

Konsta Viljakainen

TUULI- JA AURINKOENERGIAN  
TUTKIMUSYMPÄRISTÖN  
KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikka


Helmikuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä
Tekijä(t) Konsta Viljakainen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikanko./sähkövoimatekniikka
Nimeke Tuuli- ja aurinkoenergian tutkimusympäristön kehittäminen		
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua tuuli- ja aurinkoenergian sovelluksiin sekä kehittää tutkimusympäristö Mikkelin ammattikorkeakoululle. Tavoitteena oli kehittää mittauslaitteisto, joka mittaa tuuligeneraattorin ja aurinkopaneelien tuottamaa energiaa sekä vallitsevia tuuli- ja aurinko-olosuhteita. Mittausdata olisi myös kyettävä tallentamaan myöhempää hyödyntämistä varten. Automatiikan tulisi ohjata akuston kuormitusta sen varaustilan mukaan. Laitteiston tuottama energia tulitaisiin hyödyntämään oppilaitoksella rakennetun muunnossähköauton akkujen lataamiseen.</p> <p>Työssä perehdyttiin tuuli- ja aurinkoenergian erilaisiin sovelluksiin lukemalla aiheeseen liittyvää kirjallisuutta sekä sähköisessä muodossa olevia oppaita. Työssä otettiin myös selvää sovelluksissa käytössä olevista laitteistoista sekä tutkittiin eri laitteiden ohjekirjoja ja datalehtiä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin toimiva tuuli- ja aurinkoenergian tutkimusympäristö. Laitteisto valvoo tuuli- ja aurinkoenergialla ladattavien akkujen jännitetasoa ja ohjaa niiden kuormittamista automaattisesti sekä tallentaa saadut energian- ja säänmittaustulokset. Laitteiston toimintaa on mahdollista valvota internetin välityksellä sekä valvomo-/ohjaustietokoneelta. Ohjaamisen ja mittausten käsittelyn hoitaa Wago 750–881 ohjelmoitava logiikka.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> tuulienergia, aurinkoenergia, aurinkopaneeli, automaatio, mittaaminen		
Sivumäärä 33+8 liitettä	Kieli Suomi	URN <a href="http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201403203340">http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201403203340</a>
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Teemu Manninen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin ammattikorkeakoulu

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Konsta Viljakainen	<b>Degree programme and option</b> Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  The developing of wind- and solar-energy research environment		
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this thesis was to develop wind and solar energy research environment for the Mikkeli University of Applied Sciences. The aim was to develop a measurement system that measures the energy which is produced by wind and solar energy. Also the prevailing weather conditions should be measured and the measurement data should also be able to save for the future use. The produced energy would be used to charge university's own electric car.</p> <p>The thesis included a lot of examination of wind and solar energy literature and information about used hardware. A lot of equipment manuals and datasheets were also read. Installation of equipment was a part of this thesis.</p> <p>The result of this thesis was a functional measurement equipment that stores the obtained measurement data automatically. The equipment also monitors the charge state of batteries which are loaded with wind and solar energy. Control of the equipment can be done via the internet or with control room computer.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  windenergy, solarenergy, solarpanel, automation, measuring		
<b>Pages</b> 33+8 appendices	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Teemu Manninen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Mikkeli University of Applied Sciences	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	AURINKOENERGIA.....	2
2.1	Auringonsäteily.....	2
2.2	Säteilyn vastaanottamisen tehostaminen eri keinoin .....	3
2.3	Aurinkopaneelit .....	4
3	TUULIENERGIA .....	5
3.1	Tuulivoimalan toimintaperiaatteet.....	5
3.2	Pientuulivoimala .....	6
3.2.1	Pientuulivoimalan teoriaa .....	7
3.2.2	Pientuulivoimalan suojaaminen myrskyltä.....	7
4	ENERGIAN VARASTOINTI JA KÄYTTÖ.....	8
5	SÄHKÖENERGIAN VARASTOINTI.....	8
6	LATAUSSÄÄTIMET .....	9
6.1	PWM-lataussäädin.....	9
6.2	MPPT-lataussäädin .....	10
7	SÄHKÖSUUREIDEN MITTAAMINEN.....	10
7.1	Tasavirran mittaaminen .....	10
7.2	Jännitteen mittaaminen .....	12
8	OHJELMOITAVAT LOGIIKAT .....	13
8.1	PLC:n rakenne .....	13
8.2	Tulot ja lähdöt.....	14
8.3	Ohjelmointi .....	14
9	TUTKIMUSLAITTEISTO .....	14
9.1	Aurinkopaneelit .....	15
9.2	Tuuligeneraattori.....	15
9.3	Hybridilataussäädin .....	16
9.4	Akusto.....	17
9.5	Invertteri ja ”ohisyöttö” .....	18
9.6	Mittaaminen .....	19
9.6.1	Tuulen nopeuden ja suunnan mittaaminen .....	19

9.6.2	Auringon intensiteetin mittaaminen.....	20
9.6.3	Akkujen jännitteen mittaaminen.....	21
9.6.4	Virran mittaaminen.....	21
9.7	Ohjelmitava logiikka ja mittaustiedontallennus.....	23
9.8	Wago 750–881 -logiikka.....	24
9.9	Logiikan ohjelmointi.....	25
9.9.1	Ohjelma ja sen toiminta.....	25
9.9.2	MySQL-tietokannan luominen.....	30
10	POHDINTA.....	31
	LÄHTEET.....	32

## LIITTEET

- 1 Tuulienergian erilaisia sovelluksia
- 2 Aurinkopaneelien tekniset tiedot
- 3 Tuulianturin datalehti
- 4 Pyranometrin datalehti
- 5 Invertterin datalehti
- 6 Akkujen datalehti
- 7 Wago 750–881 ohjelmitavan logiikan datalehti
- 8 Virta-anturien datalehti

## 1 JOHDANTO

Uusiutuvien energiamuotojen suosio on jatkuvassa nousussa. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on pakottanut useita valtioita tekemään sopimuksia uusiutuvien energiamuotojen osuuden kasvattamisesta kokonaisenergiantuotannostaan. Suurinta kasvu on ollut tuulivoiman osalta, mutta myös muiden energiamuotojen hyödyntäminen on kasvanut. Nykyihmisten valveutuneisuus ilmastollisiin kysymyksiin on myös kasvattanut uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämistä vapaa-ajanasunnoissa sekä omakotitaloissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutustua tuuli- ja aurinkoenergian sovelluksiin, sekä kehittää tutkimusympäristö Mikkelin ammattikorkeakoulun sähköosastolle opetus ja laboratoriokäyttöön. Opinnäytetyön ideaa oli oppilaitoksessa pohdittu jo aikaisemmin, kun oppilaitoksella suunniteltiin muunnossähköauton rakentamista ja sille uusiutuvan energian tuottamista tuuli- ja aurinkosähkölaitteilla. Tuuligeneraattorin asennus oli suoritettu jo aikaisemmin, joten tämän työn tekniseen osaan kuuluu aurinkopaneelien asentaminen sekä mittauslaitteistojen kehittäminen ja asentaminen.

Työssä käsitellään tuuli- ja aurinkosähkösovelluksien teoriaa. Pääasiassa työ keskittyy tuuli- ja aurinkosähkön pienoissovelluksiin sekä niihin kuuluviin laitteistoihin. Lisäksi työssä perehdytään ohjelmoitaviin logiikkoihin, koska laitteiston automatisointi tehtiin ohjelmoitavalla logiikalla. Työssä käydään myös tutkimusympäristön kehittämiseen liittyviä vaiheita sekä komponentteja ja niiden toimintaa seikkaperäisesti lävitse.

## 2 AURINKOENERGIA

Tässä luvussa käsitellään auringon tuottamaa säteilyenergiaa sekä sen hyödyntämistä energiaksi. Luvussa perehdytään myös aurinkopaneelien rakenteeseen ja toimintaan sekä auringon säteilyn vastaanottamisen tehostamiskeinoihin. Aurinkoenergian hyödyntämiseen on jo nykypäivänä paljon erilaisia sovellutuksia, sekä jatkuvasti on kehitteillä uusia ja tehokkaampia menetelmiä taltioida tätä uusiutuvaa energiamuotoa. Yleensä aurinkoenergi Sovellukset jaetaan lämpöä ja sähköä tuottaviksi sovelluksiksi. Tässä työssä käsitellään ainoastaan aurinkoenergian hyödyntämistä sähköenergiaksi aurinkopaneeleilla. /4./

Auringon maapallolle tuottaman säteilyenergian määrä on valtava. Se on noin 20000 kertaa sama määrä energiaa, mitä teollisuuteen ja lämmityksiin maapallolla tällä hetkellä kulutetaan. Auringosta saatava energia on uusiutuvaa, eikä siitä synny haitallisia päästöjä, eikä sillä ole lainkaan polttoainekustannuksia. Ainoastaan laitteistojen rakentamisessa ja kierrättämisessä syntyy päästöjä. Aurinkoenergiaa on pidetty kalliina joutuksen sen korkeista valmistuskustannuksista. Nykypäivänä aurinkoenergian kysyntä on jatkuvassa kasvussa, joka on osaltaan vaikuttanut sen hinnankehitykseen. Valmistuskustannukset ovat myös pienentyneet valmistustekniikoiden kehittymisen johdosta. Joidenkin asiantuntijoiden mukaan aurinkoenergian hinta tulee tippumaan fossiilisten polttoaineiden tasolle. /1; 2, s. 10; 3./

### 2.1 Auringonsäteily

Auringon säteilyn intensiteetti maanpinnalla on keskimäärin  $800-1000\text{w/m}^2$ . Suomessa se on keskimäärin noin  $900\text{w/m}^2$ . Ilmakehässä olevat saasteet, vesihöyry, molekyylit yms. vaikuttavat maan pinnalle tulevaan säteilyyn. Maanpinnalle tuleva säteily jakaantuu 3 ryhmään: suora auringonsäteily, hajasäteily sekä ilmakehän vastasäteily. Suoralla auringon säteilyllä tarkoitetaan suoraan ilmakehän läpi tulevaa säteilyä. Hajasäteily on ilmakehästä, pilvistä sekä maasta heijastuvaa säteilyä. Ilmakehän vastasäteily on siinä olevien vesihöyryn, hiilidioksidin ja otsonin aiheuttamaa lämpösäteilyä takaisin maan pinnalle. Pilvisellä kelillä jopa 80 % valosta voi olla hajasäteilyä, kun taas kirkkaalla kelillä sama luku on noin 20 %. Suomen säteilystä noin puolet on keskimäärin hajasäteilyä. Yleensä säteilyn mittaus tapahtuu vaakatasossa. /2, s 10–13./

## 2.2 Säteilyn vastaanottamisen tehostaminen eri keinoin

Auringon säteilyn tehokkaaseen ja optimaaliseen hyödyntämiseen vaikuttaa moni eri tekijä. On hyvä huomioida nämä eri tekijät suunniteltaessa aurinkoenergiaa hyödyntäviä laitteistoja. Laitteiston sijoittaminen on hyvä suunnitella huolella, koska eteenkin aurinkopaneelien tulee olla varjottomassa paikassa. Sijoittaminen vaikuttaa merkittävästi paneelien tuottoon. Eteenkin Suomessa tämä asettaa haasteita, sillä talvella aurinko ei nouse kovinkaan korkealle ja varjot ovat pidempiä kuin kesällä. Aurinkopaneelissa on useita sarjaan kytkettyjä kennoja. Jos paneeli osittain joutuu varjoon, heikentyy sen virrankulku. /2, s. 15./

Laitteiston suuntaaminen ilmansuuntiin nähden eli atsimuuttikulman mukaan vaikuttaa myös paneelien tuottavuuteen. Yleensä laitteisto suunnataan kiinteissä asennuksissa etelää kohden, koska aurinko paistaa etelästä korkeimmillaan keskipäivällä. Suuntausta voi myös muuttaa sen mukaan, milloin järjestelmälle tulee suurimmat kuormitushuiput. Esimerkiksi jos aamulla järjestelmää kuormitetaan eniten, voidaan se suunnata enemmän kohti aamuaurinkoa. Kokovuotisen tuoton optimoimiseksi suuntauskulma voi poiketa etelästä  $\pm 45^\circ$ , näin häviöt jäävät n. 7 % suuruisiksi. /2, s. 15./

Kallistuskulma vaikuttaa enemmän paneelien tuottavuuteen kuin suuntauskulma, siksi onkin tärkeää miettiä jo järjestelmää suunniteltaessa, että mihin vuodenaikaan aurinkoenergialaitteiston käyttö pääasiassa sijoittuu. Jos laitteistoa käytetään vain kesäaikaan, niin silloin kallistuskulmaksi tulisi säätää noin  $30^\circ$ . Talviaikaan sijoittuvan käytön optimaalisin kallistuskulma on noin  $70-85^\circ$ . Mikäli laitteisto on käytössä ympäri vuoden, niin se kannattaa asettaa noin  $45^\circ$  kallistuskulmaan optimaalisen sähköntuoton kannalta. Nämä kallistuskulmat ovat suositeltuja kiinteästi asennettaville laitteistoille Suomen leveysasteilla. /2, s. 15; 5./

