20 °C on 0,998 g/cm³. (Tekniikan kaavasto, 2005).

Lasketaan veden ja rikkihapon massat liuoksesta:

$$\begin{cases} x * 0,75 * 0,998 \text{ g/cm}^3 = y * 0,25 * 1,84 \text{ g/cm}^3 \\ x + y = 108 \text{ kg} \end{cases}$$

$$\text{solve}\left(\begin{cases} 0.75 \cdot x \cdot 0.998 = 0.25 \cdot y \cdot 1.84 \\ x + y = 108 \end{cases}, \{x, y\}\right)$$

$$x = 41.1088 \text{ and } y = 66.8912$$

veden massa $x \approx 41,1 \text{ kg}$

rikkihapon massa $y \approx 66,9 \text{ kg}$

Veden ominaislämpökapasiteetti: 4,19 kJ/kg°C(Tekniikan kaavasto 2005).

Rikkihapon ominaislämpökapasiteetti: 0,996 kJ/kg°C (Tekniikan kaavasto 2005).

lyijyn ominaislämpökapasiteetti: 0,127 kJ/kg°C (Tekniikan kaavasto 2005).

Tällöin akuston lämpötilan kasvattamiseen yhdellä asteella tarvitaan energiaa:

$$4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 41,1 \text{ kg} + 0,996 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 66,9 \text{ kg} + 0,127 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 362,4 \text{ kg} = 284,87 \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C}}$$

Joka wattitunneiksi muutettuna on:

$$\frac{284,87 \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C}}}{3600 \text{ s}} = 79,1 \frac{\text{Wh}}{^\circ\text{C}}$$

Jos akuston lämpötila on siis 3 °C ja se halutaan nostaa 21 °C:seen, tarvitaan energiaa:

$$79,1 \frac{\text{Wh}}{^\circ\text{C}} * (21 \text{ }^\circ\text{C} - 3 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,424 \text{ kWh}$$

Laskuissa on oletettu akuston kuivapainon olevan täysin lyijyä ja akuston on oletettu olevan täysin eristetty järjestelmä.

6 POHDINTA

6.1 Yhteenveto

Akuston elektrolyytin ominaispaino on suoraan yhteydessä siihen, että miten hyvin akusto kykenee ottamaan virtaa vastaan. Taulukosta (LIITE 4) voidaan havaita, että lämmittämättömällä akustolla ei elektrolyytin ominaispainoa saada nousemaan tarpeeksi korkealle (TAULUKKO 2). Jos akuston kennojen ominaispaino on vain $1,18 \text{ g/cm}^3$ tasolla, ei akuston kapasiteetista ole käytettävissä kuin noin 50 %. Tämä korostuu erityisesti aurinkokennokäytössä, sillä akkuja voidaan ladata paneelien avulla vain osan aikaa päivästä.

Tässä kokeessa ja käytettävissä olevilla järjestelmillä ei kuitenkaan päästy myöskään lämmitettyjen akkujen kohdalla haluttuun ominaispainoarvoon $1,28 \text{ g/cm}^3$ ja asiantuntijan mukaan käytössä olleilla kennoilla realistisempi tavoite olisi heidän omien kokeidensa perusteella $1,26 \text{ g/cm}^3$ tasolla. (Markkuseja 2023.)

Kokeiden perusteella voidaan kuitenkin vetää johtopäätös, että akuston lämmittämiseen käytettävä energiamäärä on suhteellisen pieni verrattuna siihen, miten paljon akustosta saadaan lämmittämisen jälkeen kapasiteettia käyttöön. Testikäytössä olleen akuston teoreettinen kokonaiskapasiteetti on 750 Ah eli vallitsevalla napajännitteellä 25 V tämä vastaa energiana noin 19 kWh. Vain noin 1,5 kWh energialla voidaan akuston lämpötilaa nostaa noin $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ja siitä saadaan käyttöön suurin osa, verrattuna jos lämmittämättömän akuston käytettävissä oleva kapasiteetti on vain 50 %. Näin ollen voidaan todeta lämmityksen kannattavan selvästi. Talvikäytössä lämmittäminen joudutaan ehkä tekemään käyttäen varavoimana toimivaa aggregaattia, jotta akusto olisi valmiina ottamaan varausta vastaan heti, kun aurinkopaneelit sitä alkavat tuottamaan. Tämä vaatii käyttäjältä joko mahdollisuutta lämmittää akustoa käsikäytöllä tai sitten järjestelmä täytyisi ajastaa siten, että lämmitys kytkeytyy päälle tietyn ajan ennen auringonnousua, jolloin se ehtii lämmittää akut valmiiksi.

Tekniikan Maailma on myös testannut samoja akkulämmittimiä. He jäädyttivät akut pakastimessa $-18 \text{ }^\circ\text{C}$:seen ja lämmittivät sitten osan akuista lämmittimillä. Heidän kokeissaan lämmitettyyn akkuun pys-

tyttiin syöttämään 3,7 Ah latausenergia verrattuna -18 °C lämpötilassa olleeseen akkuun, johon saatiin syötettyä vain 1,1 Ah latausenergia 20 minuutissa. (Parviainen 2013.) Nämä kokeet oli suoritettu ajoneuvojen akuilla, mutta ne ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin opinnäytetyössä tutkittavana ollut akusto.

Itse en ehkä pyrkisi kustannussäästöihin kasvattamalla akuston kokoa ja siten vähentäisi aggregaatin käyttöä, mutta akuston lämmitys on kustannustehokas vaihtoehto saada koko olemassa oleva akkukapasiteetti tehokkaammin käyttöön.

Kyseinen kohde sijaitsee Tervolassa, joten pelkät aurinkopaneelit eivät kykene tuottamaan pimeimpinä talvikuukausina edes akun varausta ylläpitävää latausenergiaa, jolloin sähköverkon puuttuessa ainoa käytännössä toimivaksi havaittu vaihtoehto on varavoiman tuotto aggregaatilla. Toiseksi käytössä olleet ns. trukkiakut ovat melko kalliita ja jos niiden kapasiteettia ei voida hyödyntää läpi vuoden, ei myöskään akuston suurentaminen tuo käytännön lisäkapasiteettia. Tällöin näkisin kokeiden perusteella, että aggregaatin käyttö lisäenergian tuottamiseen on kustannustehokkaampi vaihtoehto.

6.2 Opinnäytetyöprosessi

Työn aihe tuli minulle niin sanotusti syliin, kun minulle tarjottiin aihetta. Olin miettinyt jo parin vuoden ajan, että haluaisin tehdä opinnäytetyöni aurinkosähköjärjestelmiin liittyen, mutta sopivaa tarkastelukulmaa ei ollut löytynyt. Aiheena akkujen lämmityksen tutkiminen oli jo itsessään mielenkiintoinen ja aurinkosähköjärjestelmien nopea yleistymisen tekee siitä erittäin ajankohtaisen tutkimusaiheen.

Työssä oli alun perin tarkoitus verrata myös aiemmin laitteiston toiminnasta kertynyttä dataa paikan päällä tehtyihin mittauksiin, mutta lopulta nämä eivät osoittautuneet tarpeellisiksi tulosten kannalta, eikä niillä olisi välttämättä saanut lisäarvoa tutkimukseen. Mittauksissa ja laitteiden testauksessa oli mukana myös asiantuntijoita, joiden työkiireet asettivat omia haasteita tutkimuksen aikataulutukselle, eikä mittauksia välttämättä pystytty suorittamaan siinä laajuudessa, missä niitä oli ehkä alun perin suunniteltu. Myös pitkä välimatka kohteeseen aiheutti omia haasteita.

Mittausten aikana sain myös huomata, että testattavan laitteiston kaltainen järjestelmä ei ole lähellekään niin toimintavarma eikä huoltovapaa kuin asiaan perehtymätön voisi kuvitella. Järjestelmässä on useita erillisiä komponentteja, joiden yhteensovittaminen ja toiminnan varmistaminen olisi itsessään jo opinnäytetyön laajuinen kokonaisuus. Työn suorittamisen aikana opin kuitenkin todella paljon uutta aurinkosähköjärjestelmien toiminnasta ja toteuttamisesta käytännön tasolla, sillä opetuksessa laitteistojen toteutukseen perehdytään enemmän teorian näkökulmasta.

6.3 Loppusanat

Opinnäytetyön teko opetti minulle kärsivällisyyttä. Työ ei valmistunut siinä laajuudessa, missä sen olin alun perin suunnitellut, mutta mielestäni sekin on osa opinnäytetyöprosessia. Tutkimuksista saatu tulos on silti tulos, vaikkei se olisikaan senkaltainen kuin on alussa ajatellut.