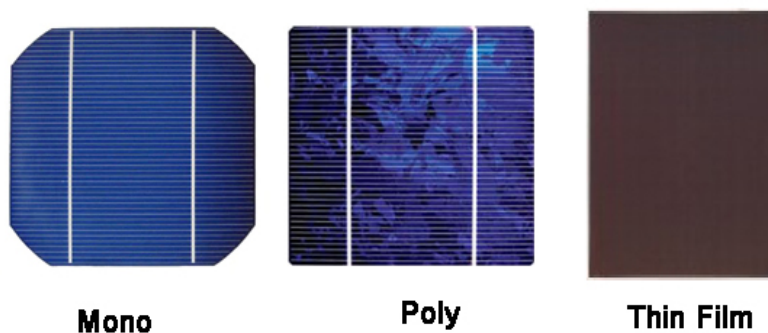
Laitteiston toimintaa voidaan myös tehosta erilaisilla seurantalaitteilla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että paneelit asennetaan alustaan, jossa on yksi tai kaksi eri suuntaan toimivaa automaattista säätölaitetta, jotka säätävät paneelien kulmaa aurinkoon nähden. Seurantalaitteita on käytössä kolmea eri mallia: kaksiakselinen malli, joka säätää sekä tulokulmaa että kallistuskulmaa, atsimuuttiseurantalaite, joka seuraa aurinkoa ilmansuunnan mukaan idästä länteen, sekä yhden akselin seurantalaite, joka kääntyy akselinsa ympäri samassa tasossa kuin aurinkoenergialaitte. Näistä tehok-



kaimmin toimii kahden akselin seurantalaitte. Talvella seurantalaitteilla ei juurikaan saavuteta hyötyä johtuen päivän pituudesta. Kesäaikaan seurantalaitteilla voidaan teoriassa päästä jopa 60 % tehontuoton parantamiseen. On hyvä kuitenkin muistaa, että seurantalaitteetkin tarvitsevat toimiakseen energiaa, joka laskee kahden akselin seurantalaitteiston kannattavuutta. Kahden akselin seurantalaitteistolla saavutetaan noin 30 % lisäenergian tuotanto. /2, s. 16- 17./

### 2.3 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeli koostuu kennoista, jotka on valmistettu puolijohdemateriaalista yleisimmin piistä. Aurinkokennotyyppejä on kolme erilaista: kiteinen, yksikiteinen ja amorfinen piikkenno (ohutkalvo). Kuvassa 1 näkyy eri piin muodot aurinkokennoissa. Kennoja valmistetaan ”kasvattamalla” piistä tanko, josta leikataan sopivan paksuinen piikiekkko. Piikiekkoon kerrostetaan molemmille puolille puolijohdepinnat, joiden välille aurinko synnyttää elektronisen varauksen eli jännitteen. Kun halutaan valmistaa aurinkopaneelit tietylle jännitetasolle, kytketään piikkennoja sarjaan, jolloin paneelin jännite nousee halutuksi. /1;6;7./



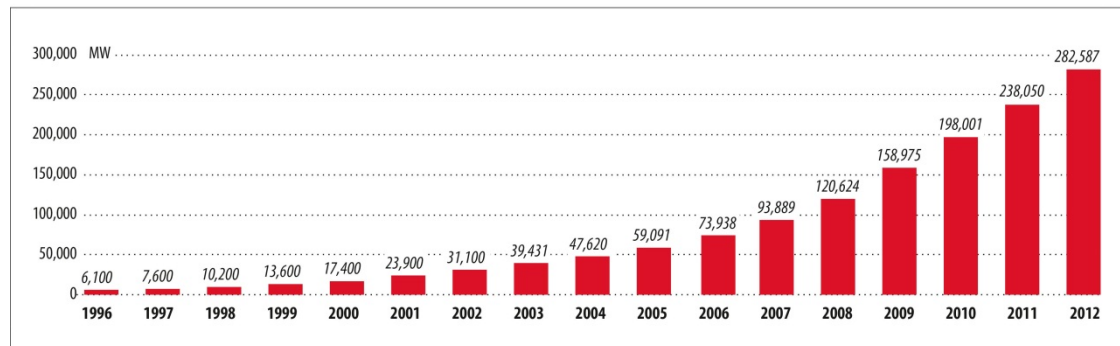
**KUVA 1. Kuva eri kennotyypeistä /8/**

Nykypäivänä on myös kehitteillä orgaanisista sekä polymeerisistä materiaaleista valmistettuja paneelityyppejä. Tällaisia paneeleita on mahdollista taivutella ja niillä onkin enemmän käyttösovellutuksia kuin perinteisillä piistä valmistetuilla paneeleilla. Markkinoilla on jo joitakin ohutkalvotekniikalla valmistettuja taipuisia ja läpinäkyviä paneeleita. /1./

### 3 TUULIENERGIA

Tuulet syntyvät auringon vaikutuksesta. Auringon säteily lämmittää epätasaisesti maapalloa, josta aiheutuu lämpötilaeroja. Nämä lämpötilaerot saavat aikaan ilmanpaineen eroja, jotka puolestaan saavat aikaan paine-erovoiman jonka vaikutuksesta ilmamassat alkavat virrata ja synnyttävät ilmavirtauksia eli tuulia. Tuulivoimala muuttaa tuulen liike-energian lapojen avulla pyörimisliikkeeksi, joka muutetaan edelleen akselilta sähkötehoksi joko suoraan tai vaihteiston välityksellä. Liike-energia voidaan hyödyntää muullakin tavoin esimerkiksi veden pumppaamiseen. Tuulivoima on uusiutuva energiamuoto, eikä se aiheuta päästöjä ympäristölle. Tuulivoima on jatkuvasti kehitteillä ja onkin yleistynyt viimevuosikymmenien aikana runsaasti eri puolilla maailmaa. Tilastojen mukaan maailmassa oli vuoden 2012 lopussa kaupallisten tuulivoimaloiden kapasiteetti yli 282 000 MW, joka on hieman yli prosentin koko maailman tuotetusta sähkötehosta. Kuvasta 2 näkyy tuulivoimaloiden kapasiteetin kasvu vuodesta 1996 vuoteen 2012. /9;11./

Global Cumulative Installed Wind Capacity 1996-2012



Source: GWEC

#### KUVA 2. Tuulivoimakapasiteetin kasvu maailmassa /11/

Suomessa tuulivoimalla tuotetaan vain noin 0.7 % kulutetusta sähkötehosta. Isoja kaupallisia tuulivoimaloita Suomessa oli vuoden 2012 elokuussa yhteensä 145 kappaletta, ja niiden yhteenlaskettu sähköntuotantokapasiteetti on 243 MW. Suomen tuulivoimakapasiteettiä pystyttäisiin kasvattamaan merkittävästi nykyisestä. /9./

#### 3.1 Tuulivoimalan toimintaperiaatteet

Tuulivoimaloita löytyy sekä pystyakselilla sekä vaaka-akselilla toimivia. Molemmista tyypeistä on kehitetty erilaisia turbiinityyppejä, joissa tuulen liike-energia hyödynne-

tään eri tavalla. Käytössä on käytössä kolme erilaista keinoa synnyttää pyörittävä momentti. Turbiinityypit voidaankin jakaa siis toimintaperiaatteen mukaan seuraavalaisiin ryhmiin:

- Nostovoimaa sekä vastusta hyödyntävät turbiinit esimerkiksi: (Windside, Savonius ja Jaspira)
- Siipien vastuseroa hyödyntävät turbiinit esimerkiksi: (kuppuroottori)
- Pelkästään lavan nostovoimaa hyödyntävät turbiinit.

Näitä toimintaperiaatteita on hyödynnetty monissa erilaisissa tuuliturbiineissa. Suomessa on kehitetty kaksi erilaista turbiinityppiä, Savonius ja Windside. Molemmat näistä toimivat pystyakselilla. Yleisin käytössä oleva turbiinityppi on vaaka-akselilla toimiva potkuriturbiini, joissa on yleensä potkurissa kolme lapaa. Liitteessä 1 on esitetty erilaisia tuulienergian sovelluksia. /10./

### **3.2 Pientuulivoimala**

Tässä työssä keskitytään pientuulivoimaloihin, jotka määritelmän mukaan ovat tehoitaan alle 50 kW ja niiden potkurin pinta-ala on alle 200 m<sup>2</sup>. Pientuulivoimalat ovat tehoiltaan huomattavasti pienempiä kuin teolliseen tuotantoon tarkoitettut isot voimalat. Pientuulivoimaloiden mastot ovat noin 5-30 metriä pitkiä. Pientuulivoimaloilla on useita eri käyttökohteita; niitä voidaan käyttää esimerkiksi vapaa-ajan asunnoissa, kotitalouksissa, laitoksissa, maataloilla ja purjeveneissä. Pientuulivoimaloita käytetään usein kohteissa, jotka eivät kuulu yleisen sähköverkoston piiriin. Nykypäivänä pientuulivoimaloita asennetaan myös paljon kohteisiin, jotka ovat jo yleisessä sähkönjake-lussa. Tällaisissa kohteissa pientuulivoimalla lisätään kohteen omavaraisuutta ja pienennetään mahdollisesti sähkölaskua. /11./

Suomessa pientuulivoimaloita käytetään seuraavasti:

- Sähköenergian varastointi akkuihin ja sähkö käyttö akustoista (12 V, 24 V, 48 V ja 230 V järjestelmät)
- Energian tuottamiseen erilaisille lämminvesivaraajille
- Sähköntuotanto suoraan käyttöön esimerkiksi omakotitalossa, jossa tuulivoimalan tuottama sähköteho muutetaan verkkosähköksi ja hyödynnetään suoraan

talon sähköjärjestelmässä. Yli- ja alijäämä sähköstä otetaan tai tuotetaan sähköverkkoon /11./

### 3.2.1 Pientuulivoimalan teoriaa

Tuulen nopeuden muutos vaikuttaa voimalan pyörimisnopeuteen lähes lineaarisesti. Käynnistyäkseen pienellä tuulennopeudella on peruskuorma voimalalla oltava pieni. Kun tulee myrskytuulia, on tuulivoimalan pyörimisnopeutta mahdollisesti rajoitettava. Voimalan tuottama teho kasvaa nopeasti tuulennopeuden noustessa. Esimerkiksi halkaisijaltaan 1,7 m potkurilla oleva voimala tuottaa 6 m/s tuulella noin 140 w, kun taas 12 m/s tuulella se tuottaa yli 1 kW. Tuulivoimala kannattaa mitoittaa tuulijakauman mukaan, jotta saadaan hyödynnettyä hiljaiset sekä kovat tuulet. Voimalan sijoittamisessa kannatta hyödyntää peltoja ja aukeita alueita, koska niillä tulee paremmin kuin metsien vieressä. Myös korkeita paikkoja kannattaa suosia, koska mitä ylemmäs mennään, sen kovempaa tulee. Tässä on syytä muista kuitenkin se, että liian kovasta tuulesta ei ole hyötyä, koska voimalan pyörimisnopeutta joudutaan mahdollisesti rajoittamaan. Voimalan paikkaa mietittäessä on hyvä tehdä tuulimittauksia etukäteen, jotta saadaan tietoa, kannattaako voimalan rakentaminen. /13./

Koska tuulivoimala tuottaa energiaa suhteellisen vähän, on generaattorin ja muun laitteiston oltava hyötysuhteiltaan hyviä. Osa energiasta menee jo hukkaan lämpöhäviöinä esimerkiksi generaattorissa. /13./

### 3.2.2 Pientuulivoimalan suojaaminen myrskyltä

Pientuulivoimala on syytä suojata hyvin myrskytuulia vastaan. Myrskysuojauksella estetään voimalan vahingoittuminen sekä liian energian tuotanto. Tuulivoimayhdistyksen sivujen mukaan yleisimpiä myrskysuojaustapoja ovat /13/:

- ”Potkurin sivuun käänntö (potkuri käännetään pois tuulesta sivuun tai ylös, jolloin pinta-ala pienenee ja siten teho rajoittuu). Sivuun käänntö perustuu usein potkuriin kohdistuvaan tuulenpaineeseen.
- Potkurin pysäytys. Voimalassa on jarru, jolla potkuri pysäytetään myrskyn ajaksi.

- Potkurin sakkaus. Potkuria kuormitetaan niin paljon, että se ei enää pysty tuottamaan tarvittavaa energiaa, jolloin ilmavirtaus irtoaa lavoista ja lavat sakkaavat (Vaikea hallita. Käytetään yleensä vain suurissa voimaloissa).
- Lapakulman säätö. Potkurin lapojen kulmaa muutetaan niin, että teho pienenee.”

#### **4 ENERGIAN VARASTOINTI JA KÄYTTÖ**

Tuulella ja auringolla tuotettu energia tarvitsee usein varastoida johonkin, jotta se olisi mahdollista hyödyntää myöhemmin halutulla hetkellä ja halutulla teholla. Varastointi mahdollistaa tuotetun energiankäytön säännöstelyn ja varastoinnilla voidaan vastata kulutushuippuihin ottamalla varastoista energiaa silloin, kun siihen on eniten tarvetta. Varastot myös mahdollistavat energian talteen ottamisen silloin, kun sen tarve on pienempi kuin tuotetun energian määrä. Varastot toimivat myös varaenergiäsäilöinä, ja niiden energia voidaan hyödyntää tilanteissa, joissa energiaa ei ole muutoin saatavilla. Varastoitaessa energia täytyy tarvittaessa muuntaa eri muotoon hyödyntämällä fysikaalisia sekä kemiallisia ilmiöitä. Erilaisia menetelmiä energianvarastointiin on kehitelty ja niitä on kehitteillä jatkuvasti. Fysikaalisista ilmiöistä esimerkkinä voidaan mainita mekaanista energiaa varastoiva vauhtipyörä sekä kemiallista ilmiöistä esimerkkinä akut. /14./

#### **5 SÄHKÖENERGIAN VARASTOINTI**

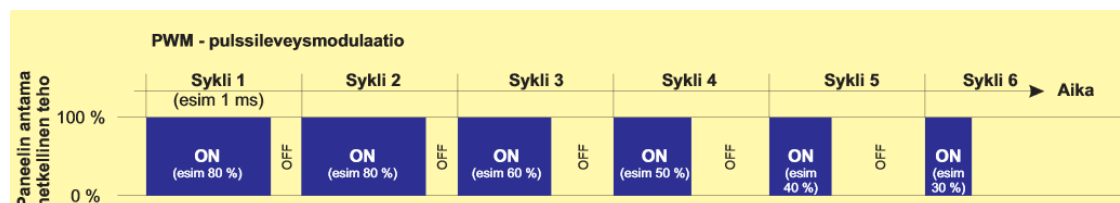
Sähköenergian varastoinnissa hyödynnetään sähkökemiallista ilmiöitä paristoissa ja akuissa. Myös kondensaattoreita käytetään sähköenergian varastoinnissa, mutta niissä ei tapahdu sähkökemiallista ilmiötä, vaan niiden toiminta perustuu elektrodien varautumiseen ja niiden väliseen jännite-eroon. Jokapäiväisessä käytössä yleisin sähköenergian varastointimuoto on erilaiset akut ja paristot. Akustot ovat kehittyneet rajusti viime vuosina ja kehitys jatkuu tulevaisuudessa johtuen akkukäyttöisten laitteiden lisääntymisestä. Nykypäivänä erilaiset kulkuneuvot ja kannettavat sähkölaitteet hyödyntävät sähköenergiaa käyttövoimana ja tähän käyttöön akustot ja paristot ovat erittäin soveltuvia. Aurinko- ja tuulisähkökäytössä on yleisesti käytössä AGM-lyijyakut, jotka ovat huoltovapaita. /14./

## 6 LATAUSSÄÄTIMET

Ladattaessa akkuja tuuli- ja aurinkosähkösovelluksilla on aina muistettava, että akkujen lataamiseen tarvitaan lataussäädin, joka haastelee akun varaustilaa ja estää akkujen kiehumisen ja vaurioitumisen. Lataussäätimiä on yleisesti ottaen käytössä kahta tyyppiä PWM-säädin ja MPPT-säädin, sekä niiden erilaisia sovelluksia, joissa käytetään esimerkiksi keinokuormia. Tässä luvussa perehdytään lataussäätimien toimintaan sekä niiden toiminnan eroavaisuuksiin.

### 6.1 PWM-lataussäädin

PWM-lataussäätimen toiminta perustuu PWM:ään (Pulse Width Modulation) eli pulssinleveysmodulaatioon. PWM-ohjauksen mahdollistaa ”puolijohderele”, joka katkoo latausvirtaa erilevyisiksi ”pulssimaisiksi” pätkiksi. Ladattavan akun ollessa tyhjä ja aurinkopaneelin jännitteen noustessa riittävästi lataavat paneelit akkua paneelin ominaiskäyrän mukaisesti. Akku pakottaa suuresta vastuksesta johtuen paneelin jännitteen akkujännitteen tasolle, ja paneeli lataa akkua kyseillä jännitteellä ja ominaiskäyrän vastaavalla virta-arvolla. Lataus jatkuu niin kauan, kunnes akku saavuttaa n. 14,4 voltin jännitetason eli niin kutsutun bulkkilataustason. Akkujen varaustila on noin 85–90 %, kun se ensimmäisen kerran saavuttaa 14,4 V jännitetason. Akut eivät vielä ole siis aivan täynnä. Tässä vaiheessa PWM-lataussäädin rajoittaa latausvirtaa pulssimaisesti. Säädin tarkkailee jatkuvasti akun jännitettä ja pyrkii pitämään sen vakiona estäen akun kiehumista ja ylilatautumista. Akku ottaa vastaan kuitenkin virtaa niin paljon kuin on mahdollista. Näin saadaan akku ladattua täyteen varaukseensa. Kun riittävä varaustaso on saavutettu, jatkaa säädin akun lataamista ylläpitolatauksella. Kuvassa 3 on esitetty pulssinleveysmodulaation periaate. /15./



**KUVA 3. Pulssinleveysmodulaatio /15/**

Keinokuormasäädin on yksi sovellus tavallisesta PWM-säätimestä. Keinokuormasäätimen toiminta perustuu myös PWM-modulaatioon. Säädin ”polttaa” ylimääräisen

lataustehon esimerkiksi lämpövastukseen. Kaikki PWM-modulaatiosta ylijäävä teho jota akku ei voi ottaa vastaan, ”ajetaan” siis johonkin keinokuormaan ja hyödynnetään esimerkiksi veden lämmittämiseen vastuksella. /15./

## 6.2 MPPT-lataussäädin

MPPT-lataussäätimen (Maximum Power Point Tracking) toiminta perustuu PWM-modulaation lisäksi maksimi tehopisteen seurantaan. Säädin laskee sisään tulevan jännitteen ja virran perusteella, millä jännitteellä paneelin antama teho on suurin. Säädin pyrkii lukitsemaan jännitetason siihen pisteeseen, missä paneelin teho on suurimmillaan. Säädin laskee jatkuvasti tehokkainta latauspistettä ja pyrkii muuttamaan jännitettä sen mukaan. Olosuhteiden vaihtelu vaikuttaa paneelin maksimitehospisteeseen, mutta säädin hakee olosuhteista riippumatta paneelin parhaan tehontuottopisteen ja lataa akkua parhaalla paneelin antamalla teholla. MPPT-säätimellä voidaan lisästä aurinkopaneelien tehokkuutta jopa 30 %. /15./

## 7 SÄHKÖSUUREIDEN MITTAAMINEN

Aurinko- ja tuulisähkösovelluksissa on usein tarve mitata virtaa ja jännitettä tuotetun ja kulutetun energian laskemiseksi. Erilaisia valmiita mittalaitteita on kehitetty, jotka suorittavat laskemisen ja ilmoittavat tuotetun sähköenergian määrän. Valmiiden mittalaitteiden toiminta perustuu samoihin mittaustekniikkoihin kuin erillisillä mittalaitteilla suoritettu energianmittaus. Mikkelin ammattikorkeakoululle rakennetussa järjestelmässä mittalaitteet jännitteelle sekä virralle ovat erilliset, ja tuotettu sekä kulutettu sähköenergia saadaan näistä suureista laskemalla. Seuraavissa kappaleissa käydään lävitse tasavirran ja tasajännitteen mittaamiseen yleisesti käytössä olevia menetelmiä.

### 7.1 Tasavirran mittaaminen

Tässä kappaleessa käsitellään kahta yleisesti käytössä olevaa tasavirran mittauseriaa. Ensimmäisessä periaatteessa mittaaminen perustuu vastuksen yli vaikuttavaan jännitteeseen ja tällaista pientä vastusta kutsutaan yleensä shuntti- tai sivuvirtavastukseksi. Kuvassa 4 on esitetty shunttivastus. Toinen periaate perustuu magneettikentän

mittaamisen, joka syntyy johtimen ympärille siinä kulkevan virran vaikutuksesta (Hall-ilmiö).

Shunttivastuksella toteutettu virran mittaaminen perustuu jännite-eron mittaamiseen pienen tunnetun vastuksen yli. Kun tietty virtaa ( $I$ ) kulkee shunttivastuksen lävitse ja vastuksen resistanssi ( $R$ ) tiedetään, voidaan vastuksen yli vaikuttava jännite ( $U$ ) mitata ja laskea kulkeva virta Ohmin lain avulla ( $I=U/R$ ). Shunttivastuksella mitatessa joudutaan johdin katkaisemaan kohdasta, josta virta halutaan mitata. Shunttivastusmittauksen huonoina puolina voidaan myös pitää vastuksessa syntyvää tehohäviötä, joka on verrannollinen kulkevaan virtaan toisessa potenssissa. Shunttivastuksen yli vaikuttava mittaajajännite on myös hyvin pieni yleensä millivoltiluokkaa, joten se on vahvistettava ennen, kuin se voidaan käsitellä mittauslaitteistolla. /16./

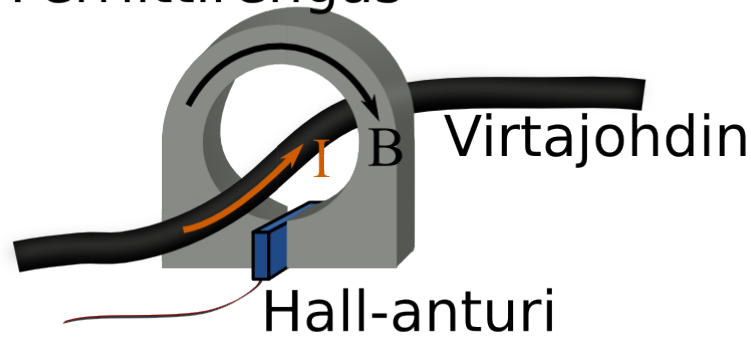


**KUVA 4. Shunttivastus / 16/**

Hall-anturin toiminta perustuu ilmiöön, joka syntyy magneettikentän vaikutuksesta. Magneettikenttä poikkeuttaa johtimessa kulkevat elektronit johtimen toiseen reunaan ja tällöin johtimen reunojen välille syntyy jännite-ero. Tätä jännite-eroa mittaamalla saadaan johtimessa kulkeva virta selville. Sähkövirran mittaukseen käytetyssä anturissa käytetään ferriittirengasta anturin ympärille asennettuna herkistämään anturia. Johdin, josta virta halutaan mitata, kuljetetaan ferriittirenkaan lävitse. Virran kulkiessa johtimessa aiheuttaa se johtimen ympärille magneettikentän, joka vaikuttaa Hall-anturiin elektronien poikkeaman ja jännite-eron. Kuvassa 5 on esitetty sähkövirran mittaamisen periaate Hall-anturilla. / 17./



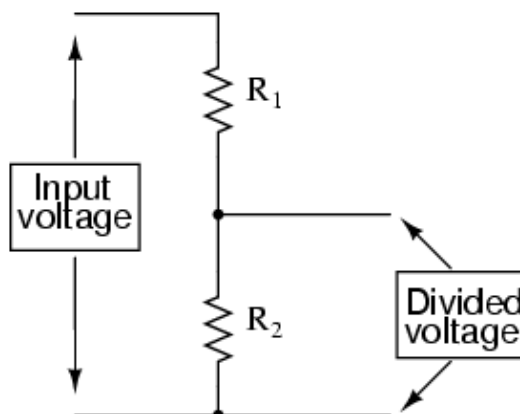
## Ferriittirengas



KUVA 5. Virran mittaaminen Hall-anturilla / 17/

### 7.2 Jännitteen mittaaminen

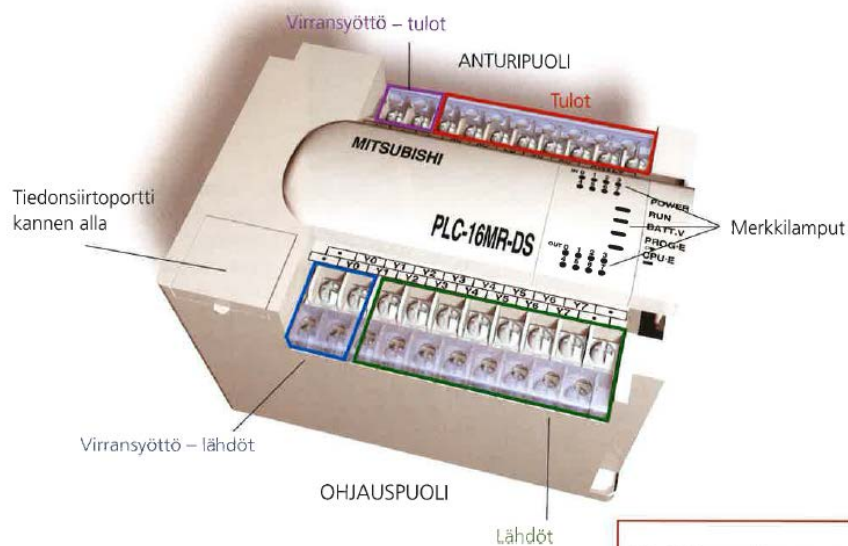
Jännitteenjakokytkentä on yleinen menetelmä mitata jonkin komponentin jännitettä. Usein mitattava jännite on liian suuri vietäväksi sellaisenaan mittalaitteelle. Jännitteenjakokytkennän avulla saadaan jännitetasoa pienennettyä mittalaitteelle sopivaksi. Todellisen jännitteen selvittämiseksi on mitattu jännite kerrottava oikealla jännitteenjaon kertoimella, joka saadaan laskemalla kytkennässä käytettyjen vastusten vastusarvoista. Jännitteenjakokytkentä perustuu kahden vastuksen sarjakytkentään. Kuvassa 6 on esitetty vastusten jännitteenjaon periaate. Kun vastuksille syötetään sisääntulojännite, kulkee niissä silloin sama virta. Vastukset aiheuttavat piirin jännitehäviöt, jotka määräytyvät kytkennässä olevien vastusten suhteesta. Kahden vastuksen tilalla kytkennässä voidaan käyttää myös säädettävää potentiometrivastusta, tällöin jännitteenjaosta saadaan säädettävä. Jännitteenjakovastuksia valitessa on syytä miettiä niiden tehonkestoja, sillä mitä pienempi vastus on, sitä suurempi tehonkeston on oltava. Tästä syystä jännitteenjakokytkennässä on hyvä käyttää riittävän suuren vastusarvon omaavia vastuksia. /18./