Erityisesti haluan kiittää Hannu Aurinkoa teknisestä tuesta ja mahdollisuudesta käyttää hänen laitteistojaan tutkimuksen kohteena. Kiitokset Akkutalon Mika Markukselalle asiantuntijalausunnoista ja erityiskiitokset puolisolalle ja perheelle tuesta ja ystäville kannustuksesta ja avusta.

LÄHTEET

- Artic Heat Control Oy *ABH akkulämmitin nesteakuille*. Saatavissa: <https://arcticheat.fi/collections/akkulammitimet/products/abh-akkulammitin-abh5-1n>. Viitattu 15.4.2023.
- Ilmatieteen laitos *Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut*. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>. Viitattu 23.3.2023.
- Lehto, I., Orrberg, M., Ylinen, M. & Andersén, M. 2021. *Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus ST-Käsikirja 40. 2.*, uudistettu painos. Espoo: Sähkötieto Ry.
- Markuksela, M. 2023. Asiantuntijahaastattelu 13.2.2023. Akkutalo Esko Markuksela. Oulu.
- Parviainen, H. 2013. Akkulämmitimet, *Tekniikan Maailma*. 2013, 20, 38–41.
- SFS 6000-5-55 *Piensähköasennukset. Osa 5–55: Sähkölaitteiden valitseminen. Muut sähkölaitteet*. 2017. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS
- SFS-EN 62446 *Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönototestit ja tarkastus*. 2018. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS
- Sähköturvallisuuslaki* 16.12.2016/1135. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>. Viitattu 9.1.2023
- Tekniikan kaavasto*. 2019. 19. painos. Porvoo: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy
- Tukes (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto). *Aurinkosähköjärjestelmät*. Saatavissa: <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>. Viitattu 9.1.2023.
- Työterveyslaitos *OVA-ohjeet / rikkihappo*. Saatavissa: <https://ova.ttl.fi/rikkihappo>. Viitattu 23.3.2023.
- Yleiselektroniikka *Lyijyakun toiminta*. Saatavissa: <https://www.yeint.fi/uutiset/lyijyakun-hyodyt>. Viitattu 15.4.2023

EasySolar 12V and 24V, 1600VA

The all-in-one solar power solution

www.victronenergy.com



All-in-one solar power solution

The EasySolar combines a MPPT solar charge controller, an inverter/charger and AC distribution in one enclosure.

The product is easy to install, with a minimum of wiring.

The solar charge controller: Blue Solar MPPT 100/50

Up to three strings of PV panels can be connected to three sets of MC4 (PV-ST01) PV connectors.

The inverter/charger: MultiPlus Compact 12/1600/70 or 24/1600/40

The MPPT charge controller and the MultiPlus Compact inverter/charger share the DC battery cables (included). The batteries can be charged with solar power (SmartSolar MPPT) and/or with AC power (inverter/charger) from the utility grid or a genset.

AC distribution

The AC distribution consists of a RCD (30 mA/16 A) and four AC outputs protected by two 10A and two 16A circuit breakers.

One 16A output is controlled by the AC input: it will switch on only when AC is available.