KUVA 6. Jännitteenjakokytkentä /18/

## 8 OHJELMOITAVAT LOGIIKAT

Automatisoidut toiminnot kuuluvat lähes jokaisen nykyihmisen arkipäivään. Automaattiset laitteistot hoitavat toimintoja pyykinpesusta aina isoihin tehdaskokonaisuuksiin asti. Monimutkaiset laitteistot vaativat nopeaa ja tarkkaa ohjausta. Ohjaus on helppoin toteuttaa siihen tarkoitukseen suunnitellulla tietokoneella eli PLC:llä (Programmable Logic Controller) (kuva 7). PLC täytyy kuitenkin ohjelmoida, ennen kuin se osaa hoitaa halutut toiminnot. Tässä työssä perehdyttiin myös ohjelmoitavan logiikan ohjelmointiin, koska testauslaitteistosta oli määrä tulla automaattisesti akustoa ohjaava ja mittaustietoa tallentava laitteisto. Tässä luvussa käsitellään ohjelmoitavien logiikoiden perusteoriaa sekä ohjelmointitapoja. /19./



**KUVA 7. Ohjelmoitava logiikka /19/**

### 8.1 PLC:n rakenne

PLC eli ohjelmoitava logiikka koostuu pääasiassa viidestä eri osasta: tuloyksiköstä, lähtöyksiköstä, prosessorista, flash-muistista sekä tiedonsiirtoportista. Tuloyksikön tehtävä on ottaa vastaan erilaisilta antureilta tai painikkeilta tulevia signaaleja. Prosessori ottaa signaalit vastaan ja käsittelee ne sekä muodostaa niiden perusteella lähtöyksikölle ohjausviestiksi. Muistit toimivat logiikan puskuri ja laskentamuisteina sekä ohjelman omana tallennusmuistina. Lähtöyksikön tehtävä on välittää ohjausviesti lähtöyksikköön kytkettyihin erilaisiin toimilaitteisiin esimerkiksi magneettiventtiilille. PLC:n tehtävänä on myös valvoa laitteiston toimintaa, että kaikki toimii halutulla tavalla. /19./

## 8.2 Tulot ja lähdöt

Ohjelmoitavan logiikka kostuu usein monista tulo- ja lähtöporteista eli inputeista ja outputeista (I/O). Tulo- ja lähtöportteja logiikassa voi olla analogisia tai digitaalisia. Digitaaliset lähdöt ja tulot käsittelevät digitaalista informaatiota eli 1- tai 0-tietoa. Analogiset lähdöt ja tulot taas käsittelevät analogista informaatiota esimerkiksi 0–10V jänniteviestiä tai 4–20 mA virtaviestiä. /19./

## 8.3 Ohjelmointi

Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointi tapahtuu yleensä tietokoneella erilaisilla ohjelmointiohjelmilla. Eri valmistajilla on erilaiset ohjelmistot laitteistoillensa. Vuonna 1993 IEC (International Electrotechnical Commission) julkaisi standardin IEC 61131-3. Standardissa määritetään ohjelmoitaville logiikoille neljä erilaista ohjelmointikieltä sekä yhden ylemmän tason kuvauskielen. Standardi määrittää myös ohjelmoinnin arkkitehtuurin. Standardissa määritetyt ohjelmointikieliset ovat LD – Ladder Diagram (Tikapuukaavio), IL-Instruction List (Käskylista), FBD-Function Block Diagram (Toimilohkokaavio), ST-Structured Text (Rakenteellinen teksti) sekä SFC-Sequential Function Chart (Sekvenssifunktiokaavio). Standardilla pyritään tarjoamaan jokaiselle ohjelmoitsijalle osaamisen ja tasonsa mukainen käyttökelpoinen ohjelmointikieli. /20./

## 9 TUTKIMUSLAITTEISTO

Aurinko- ja tuulienergian tutkimuslaitteisto on kehitetty Mikkelin ammattikorkeakoululle tutkimus-, opetus- sekä laboratoriokäyttöön. Ammattikorkeakoulun A-rakennuksessa sijaitseva tutkimuslaitteisto koostuu useista eri komponenteista. Seuraavissa kappaleissa käydään lävitse järjestelmän kokonpanoa ja sen komponentteja sekä niiden tehtäviä laitteistossa. A-rakennuksen katto toimii tuuligeneraattorin sekä aurinkopaneelien asennuspaikkana. Mittaus-, lataus- ja ohjausautomaatiikka sijaitsevat LVI-laboratoriossa A-rakennuksessa. Lisäksi katolla sijaitsevat säätilan mittaamiseen tarvittavat tuulenoisuusanturi, tuulensuunta-anturi sekä auringonintensiiteettianturi.

## 9.1 Aurinkopaneelit

Järjestelmän aurinkopaneelisto (kuva 8) koostuu kahdeksasta nimellisteholtaan 250 w monikidepaneeleista. Paneeleille tehtiin katolle alumiiniset telineet, joihin ne kiinnitettiin neljän kappaleen ryhmissä. Paneelit asennettiin telineisiin 45 asteen kulmaan, jotta niiden tehontuotto olisi mahdollisimman optimaalinen koko vuorokauden ajan. Atsi-muuttikulma eli paneeliston suuntaus tehtiin etelään. Kyseisellä suuntauksella saavutetaan paras tuotto paneelistolle, mikäli halutaan optimaalinen energian tuotto koko vuorokauden ajalle. Akuston ja lataussäätimen järjestelmäjännite on 48 V, joten 24 V nimellisjännitteen paneeleita kytkettiin 2 kappaletta sarjaan. Sarjaan kytkettyjä paneelilistoja tuli siis 4 kappaletta, jotka kytkettiin rinnan toisiinsa. Paneeleilta johdotus vietiin katolla kytkentäkotelolle, josta johdotus jatkuu alas LVI-laboratoriossa sijaitsevalle lataussäätimelle. Paneelien tarkemmat tekniset tiedot on esitetty liitteessä 2.



**KUVA 8. Aurinkopaneelit asennettuna telineisiin**

## 9.2 Tuuligeneraattori

Tuuligeneraattori (kuva 9) oli jo ennen työni aloittamista asennettu valmiiksi Arakennuksen katolle. Paikka määräytyi arkkitehdin päätöksestä, eikä se ole aivan optimaalinen johtuen lähellä olevista puustoista. Tuuligeneraattori on kolmilapainen vaaka-akselimallinen lapojen nostovoimaa hyödyntävä pienoistuulivoimala. Tuulensunnan seuranta kyseisessä tuuligeneraattorissa perustuu sen peräsimeen, joka kää-

tää generaattoria vaikuttavan tuulensuunnan mukaan. Tuuligeneraattorin nimellisteho on 3 kw.



**KUVA 9. Tuuligeneraattori**

### **9.3 Hybridilataussäädin**

Lataussäätimenä järjestelmässä toimii PWM-hybridisäädin (kuva 10), joka säätelee akkujen latausta PWM-tyyppisesti (Pulse Width Modulation). Säädin ohjaa sekä aurin-gosta että tuulesta tulevan sähköenergian akustoon. Kovissa puuskissa ja akkujen ollessa täynnä säädin ohjaa ”ylimääräisen” energian säätimessä oleviin ”jarruvastuksiin”, joissa se kulutetaan lämpöenergiana. Säätimelle tuodaan paneelistolta omat johtimensa ja tuuligeneraattorilta omat johtimensa. Säädin tasasuuntaa tuuligeneraattorilta tulevan 3-vaiheisen sähkön tasasuuntausillalla. Säätimessä on myös omat tehojen, jännitteiden sekä virtojen mittaukset, ja ne näkyvät säätimen näyttöpaneelista seläämällä.



**KUVA 10. Hybridilataussäädin**

#### **9.4 Akusto**

Järjestelmän energiavarasto koostuu neljästä AGM-lyijyakusta. Akusto on esitetty kuvassa 11. Akkujen nimellisjännite on 12 V ja kapasiteetti 200 Ah. Akut on kytketty sarjaan, joten akuston kokonaisjännite on tällöin 48 V. Syöttökaapelointi akustolle kytkettiin siten, että plusnapaan tuleva johdin kytkettiin akuston toiseen päähän ja miinusnapaan tuleva johdin toiseen päähän. Muut akkujen navat kytkettiin sarjaan aina plus-navasta toisen akun miinus-napaan. Lataussäätimeltä kytkettiin invertterille syöttökaapelit ja akuilta kytkettiin invertterille omat kaapelit.

Akuston varaustilaa valvotaan logiikalla. Logiikka mittaa akuston jännitetasoa ja valvoo, milloin akut ovat ”täynnä” tai ”tyhjänä”. Kun akut on ladattu täyteen, logiikka antaa invertterille luvan käynnistyä. Myös lataussäädin valvoo akkujen varaustilaa ja lopettaa lataamisen, kun akut ovat täynnä, muutoin akut voisivat vaurioitua ylilataamisesta.



**KUVA 11. Testauslaitteiston akusto**

### 9.5 Invertteri ja ”ohisyöttö”

Nimellisteholtaan 5 kw:n invertteri (kuva 12) muuntaa akustoon varastoidun sähköenergian 48 voltin jännitteestä 230 voltin sinimuotoiseen verkkojännitteeseen. Invertteriltä sähkö ohjataan vaihtoreleen kautta pistorasialle, josta pääasiassa on tarkoitus ladata oppilaitoksella rakennettua muunnossähköautoa. Invertterin ja vaihtoreleen toimintaa ohjaa logiikka. Vaihtoreleelle tuotiin invertterin lisäksi ”ohisyöttö” LVI-laboratoriossa olevalta sähkökeskukselta. Sähkönsyöttö latauspistorasialle on näin varmistettu silloin, kun akustolta loppuu energia ja se on latauksen tarpeessa. Lisäksi invertteriltä lähtevän syöttöjohdon sekä sähköverkosta tulevan syöttöjohdon väliin kytkettiin perinteiset energiamittarit, joista näkee kulutetun energian.



**KUVA 12. Invertteri**

## 9.6 Mittaaminen

Järjestelmässä on useita erilaisia mittalaitteita ja komponentteja, joilla mitataan eri suureita. Sähkösuureista järjestelmässä mitataan virtoja ja jänniteitä. Tehot ja energia saadaan akkujenjännitteestä ja virroista laskemalla. Muita mitattavia suureita järjestelmästä löytyy sääolosuhteiden muodossa. Tuulennopeudelle ja -suunnalle on omat anturit sekä auringon intensiteetille oma anturi.

### 9.6.1 Tuulen nopeuden ja suunnan mittaaminen

Ennen tuulianturien hankintaa asetettiin antureille seuraavat vaatimukset: hyvä hinta/laatusuhde, lämmitettävät anturit sekä mittaussignaalin olisi oltava mielellään 0-10V analoginen viesti helpomman käsiteltävyyden takia. Tuulennopeuden ja -suunnan mittaamiseen valittiin Produal Oy:n valikoimasta löytyvä yhdistelmäanturi (VS3000) (kuva 13), jossa on molemmille suureille oma anturi. Anturi koostuu kuppianemometrillä, joka muuntaa tuulen liike-energian pyörimisliikkeeksi hyödyntämällä siipien vastuseroa, sekä tuulensuunta-anturista, joka kääntyy tuulensuunnan mukaan tasapainotetun peräsimen avulla. Yhdistelmäanturi vaati toimiakseen 24 V tasajännitteen. Antureissa on sisäänrakennettu lämmitys, jotta niiden käyttö myös talviolosuhteissa



on mahdollista. Anturiyhdistelmälle rakennettiin putkesta teline, jolla se saatiin riittävän ylös katon pinnasta hyvän mittaustuloksen aikaansaamiseksi.



**KUVA 13. Tuulenmittausanturit**

Mittausalue tuulennopeusanturille on 0–35 m/s ja maksiminopeus 60 m/s. Anturi muuntaa mitattavan tuulennopeuden (0–35 m/s) suoraan analogiseksi jänniteviestiksi 0–10 V, ja tästä syystä anturi onkin helppo kytkeä suoraan logiikan analogituloon. Logiikalla tarvitsee vain tehdä analogisen viestin skaalaaminen, jotta saadaan oikea tuulennopeus selville.

Tuulensuunnan mittausalue jakaantuu anturilla 0–360 asteeseen. Anturi muuttaa mitattavan tuulensuunnan (0–360 astetta) suoraan analogiseksi jänniteviestiksi 0–10 V, joka voidaan viedä suoraan sellaisenaan logiikan analogituloon. Myös tuulensuunta anturilta tuleva viesti täytyy skaalata logiikalla ymmärrettävään muotoon. Anturi suunnattiin siten, että 0 astetta vastaa ilmansuunnassa pohjoista ja 180 astetta vastaa etelää.

### **9.6.2 Auringon intensiteetin mittaaminen**

Auringon intensiteettiä järjestelmässä mittaa Kipp & Zonen SP lite 2-pyranometri, jonka mittausalue on 0–2000 w/m<sup>2</sup>. Valmistajan mukaan kyseinen pyranometri soveltuu hyvin aurinkosovelluksien tutkimiseen. Mittalaite valittiin hyvän hintalaatusuh-

teensa sekä hyvän soveltuvuutensa takia. Pyranometri ei tarvitse toimiakseen erillistä käyttö sähköä, vaan se ottaa tarvittavan sähkönsä auringonvalosta. Pyranometrin mittaustarkkuus on 60–100  $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$  ja mittauskulma 180 astetta. Pyranometrille täytyi myös rakentaa vahvistinpiiri pienehkön mittaussignaalin vahvistamiseksi. Vahvistinpiiri rakennettiin 741 operaatiovahvistimesta.

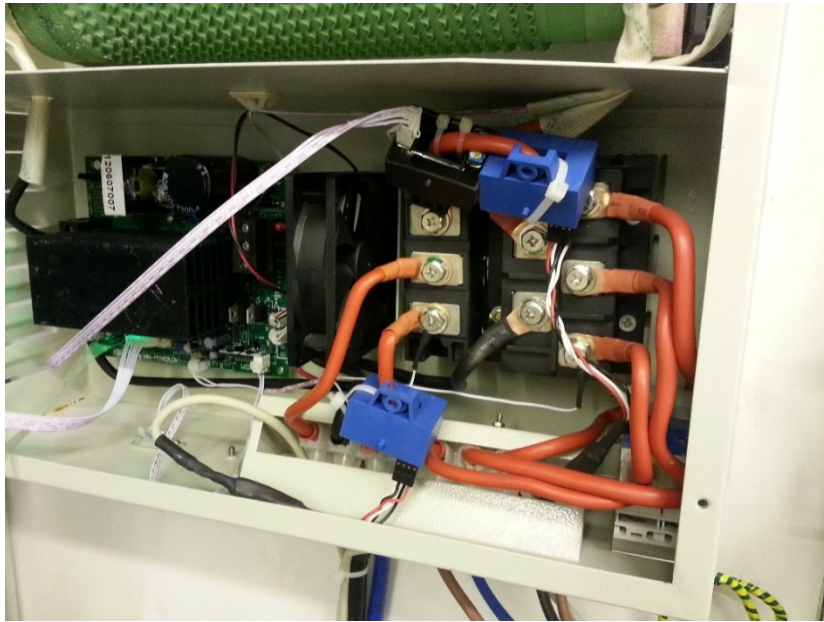
### 9.6.3 Akkujen jännitteen mittaaminen

Akuston jännitteen mittaamista varten jouduttiin rakentamaan kytkentä, joka muuntaa akuston jännitetason logiikalle sopivaksi. Akuston nimellisjännite on 48 Vdc, joten sitä ei voida sellaisenaan viedä logiikan 0–10 V analogiatuloon. Akuston jännitetaso reguloidaan sopivaksi sopivalla zenerdiodikytkennällä sekä jännitteenjakokytkennällä. Diodi päästää estosuunnassa virran lävitseen, kun jännitetaso nousee yli vaaditun jännitetason (zenerjännite). Jännitetasoa pudotetaan kahden zenerdiodin sarjakytkennällä (39V), jolloin jää jäljelle zenerjännitteen ylittävä osa. Kytkennässä on myös otettava huomioon akuston jännitetason vaihtelu lataus- ja purkutilanteissa. Jännitetasoa muokattiin vielä säädettävän monikierrosvastuksen avulla, joka kytkettiin jakamaan zenerdiodien jälkeinen jännitetaso kahteen osaan (jännitteenjako). Näin saadaan logiikalle säädettävissä oleva jännitetaso, jolle voidaan säätää sopiva vaihteluväli 0–10 V välillä. Johtuen logiikan sisääntulon resoluutiosta mittaustuloksesta saadaan tarkempi, kun jännitteen vaihteluväli on mahdollisimman suuri 0–10 V välillä.

### 9.6.4 Virran mittaaminen

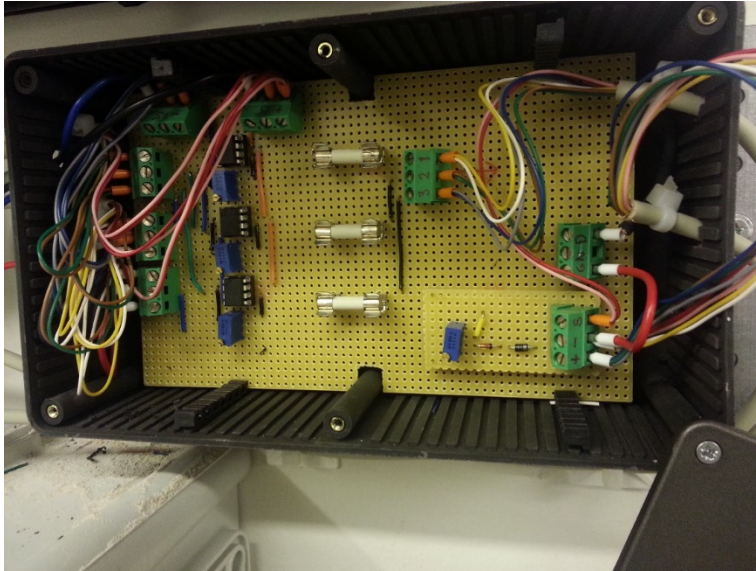
Järjestelmässä virranmittauksia on kolme kappaletta: aurinkopaneelien virranmittaus, tuuligeneraattorin virranmittaus sekä invertterin virranmittaus. Tuuligeneraattorin virranmittaus asennettiin lataussäätimessä olevan tasasuuntausillan jälkeen. Aurinkopaneelien virranmittaus asennettiin suoraan paneeleilta tulevaan +-johtimeen. Invertterin virranmittaus asennettiin akustolta invertterille lähtevään +-johtimeen. Virtojen mittaaminen suoritetaan Hall-anturiin perustuvalla virta-anturilla. Mittausalue LEM Has 100s (kuva 14) virta-antureissa on -100+100 ampeeria, jonka anturi muuntaa -4+4 voltin jänniteviestiksi. Anturit tarvitsevat toimiakseen +15 Vdc käyttöjännitteen. Käyttöjännite virta-antureille luodaan dc/dc-muuntimella, joka muuntaa 24 Vdc jännitteen +15 Vdc jännitteeksi. 24 V tasajännite dc/dc-muuntimelle saadaan järjestel-

mään asennetulta 24 V tasajännitelähteeltä, joka syöttää logiikalle ja muille toimilaitteille käyttösähköt.



**KUVA 14. Virranmittausanturit**

Virtamuuntajien antamaa mittaussignaalia vahvistetaan 741 operaatiovahvistinpiiristä rakennetulla ei-invertoivalla vahvistinkytkennällä. Vahvistinpiiri rakennettiin säädettävällä monikierrospotentiometrillä, joten vahvistuskerroin on säädettävissä haluttuun arvoon. Vahvistuskerroin säädettiin vahvistamaan virtamuuntajilta tuleva jännitesignaali 2,5-kertaiseksi +-4 voltista +-10 volttiin. Vahvistetut mittaussignaalit viedään logiikan 0-10 voltin analogituloihin. Vahvistamalla mittaussignaalia saadaan tarkempi mittaustulos sekä pienennetään mahdollisten mittaushäiriöiden vaikutusta. Mittasignaalien vahvistimet rakennettiin samalle piirilevyille (kuva 15) asennuksen helpottamiseksi. Lisäksi samalle piirilevyille kiinnitettiin akkujännitteen mittaussiiri. Piirilevy asennettiin erilliseen koteloon häiriöiden ehkäisemiseksi.

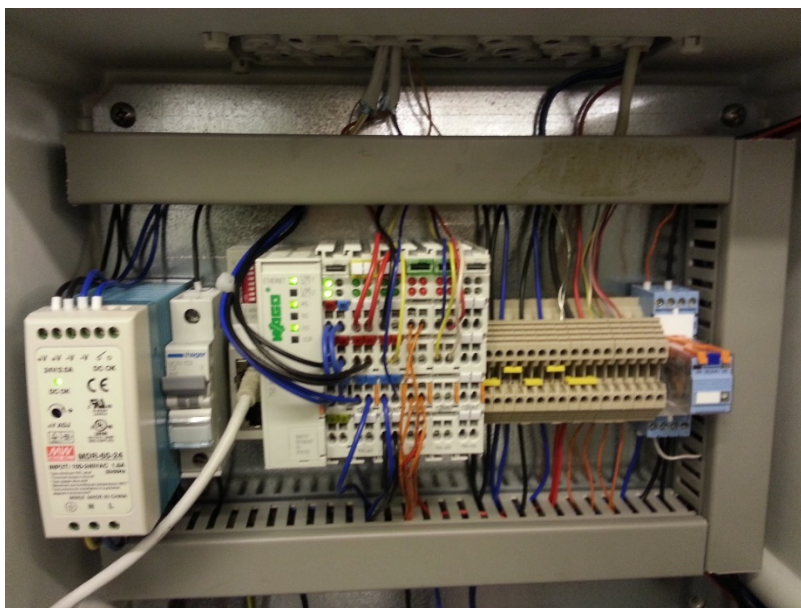


**KUVA 15. Mittaussignaalien vahvistinpiirit sekä akkujen jännitteenjakopiiri**

### 9.7 Ohjelmoitava logiikka ja mittaustiedontallennus

Laitteiston automatisointia ja mittaustiedontallennusta suunniteltaessa pohdittiin sopivaa automatiikkajärjestelmää ja mittaustiedonkeruujärjestelmää. Ensimmäisenä vaihtoehtona automaatiojärjestelmäksi laitteistoon oli Mitsubishin valmistama Alpha 2 xl-mikrologiikka. Mitsubishin logiikassa on sisääntuloja 15, joista 8 on ohjelmoitavissa analogisiksi sekä ulostuloja logiikassa on 9 kappaletta. Mittaustiedonkeruuseen Mitsubishin rinnalle suunniteltiin National Instrumentsin NI USB-6008 dataloggeria. National Instrumentin laitteen mittaustiedot voidaan tuoda usb-johdolla tietokoneelle, jolle luodaan labview-ohjelmalla käyttöliittymä. Mitsubishin logiikkaa ja National Instrumentin dataloggeria suunniteltiin laitteistoon, koska koululta löytyy samoja laitteistoja muista sovelluksista. Mitsubishin logiikan ohjelmointia oli myös harjoiteltu aikaisemmillä opintojaksoilla, joten siitä löytyi jo aikaisempaa osaamista.

Opinnäytetyön aikana oppilaitoksellamme kävi Wago Oy:stä edustaja, joka esitteli heidän ohjelmoitavaa logiikkaansa. Esittelyn jälkeen opinnäytetyön ohjaajani Teemu Manninen ehdotti, että laittaisimmekin tutkimuslaitteistoon Wagon logiikan. Kiinnostuin ajatuksesta, sillä Wagon logiikka vaikutti monipuoliselta. Sillä olisi mahdollista myös tallentaa mittausdataa, eikä erillisiä dataloggereita tarvittaisi. Myös laajennettavuus sekä ethernet-yhteys olisi etuna Wagon logiikassa. Lopulta päädyttiin valitsemaan logiikaksi Wago Oy:n 750–881 (kuva 16) sen monipuolisuuden ja laajennettavuuden vuoksi.



**KUVA 16. Wago 750–881 ohjelmoitava logiikka asennettuna**

## 9.8 Wago 750–881 -logiikka

Järjestelmässä mittaukset ja akuston kuormituksen ohjauksen hoitaa Wago 750–881-ohjelmoitava logiikka. Logiikka myös hoitaa myös mittaustietojen tallennuksen, josta on kerrottu lisää logiikan ohjelmointikappaleessa. Logiikka toimii 24 V tasajännitteellä, jota järjestelmässä syöttää jännitelähde. Lisäksi logiikan toiminnan varmistamiseksi sähkökatkon aikana sille asennettiin 2 kappaletta 12 V:n 2.3 Ah:n akkua, jotka kytkettiin sarjaan halutun 24 V:n jännitetason saavuttamiseksi. Akut on kytketty siten, että jännitelähteen ollessa käytössä se lataa akkuja.

Wagon ohjelmoitava logiikka on moduulipohjainen laitteisto, joka on laajennettavissa helposti erilaisilla lisämoduuleilla. Testausjärjestelmän logiikka koostuu 750–881 ethernet logiikkayksiköstä, erilaisista I/O-moduuleista sekä päätevastusmoduulista. Moduulikortteja logiikkaan on kytketty kolmea erilaista mallia yhteensä 4 kappaletta: digitaalinen sisääntulokortti, digitaalinen ulostulokortti sekä kaksi analogista sisääntulokorttia. Digitaalisessa sisääntulokortissa on yhteensä neljä sisääntuloa ja digitaalisessa ulostulokortissa myös neljä ulostuloa. Analogisissa sisääntulokorteissa on kummassakin 4 kappaletta tuloja, eli yhteensä 8 kappaletta.

Mittaustiedot eri antureilta ja mittalaitteilta tuotiin logiikan analogisiin tuloihin. Logiikassa mittaviestit skaalattiin vastaamaan oikeita mittausrvoja. Logiikalle tehtiin ohjelma, joka tallentaa automaattisesti mittaustietoja MySQL-tietokantaan tietokoneel-

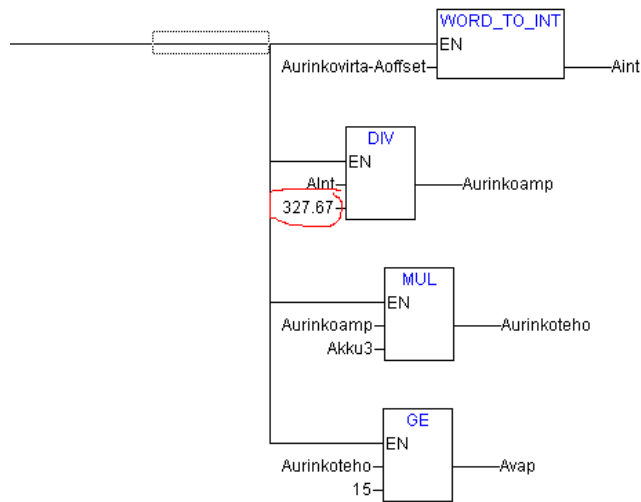
le, joka asennettiin toimimaan tietokantapalvelimena ja automatiikan ”ohjauskeskukseksi”.