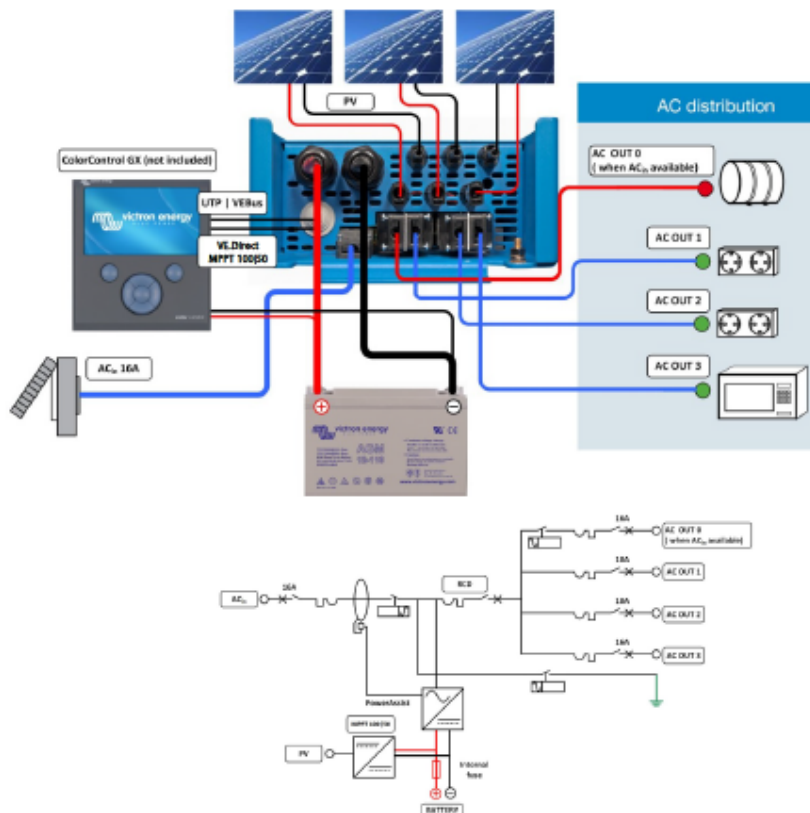
PowerAssist

Unique PowerAssist technology protects the utility or generator supply from being overloaded by adding extra inverter power when needed.

Unique solar application software

Several software programs (Assistants) are available to configure the system for various grid interactive or stand-alone applications. Please see

<http://www.victronenergy.nl/support-and-downloads/software/>



EasySolar	EasySolar 12/1600/70	EasySolar 24/1600/40
Inverter/charger		
Transfer switch	16A	
INVERTER		
Input voltage range	9,5 – 17V	19 – 33V
'Heavy duty' output AC 0	16A	
Output AC1, 2, 3	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)	
Cont. output power at 25°C (3)	1600VA / 1300W	
Cont. output power at 40°C	1200W	
Peak power	3000W	
Maximum efficiency	92%	94%
Zero load power	8W	10W
Zero load power in search mode	2W	3W
CHARGER		
AC Input	Input voltage range: 187-265VAC Input frequency: 45 – 65Hz Power factor: 1	
Charge voltage 'absorption'	14,4V	28,8V
Charge voltage 'float'	13,8V	27,6V
Storage mode	13,2V	26,4V
Charge current house battery (4)	70A	40A
Charge current starter battery (A)	4	
Battery temperature sensor	Yes	
Programmable relay (5)	Yes	
Protection (2)	a – g	
Solar Charge Controller		
Model	MPPT 100/50	
Maximum output current	50A	
Maximum PV power, 6a,b)	700W	1400W
Maximum PV open circuit voltage	100V	100V
Maximum efficiency	98%	
Self-consumption	10 mA	
Charge voltage 'absorption', default setting	14,4V	28,8V
Charge voltage 'float', default setting	13,8V	27,6V
Charge algorithm	multi-stage adaptive	
Temperature compensation	-16mV/°C	-32mV/°C
Protection	a – g	
COMMON CHARACTERISTICS		
Operating temp. range	-20 to +50°C (fan assisted cooling)	
Humidity (non-condensing):	max 95%	
ENCLOSURE		
Material & Colour	aluminium (blue RAL 5012)	
Protection category	IP 21	
Battery-connection	Battery cables of 1.5 meter	
PV connection	Three sets of MC4 (PV-ST01) PV connectors.	
230 V AC-connection	G-ST18i connector	
Weight	15kg	
Dimensions (h x w x d)	745 x 214 x 110mm	
STANDARDS		
Safety	EN 60335-1, EN 60335-2-29, EN 62109	
Emission / Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN 61000-3-3	
Automotive Directive	2004/104/EC	
1) Can be adjusted to 60Hz and to 240V 2) Protection a. Output short circuit b. Overload c. Battery voltage too high d. Battery voltage too low e. Temperature too high f. 230 VAC on inverter output g. Input voltage ripple too high	3) Non-linear load, crest factor 3:1 4) At 25°C ambient 5) Programmable relay which can be set for general alarm, DC under voltage or genset start signal function 6a) If more PV power is connected, the controller will limit input power to 700W resp. 1400W 6b) PV voltage must exceed Vbat + 5V for the controller to start. Thereafter minimum PV voltage is Vbat + 1V	