## 9.9 Logiikan ohjelmointi

Logiikan ohjelmointi suoritettiin Codesys 2.3-ohjelmistolla. Ohjelmointikielenä käytettiin tikapuu (ladder) ohjelmointitapaa, joka oli tullut tutuksi muiden valmistajien ohjelmistoista aikaisemmilla opintojaksoilla. Ohjelmointi suoritettiin sähkölaboratoriossa, jossa testaaminen oli helpompaa säädettävien jännitelähteiden avulla. Ohjelman hienosäätö ja lopulliset testaukset tehtiin valmiiseen testausjärjestelmään kytkettynä. Wago 750–881-logiikassa on sisäänrakennettu ethernet-kytkin, joten sen ohjelmointi voidaan suorittaa ethernet-verkon välityksellä tarvittavien alkuasettelujen jälkeen. Logiikalle voidaan myös luoda java-pohjainen visualisoitu käyttöliittymä, joka toimii ethernetin välityksellä. Seuraavissa kappaleissa käydään valmista logiikan ohjelmaa ja sen toimintaa tarkemmin lävitse.

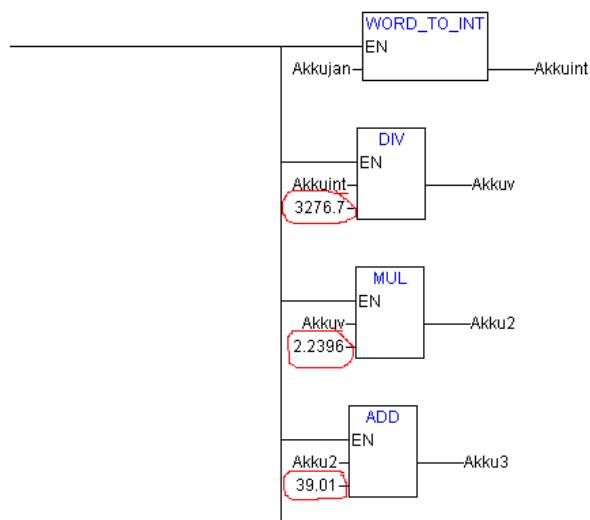
### 9.9.1 Ohjelma ja sen toiminta

Ohjelmointi aloitettiin analogisien virtamittausviestien käsittelystä. Logiikan analoginen sisääntulo muuntaa sille tuodun 0-10 voltin mittaustiedon digitaaliseen muotoon ja ohjelmassa mittaustieto näkyy ”WORD-muodossa” 0-32767 muuttujan arvona (15 bittiä). WORD-muodosta mittaustieto muutettiin ohjelmassa integer-muotoon, jonka jälkeen se skaalattiin vastaamaan todellista virtaa jakamalla luvulla 327,67. Kaikki virtojen skaalaukset voitiin tehdä samalla tavalla johtuen samanlaisesta anturityypistä. Virran mittauksille täytyi tehdä myös nollatasojen (offset) siirto, joka tehtiin ottamalla keskiarvo mittauksen arvosta, kun anturien lävitse ei kulje virtaa. Tämä saatu keskiarvo vähennetään ohjelmassa mitatusta integer-arvosta. Kuvassa 17 näkyy esimerkkinä aurinkopaneelien virran skaalaaminen.



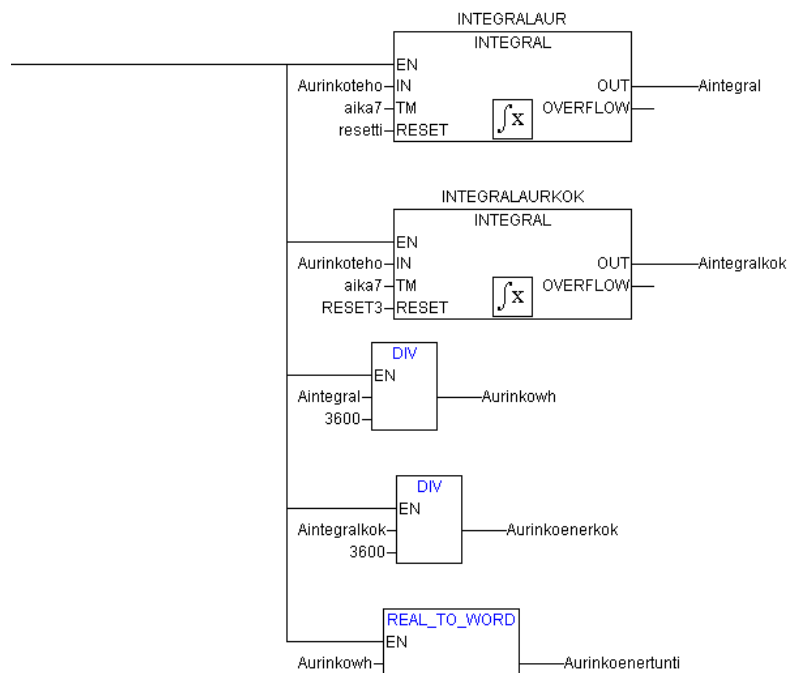
**KUVA 17. Aurinkopaneelien virran skaalaaminen logiikan ohjelmassa**

Akuston jännitteen skaalaamiseen ohjelmassa jouduttiin käyttämään enemmän laskutoimituksia. Ensin ”WORD-muotoinen” arvo muutettiin integer-muotoon, jonka jälkeen se jaettiin luvulla 3276,7. Tästä saatu tulos kerrottiin kertoimella 2,2396. Kerroin saatiin mittaamalla akkujen jännitteestä kaksi pistettä ja niitä vastaavat jännitteenjako-piirin jälkeiset arvot logiikalle tuotavasta jännitteenmittauksesta. 61,05 V vastasi 10 voltia ja 42,02 V vastasi 1,503 voltia. Akkujen jännitteen arvot ( $61,05 - 42,02 = 19,03$ ) sekä niitä vastaavat logiikan jännitteenmittauksen arvot ( $10 - 1,503 = 8,497$ ) vähennettiin toisistaan ja niistä saadut erotukset jaettiin toisillaan ( $19,03 / 8,497 = 2,2396$ ), josta saatiin kerroin 2,2396. Kun logiikan arvo oli skaalattu, täytyi siihen vielä lisätä zenerdiodeille jäävä 39,01 V, jotta saatiin logiikalle todellista akkujen jännitettä vastaava arvo. Kuvassa 18 on esitetty akkujen jännitteen skaalaaminen ohjelmassa.



**KUVA 18. Akkujen jännitteen skaalaaminen logiikan ohjelmassa**

Sähköenergianlaskenta ohjelmassa toteutettiin mitattujen virtojen ja akkujen jännitteen avulla. Ensin laskettiin hetkelliset sähkötehot kertomalla virrat akuston jännitteellä. Energianlaskentaan ohjelmassa käytettiin integraalilaskenta-blokkia (kuva 19), joka laskee hetkellisen tehon ajan funktiona ja näin saadaan tuotettu ja kulutettu energia laskettua. Ohjelmaan tehtiin kokonaisenergian laskenta, joka laskee tuotettua ja kulutettua kokonaisenergiaa ohjelman käynnistyshetkestä tai nollaustilanteesta alkaen. Energianlaskennat tehtiin myös tunnin välein automaattisesti tallentuvaksi ja nollautuvaksi.



**KUVA 19. Tuulienergian integraalilaskentablokit logiikan ohjelmassa**

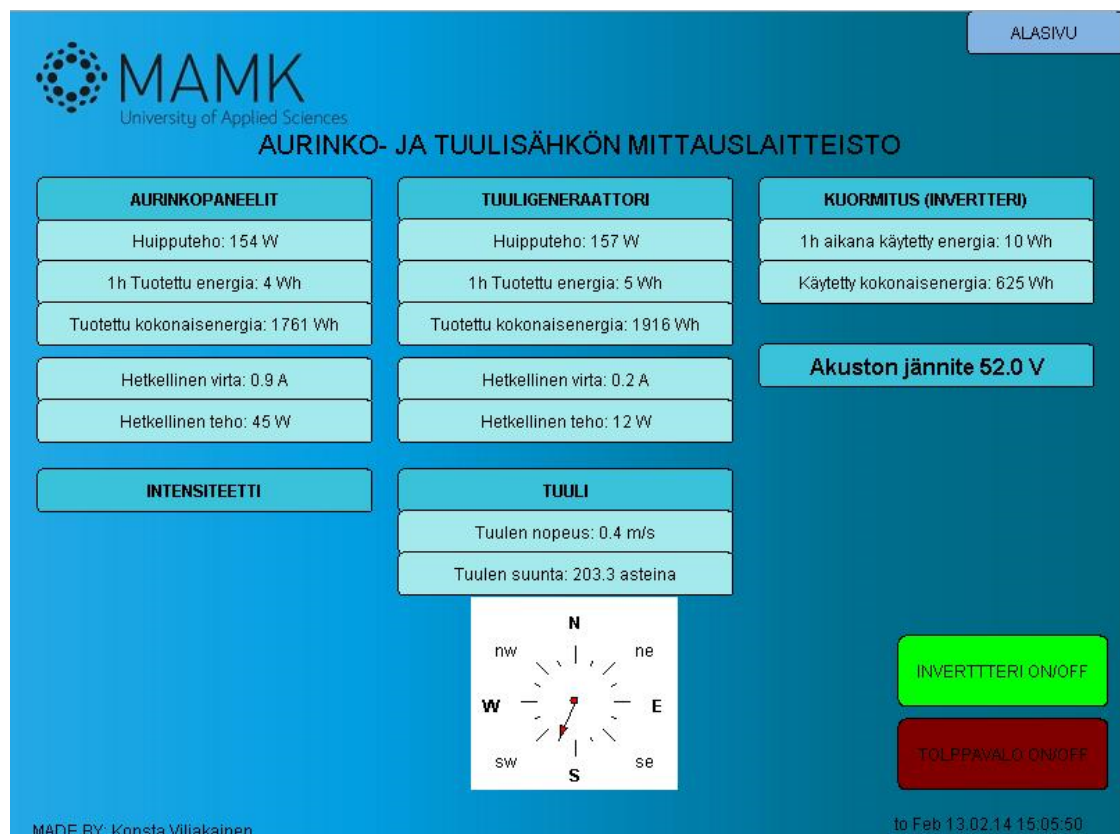
Ohjelma valvoo akkujen jännitetasoa ja ohjaa sen perusteella invertterin ja vaihtoreleen toimintaa. Kun akuston jännitetaso putoaa alle asetellun alarajan, ohjelma sammuttaa invertterin ja ohjauksen vaihtoreleeltä, jolloin rele palaa sähköverkkokäyttöön. Kun akusto saavuttaa ylärajaksi asetellun jännitteen, ohjelma käynnistää invertterin ja ohjaa vaihtoreleen invertterikäyttöön. Hetkellisten latauspiikkien aiheuttamat akuston jännitteen nousut huomioitiin asettamalla akuston ylärajan valvonnalle aikaviive, jonka ajan akuston jännitteen täytyy pysyä yli ylärajan. Kun jännite pysyy määritetyn ajan ylärajan yläpuolella, voidaan todeta akkujen olevan täynnä ja antaa invertterille lupa käynnistyä. Myös vaihtoreleen ohjaukselle asetettiin aikaviive, jotta invertteri ehtii käynnistyä ennen kuorman kytkemistä invertterin perän. Ohjelmaan tehtiin myös mahdollisuus kytkeä invertteri käyntiin käsiohjauksella, jos akusto ei ole vielä kere-



nyt lataantumaan täyteen ja halutaan ladata sähköautoa. Käsikäytölle tehtiin ohjauspainikkeet ohjelman visuaaliseen käyttöliittymään sekä fyysiset painikkeet ohjauskeskuksen kanteen.

Ohjelmaan tehtiin myös ohjaus tuuligeneraattoria valaisemaan asennetulle valaisimelle. Valaisimen päälle- ja poismenokellonaikaa voidaan säätää ohjelman visuaalisesta käyttöliittymästä. Valaisimen voi myös ohjata käsikäytöllä ohjauskeskuksen kannessa olevasta painikkeesta tai käyttöliittymän visuaalisesta painikkeesta halutessaan päälle.

Ohjelman visuaalisesta käyttöliittymästä pyrittiin tekemään selkeä ja helppokäyttöinen. Visuaalinen käyttöliittymä tehtiin Codesys 2.3-ohjelmassa olevalla visualisointityökalulla. Käyttöliittymä on java-pohjainen, ja se keskustelee logiikan kanssa ethernet välityksellä. Käyttöliittymän ensimmäiselle pääsivulle tehtiin taulukot, joista näkyy tuuligeneraattorin ja aurinkopaneelien hetkelliset virrat, tehot ja tuotetut energiat. Invertterin kuluttamalle energialle tehtiin myös oma taulukkonsa. Pääsivulla näkyy myös akuston jännitetaso, tuulennopeus sekä auringon intensiteetti. Tuulensuunnalle tehtiin lisäksi kompassi, joka kuvaa tuulensuuntaa visuaalisesti. Invertterille sekä tolppavalaisimelle tehtiin omat merkkivalot käyttöliittymään. Kuvassa 20 on esitetty käyttöliittymän ensimmäinen sivu.



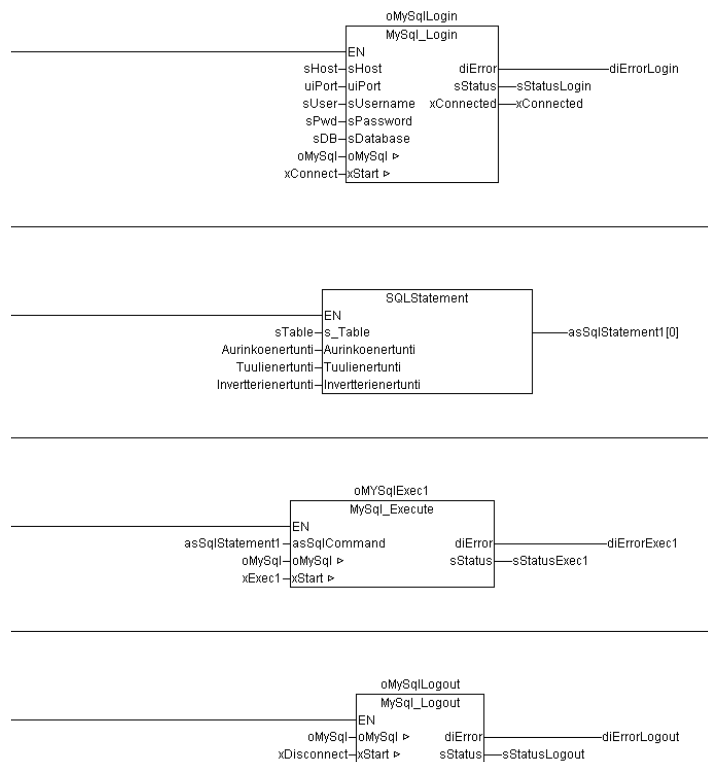
**KUVA 20. Logiikan käyttöliittymän pääsivu**

Käyttöliittymän alisivu (kuva 21) toimii niin sanottuna asetukset välilehtenä. Alasivulle luotiin mittaustietojen tallennusta varten tarvittavat painikkeet sekä tekstinsyöttökentät. Logiikka tallentaa mittaustiedot kerran tunnissa mySQL-tietokantaan joka luotiin palvelinkoneelle. Tallennus nollautuu myös automaattisesti kerran vuorokaudessa asetetulla kellonajalla. Tallennusta varten alisivulla täytyy syöttää mySQL-tietokannan vaatimat seuraavat tiedot: serverikoneen ip-osoite, portti, joka on varattu tietokannalle, käyttäjänimi, salasana, tietokannan nimi sekä taulukot, jonne tiedot halutaan tallentaa. Kun tiedot on syötetty oikein, voidaan yhdistää logiikka mySQL-tietokantaan painamalla connect-painiketta. Alasivulla olevasta error-kohdasta nähdään onnistuuko tietokantaan yhdistäminen. Ohjelma kertoo myös status-riveillä, mikäli tallennus kyseiseen taulukkoon onnistuu. Käyttöliittymän alisivulta on myös mahdollista nollata kokonaisenergialaskurit sekä ohjata invertteri tai tolppavallo päälle käsin.

**KUVA 21. Logiikan ohjelman alisivu (asetukset-sivu)**

Ohjelmoitaessa logiikalle mittaustietojen tallennusmahdollisuutta käytettiin apuna valmiita mySQL-toimintalohkoja, jotka löytyvät codesys2.3-ohjelman kirjastoista. Ohjelmaan täytyi luoda seuraavat blokit mySQL:ää varten: Login (sisäänkirjautumisen blokki), Statement (mittaustietojen käsittelyn ja ketjuttamisen blokki), Execute

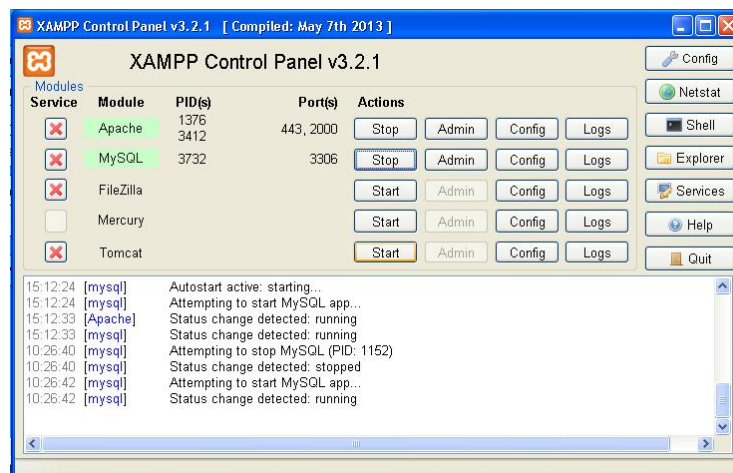
(tietojen lähettämisen blokki) sekä Logout (uloskirjautumisen blokki). Kuvassa 22 näkyvät logiikan ohjelmassa tarvittavat mySQL-blokit.



**KUVA 22. Logiikan ohjelman tarvittavat mySQL blokit**

## 9.9.2 MySQL-tietokannan luominen

Mittaustuloksien tallentamista varten täytyi luoda palvelinkoneelle tietokanta. Tietokannan luomiseen käytettiin XAMPP-ohjelmaa (kuva 23). Ohjelman graafisella käyttöliittymällä tietokannan luominen oli helppoa. Ohjelmalla luotiin mySQL-tietokanta, jonne luotiin kaksi erillistä taulukkoa. Energianmittaustiedoille ja säätiedoille luotiin omat taulukkonsa.



**KUVA 23. XAMPP ohjelman ohjauspaneeli**

## 10 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Mikkelin ammattikorkeakoululle aurinko- ja tuulisähkön tutkimusympäristö mittaustaitteineen. Työn tekemisen aloitin aurinkopaneelien asentamisella jo syyslukukauden 2013 aikana. Tuuligeneraattori oli jo aikaisemmin asennettu oppilaitoksen katolle. Laitteisto saatiin lopulliseen testauskuntoon helmikuun alkupuolella. Aihe oli haasteellinen, mutta samalla mielenkiintoinen. Työn lopputulokseen olen erittäin tyytyväinen, sillä laitteisto saatiin toimimaan halutulla tavalla. Työmäärältään mielestäni työ oli kohtalaisen työläs johtuen laitteiston asennuksista sekä teknisestä toteutuksesta.

Logiikan ohjelmointi oli työssä kaikista työläin ja haasteellisin, mutta samalla myös palkitsevin osio, kun onnistui selvittämään eteen tulleet ongelmat. Aikaisempaa kokemusta kyseisen logiikan ohjelmoinnista ei minulla ollut, joten alussa ohjelmointityö tuntui jopa mahdottomalta haasteelta. Aikaisempi kokemus eri logiikoiden ohjelmoinnista osoittautui hyödylliseksi, ja tuttu ohjelmointikieli helpotti uuden ohjelman sisäistämistä. Ainoa ongelma, joka jäi vielä avoimeksi, oli logiikan ja palvelinkoneen kellonjen tahdistamiseen liittyvä ongelma. Ongelma esiintyy lähinnä pidemmän aikavälin tallennuksissa, joissa tallennuksen kellonaika jätättää hieman. Luulen ongelman johtuvan huonohkosta logiikan sisäisestä kellopiiristä.

Laitteiston toimintaa testattiin laboratorio-olosuhteissa sekä myös todellisessa tilanteessa. Testauskäytössä laitteisto toimi moitteitta ja mittaustietoja saatiin tallennettua. Testaaminen jäi aikataulusta johtuen hieman lyhyehköksi, ja mittaustuloksia ei juurikaan ehditty laitteistolla saada. Lopullinen laitteiston testaaminen sekä mittaustulosten analysointi jää jatkokäyttäjille.

Laitteistoa voidaan hyödyntää opetus- sekä tutkimuskäytössä. Saatavia mittaustuloksia analysoimalla voidaan pohtia ja suunnitella samankaltaisille tuuli- ja aurinkoenergialaitteistoille hyviä käyttökohteita ja sijoituspaikkoja. Myös kustannus- ja kannattavuuslaskelmia sekä hyötysuhdelaskelmia voidaan tehdä. Opettajat voivat hyödyntää laitteistoa opetuksessa sekä laboratoriotöissään. Laitteiston jatkokehittämistä kannattaa myös harkita esimerkiksi lisäämällä laitteistoon seurantalaitteistolla varustetut aurinkopaneelit vertailukohdaksi kiinteille paneeleille.

## LÄHTEET

1. Aurinkoenergia.fi. Aurinkoenergia. Verkkodokumentti.  
<http://www.aurinkoenergia.fi/Info/23/aurinkoenergia>. Luettu 9.1.2014. Päivitetty 2013
2. Erat Bruno, Erkkilä Vesa, Nyman Crister, Peippo Kimmo, Peltola Seppo, Suokivi Hannu. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry. 2008
3. Semkina Soili. Kohta aurinko on yhtä halpaa kuin öljy. Verkkodokumentti.  
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article538253.ece>. Luettu 9.1.2014. Päivitetty 25.11.2010.
4. Energiateollisuus ry. Aurinkoenergia. Verkkodokumentti.  
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/aurinkoenergia>. Luettu 9.1.2014. Päivitetty 9.1.2014.
5. Hemeltron Oy. Aurinkosähkö. Verkkodokumentti.  
<http://www.hemeltron.fi/aurinkosahko.html> Luettu 9.1.2014. Päivitetty 9.1.2014.
6. Aurinkosähkötalo Eurosolar Oy. Aurinkosähkö. Verkkodokumentti.  
<http://www.eurosolar.fi/aurinkosahko/>. Luettu 9.1.2014. Päivitetty 9.1.2014.
7. Motiva Oy. Aurinkosähkö. Verkkodokumentti.  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko) Luettu 9.1.2014 Päivitetty 9.1.2014.
8. Articlesbase.com. Difference between monocrystalline polycrystalline and Amorphous thin film solar cell. Verkkodokumentti. <http://www.articlesbase.com/diy-articles/difference-between-monocrystalline-polycrystalline-and-amorphous-thin-film-solar-cell-3903840.html>. Luettu 9.1.2014. Päivitetty 23.12.2010.
9. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Tietoa tuulivoimasta. Verkkodokumentti.  
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta>. Luettu 10.1.2014. Päivitetty 10.1.2014.
10. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Toimintaperiaatteen mukainen luokittelu. Verkkodokumentti. <http://www.tuulivoimatieto.fi/toimintaperiaate>. Luettu 10.1.2014. Päivitetty 10.1.2014
11. Global wind energy council. Global statistics. Verkkodokumentti.  
<http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>. Luettu 10.1.2014. Päivitetty 10.1.2014.
12. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Pientuulivoima. Verkkodokumentti.  
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/pientuulivoima>. Luettu 10.1.2014. Päivitetty 10.1.2014.
13. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Teoriataustaa pientuulivoimaloista. Verkkodokumentti. [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/yleista\\_tekniikasta](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/yleista_tekniikasta). Luettu 10.1.2014. Päivitetty 10.1.2014.
14. Virtanen Ville. Energian varastointimuodot. Pdf-dokumentti.  
[http://www2.physics.utu.fi/projects/kurssit/UFYS2100/muuta/Luk\\_Virtanen.pdf](http://www2.physics.utu.fi/projects/kurssit/UFYS2100/muuta/Luk_Virtanen.pdf). Luettu 7.2.2014. Päivitetty 10.11.2010.
15. Renewable energy production solutions. MPPT ja PWM Lataussäädin ABC. Pdf-dokumentti. <http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>. Luettu 11.2.2014. Päivitetty 20.9.2013.
16. RC Electronics inc. Current shunt resistors. Verkkodokumentti.  
<http://www.rc-electronics-usa.com/current-shunt.html>. Luettu 12.2.2014. Päivitetty 21.10.2009.
17. Kompo2010. Hall-anturi. Verkkodokumentti.  
<http://kompo2010.wikispaces.com/Hall-anturi>. Luettu 12.2.2014. Päivitetty 11.2.2014.
18. All About Circuits. Voltage divider circuits. Verkkodokumentti.

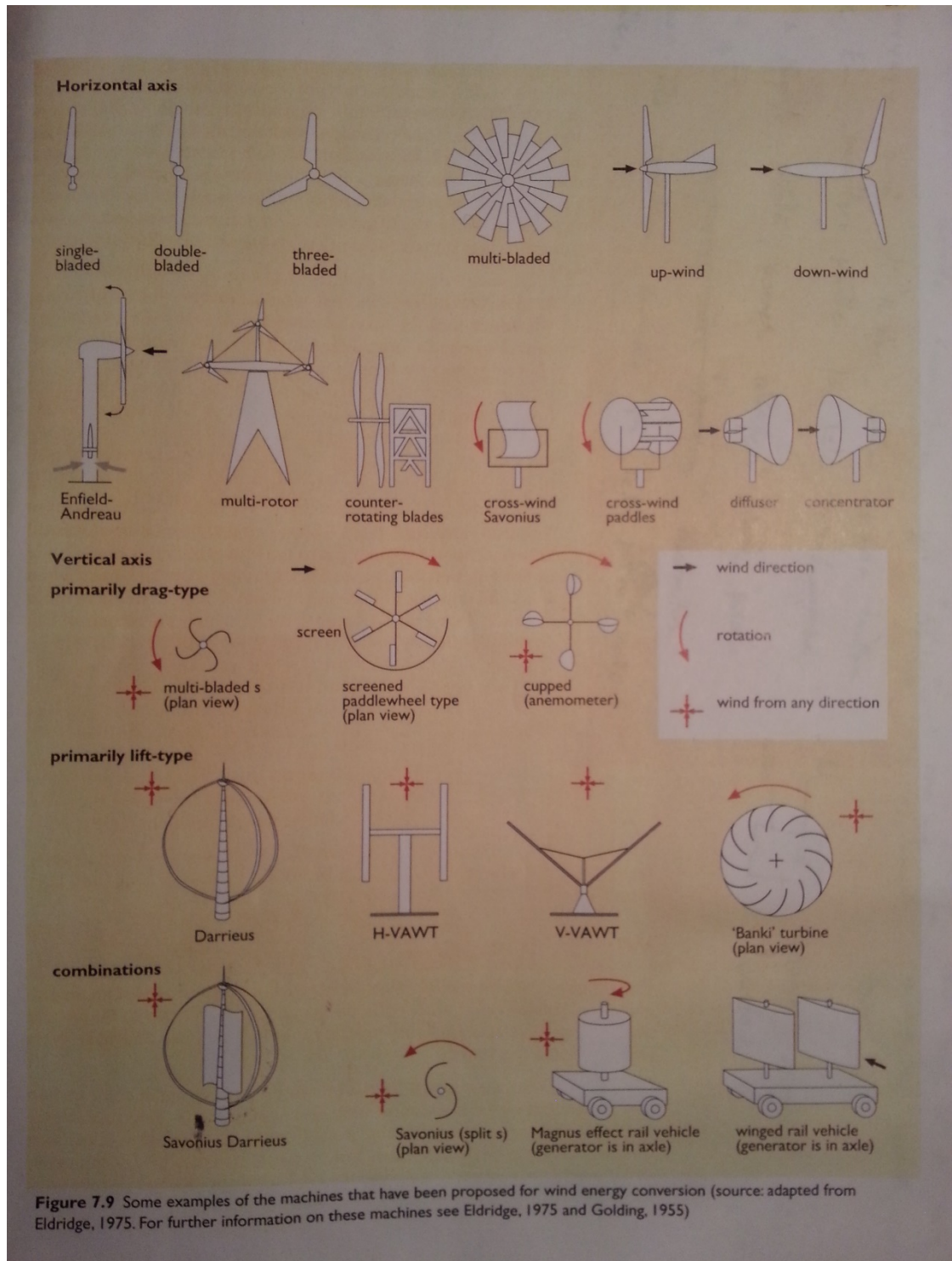
[http://www.allaboutcircuits.com/vol\\_1/chpt\\_6/1.html](http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_6/1.html). Luettu 13.2.2014. Päivitetty 13.2.2014.