POWERI**SÄHKÖAGGREGAATTI****5,5 kW**
1-vaiheinen**7551 DYSA**

Tyyppi:	POWERI 7551 DYSA
Maksimi teho:	5,5 kVA
Jatkuva teho:	5,5 kW
Suosituusteho:	3,0 kW
Suojakehä:	Suojakehä 25 mm putkesta.
Mitat:	Pituus: 800 mm Leveys: 500 mm Korkeus: 590 mm
Paino:	99 kg
Takuu:	2 vuotta
MOOTTORI	YANMAR Diesel-moottori
Tyyppi:	L 100 V
Nimellisteho:	6,3 kW / 8,5 hv
Jatkuva teho:	5,7 kW / 7,7 hv @3000 rpm
Sylinteriluku:	1-sylinterinen
Sylinteritilavuus:	435 cm ³ (d 86 mm x isku 75 mm)
Voitelujärjestelmä:	Painevoitelu
Öljynvartija:	Merkkivalo / Kaukokäynnisteisessä pys.
Polttoaine:	Diesel- / moottoripolttoöljy
Polttoaines. til:	5,4 litraa
Polttoaineen kulutus:	0,5 l/h (kuormittamattomana) 2,1 l/h (75% kuormalla)
Käyttöaika:	2,5 – 10 tuntia tankillisella
Melutaso:	LWA 98, 82 dB(A) 7m
Jäähdytys:	Ilmajäähdytteinen
Käynnistys:	Sähkö- ja narukäynnisteinen
GENERAATTORI	MeccAlte ES16F, itseherätteinen, itsesäätöinen tahtigeneraattori, (AVR) jännitteensäätimellä
Ylikuormitettavuus:	I _{MAX} = 300 % x I _n (20 s)
Teho:	5,5 kVA
Jännite:	230 V / 50 Hz
Pistorasiapäätty:	2 kpl SUKO-pistorasioita + Ylikuormitussuoja
LISÄVARUSTEET esim.	<ul style="list-style-type: none"> • Kaukokäynnistys (KK.D) • Käynnistys-automaattikka (AK1/AK2) • Pakoputken kierrelaitos (PA.K) • Pakoputken joustin (PA.J) • Lisäpolttoainesäiliö 40 litraa (PA40) • Polttoainepumppu (PAP.D) • Tynnyriliitäntä (PA.TL) • Pyöräsarjat (PY) • Sekä "Räätälöidyt" mallit



Hollolan Sähköautomaattikka Oy
Höyläajankatu 5
15520 LAHTI
Finland

Puh. (03) 884 230
Telefax (03) 884 2310
Tel. Int. +358 3 884 230
Fax. Int. +358 3 884 2310

HSA Oy

www.hsaoy.com
E-mail: hsa@hsaoy.com

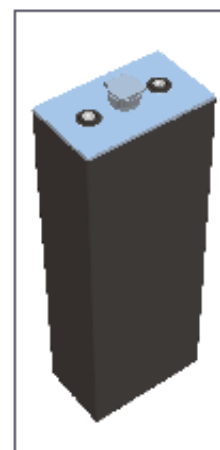
6PzS 750

(2V750Ah/5HR)



Specification

Voltage Per Unit	2V(single cell)
Capacity	750Ah@5hr-rate to 1.70V per cell @25°C
Weight	Approx. without electrolyte 30.2 Kg Approx. including electrolyte 39.2 Kg
High Rate Discharge Current	750 A
Operating Temperature Range	Discharge: -40°C~60°C Charge: -20°C~50°C Storage: -40°C~60°C
Optimal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Maximum Charging Current	112.5 A
Cycle charged	2.65 to 2.85 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	Self-discharge ratio less than 5% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	D2(M10 Copper Terminals) & D4(Lead Terminals)
Dimensions (L×W×H×TH)	119mm×198mm×570mm×600mm(Total High)



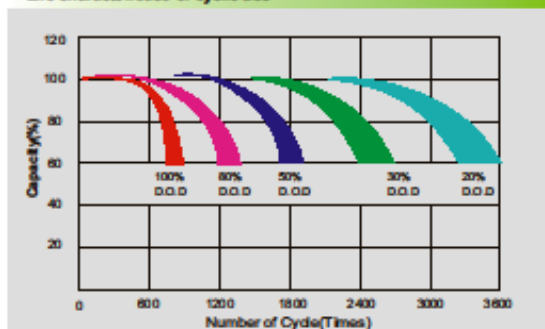
Constant Current Discharge Characteristics : A(25 °C)

F.V/Time	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	6HR	8HR	10HR
1.60V	710.5	497.5	288.2	215.8	176.1	157.9	136.9	106.6	88.0
1.65V	694.2	486.1	281.6	210.9	172.1	154.3	133.8	104.2	86.0
1.70V	674.8	472.5	273.8	205.0	167.3	150.0	130.0	101.3	83.6
1.75V	649.0	454.3	263.2	197.1	160.8	144.2	125.0	97.4	80.4
1.80V	619.6	433.9	251.4	188.2	153.6	137.7	119.4	93.0	76.8
1.85V	587.0	411.2	238.2	178.4	145.5	130.5	113.1	88.1	72.8

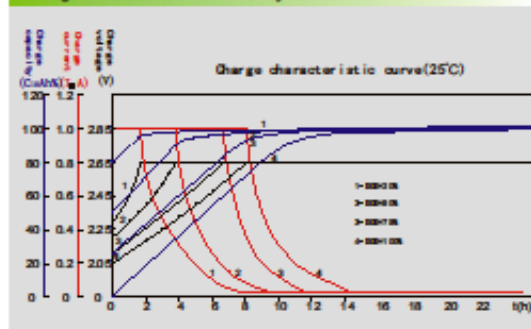
Constant Power Discharge Characteristics : W(25 °C)

F.V/Time	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	6HR	8HR	10HR
1.60V	1328.8	958.1	566.2	428.1	349.8	314.0	272.2	212.1	175.4
1.65V	1304.9	938.3	554.5	420.1	343.0	307.9	266.9	208.0	171.9
1.70V	1283.1	913.4	539.8	409.7	334.2	300.0	260.0	202.5	167.3
1.75V	1235.0	878.7	519.2	393.9	321.4	288.5	250.0	194.7	160.8
1.80V	1180.3	843.6	498.5	376.2	307.2	275.5	238.8	185.9	153.6
1.85V	1124.8	805.4	476.0	356.8	291.1	261.1	226.3	176.2	145.5

Life characteristics of cyclic use



Charge characteristic Curve for cycle use



LYIJYAKUN JÄNNITETASO

Koskee varsinkin nestetäytteisiä ja kennomaisia autokäyttöön tarkoitettuja akkuja

Jännite V	Varaustaso	OmP g/cm ³	Kommentti
15,5			
15,4			
15,3			
15,2			
15,1			
15,0			Yli 15V Latausjännite rasittaa akkua ja kiehuttaa nesteitä
14,9			
14,8			
14,7			
14,6			
14,5			14.4-14.8V Hyvin yleinen autojen latausjännite talviolosuhteissa
14,4			
14,3			
14,2			
14,1			14.0-14.2V Suositeltava latausjännite autokäytössä
14,0			
13,9			
13,8			
13,7			13.5-13.8V Riittää auton latausjännitteeksi kesäkelissä, käytetään yleensä vanhemmissa autoissa
13,6			
13,5			
13,4			
13,3			13.1-13.4V on hyvä ylläpitolatausjännite
13,2			
13,1			
13,0			
12,9			
12,8	100 %	1,28	Täysi akku. Täyden akun pakkaskesto on jopa -67 °C
12,7	95 %	1,27	Täyteen varattu ehjä ja hyvä akku n. 24h kuluttua
12,6	90 %	1,26	viimeisestä täyteen lataamisesta
12,5	85 %	1,25	
12,4	75 %	1,23	75% Kohdalla akku kannattaa ladata, koska sen alitus kuluttaa akkua huomattavasti. Pakkaskesto -35 °C
12,3	70 %	1,22	
12,2	60 %	1,20	
12,1	50 %	1,18	
12,0	40 %	1,16	Pidempään alle 50% varauksessa säilytetty akku pilaantuu hyvin nopeasti. Pakkaskesto enää -18 °C
11,9	30 %	1,14	
11,8	25 %	1,13	
11,7	20 %	1,12	
11,6	10 %	1,10	
11,5			
11,4			
11,3			
11,2			
11,1			
11,0	0 %	1,00	Tyhjän akun elektrolyytti on pelkkää vettä, pakkaskesto vain -5 °C
10,9			
10,8			
10,7			Alle 11V akussa on yleensä vähintään yksittäinen kenno oikosulussa tai muuten kuoleentunut
10,6			
10,5			
...			

Kaikki arvot @ 20°C, Lämpötilan vaikutus -0.022V/°C

Copyright(c): Miljoonalaatikko, Juha Jokinen 2010