19. Frid Johnny, Johnsson Jörgen. 2001. Ohjaustekniikka.

20. Mika Strömman. IEC 61311-3 Standardi ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointikielistä. Pdf-dokumentti.

[https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec.../ELEC-C1210\\_iec\\_61311-3.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec.../ELEC-C1210_iec_61311-3.pdf). Luettu 12.2.2014.

Tuulienergian erilaisia sovelluksia



Godfrey Boyle 2004. Renewable Energy. United Kingdom. Oxford university press.

## Photovoltaic Module

Module Type:	250P
Rated Maximum Power:	250W
Open- Circuit Voltage (Voc):	44.0V
Short- Circuit Current (Isc):	7.69A
Voltage At Pmax (Vmp):	35.5V
Current At Pmax (Imp):	7.04A
Output Tolerance:	±3%
Maximum System Voltage:	1000V
Module Size:	1760*992*45(mm)

---

According to STC (1000w/m<sup>2</sup>, AM1.5, Cell temperature 25°C)

---



## TUULIANTURI VS 3000

Tuulianturi VS 3000 on suunniteltu rakennusautomaation tarpeisiin tuulen suunnan ja nopeuden mittauksiin.

Tuulen nopeus mitataan metrinä sekunnissa ja suunta asteina. Anturin mittaamat nopeus- ja suuntasuureet muutetaan jännitearvoiksi asteikolla 0...10 V. Anturissa on lämmitin mittaustoimivuuden varmistamiseksi kylmissä olosuhteissa.

**HUOM:** tuulianturia asennettaessa punainen merkki tulee suunnata pohjoiseen.



### Tekniset tiedot:

käyttöjännite	24 Vac / Vdc
mittausalueet	
tuulen suunta	0...359 °
tuulen nopeus	0...35 m/s
tarkkuus	
tuulen suunta	±1 °
tuulen nopeus	±1 m/s
lähdöt	2 x 0...10 Vdc
tuulennopeus, maksimi	50 m/s
kaapelin pituus	10 m
kannatintangon halkaisija	< Ø 50 mm
käyttölämpötila	-35...+70 °C
kotelointi	IP65
paino	2.5 kg
korkeus	noin 400 mm

### KytKentä (kaapelinumerointi):

1 (-)	
2 (+)	0...10 Vdc, lineaarinen 0...35 m /s
3 (-)	
4 (+)	0...10 Vdc, lineaarinen 0...359 °
5 (-)	
6 (+)	käyttöjännite lämmittimelle, 24 Vac / Vac

### Tilausohje:

Tyyppi	Tuotenumero	Kuvaus
VS 3000	1136040	tuulianturi, 2 x 0...10 Vdc lähtö

Laite on direktiivin 2004/108/EY mukainen ja täyttää standardit EN61000-6-2001: 6 (Generic Emission) ja EN61000-3-2001: 2 (Generic Immunity).



# SP Lite2 Silicon Pyranometer

## For Cost Effective Measurement of Global Radiation

Compact and lightweight

Designed for use under all weather conditions

Used around the world in meteorology, hydrology and agriculture

Ideal for solar energy applications

### Introduction

The effects of solar radiation are far reaching and it drives the dynamic processes on the Earth's surface and in the atmosphere. The total (global) irradiance on a plane surface is measured by a pyranometer. Kipp & Zonen has been manufacturing pyranometers for over 75 years and we produce models at all price and performance points, up to the very best available. However, some applications require a small and relatively low cost sensor with a fast response time, whilst retaining Kipp & Zonen quality. Therefore we developed the SP Lite2 Silicon Pyranometer.

SP Lite2 can be used under all weather conditions and is designed for a long operating life with simple maintenance. The sensor receives solar energy from the entire hemisphere in its view and produces a small voltage output that can be converted into the irradiance in Watts per square meter ( $W/m^2$ ).

SP Lite2 is installed around the world for meteorology, hydrology, agriculture and building automation; where reliable measurement at relatively low cost is required, and

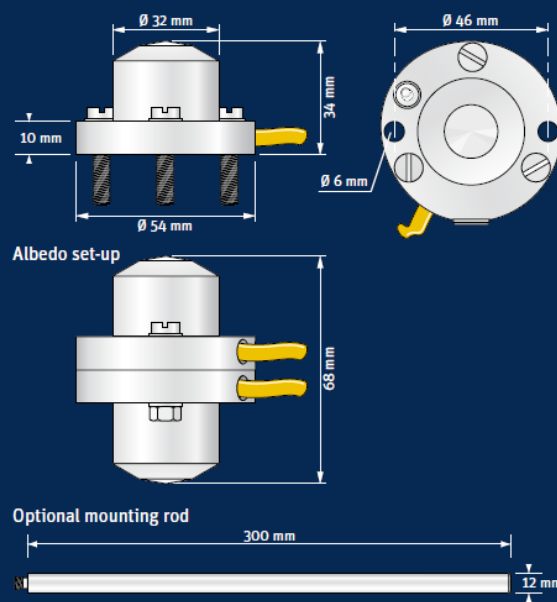
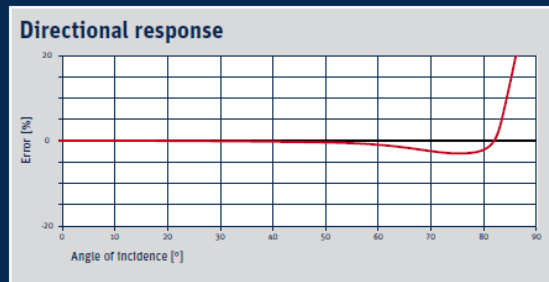
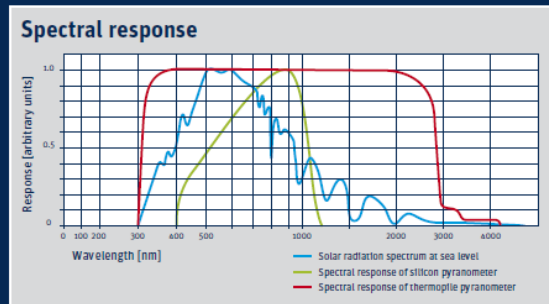
the performance of a broadband thermopile pyranometer is not needed.

SP Lite2 is particularly suited to monitoring the efficiency of photovoltaic solar energy systems, where the spectral response is similar to that of PV cells. Solar radiation is also a key input to decision making on activities such as product quality control, determination of optimum location and predicting the system output under various sky conditions.

**SP Lite2** is a simple pyranometer for routine measurements of solar radiation. It has a conical diffuser that provides excellent directional (cosine) response, causes rain to run off and is easy to clean. Although the spectral range is limited by the photo-diode detector, the performance of the SP Lite2 compares favorably to ISO 9060 Second Class thermopile pyranometers under clear and unobstructed natural daylight conditions.

The mounting flange incorporates a bubble level and adjustment screws, for easy leveling. A threaded hole takes the accessory screw-in mounting rod for fitting to masts and poles. Two SP Lite2 instruments can easily be bolted back-to-back, and fitted with the mounting rod, to make a simple albedometer. The standard cable length is 5 m, with an option of 15 m. SP Lite2 is ideal for use with the METEON handheld display and data logger for field test testing.

Specifications	
Spectral range (overall)	400 to 1100 nm
Sensitivity	60 to 100 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Sensitivity ( $\pm 0.5 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ version)	$10 \pm 0.5 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Impedance	$50 \Omega$
Impedance ( $10 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ version)	$< 10 \Omega$
Expected output range (0 to $1500 \text{ W}/\text{m}^2$ )	0 to 150 mV
Expected output range ( $10 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ version)	0 to 15 mV
Maximum operational irradiance	$2000 \text{ W}/\text{m}^2$
Response time (95%)	$< 500 \text{ ns}$
Non-stability (change/year)	$< 2\%$
Non-linearity (0 to $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ )	$< 2.5\%$
Directional response (up to $80^\circ$ with $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ beam)	$< 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Temperature response	$-0.15\%/^\circ\text{C}$
Field of view	$180^\circ$
Accuracy of bubble level	$< 0.2^\circ$
Detector type	Photo-diode
Operational temperature range	$-40^\circ\text{C}$ to $+80^\circ\text{C}$
Storage temperature range	$-40^\circ\text{C}$ to $+80^\circ\text{C}$
Humidity range	0 to 100% non-condensing
Ingress Protection (IP) rating	67



Go to [www.kippzonen.com](http://www.kippzonen.com) for your local distributor

**HEAD OFFICE**

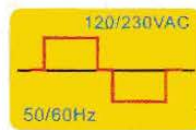
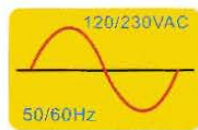
**Kipp & Zonen B.V.**  
 Delftechpark 36, 2628 XH Delft  
 P.O. Box 507, 2600 AM Delft  
 The Netherlands  
 T: +31 (0) 15 2755 210  
 F: +31 (0) 15 2620 351  
[info@kippzonen.com](mailto:info@kippzonen.com)

Kipp & Zonen B.V. reserve the right to alter specifications of the equipment described in this documentation without prior notice

4414396-V1401

# Power Star W7

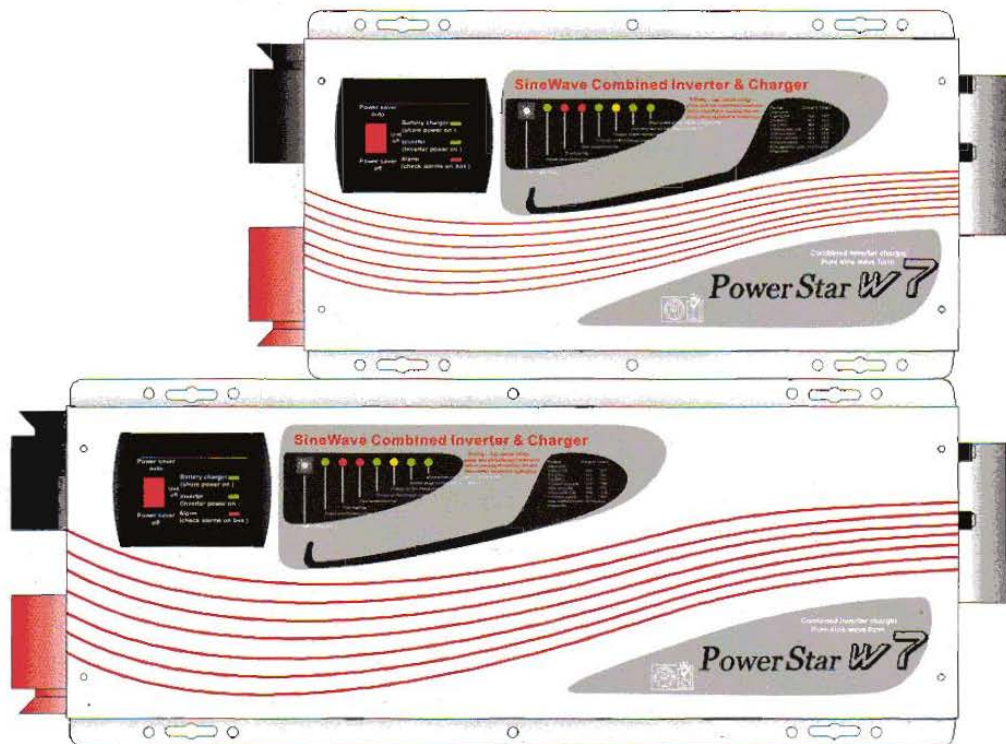
## Product Information Guide



1000W	4000W
2000W	5000W
3000W	6000W

Continuous power  
with P.F.C charger

## SineWave Combined Inverter & Charger



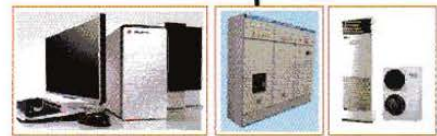
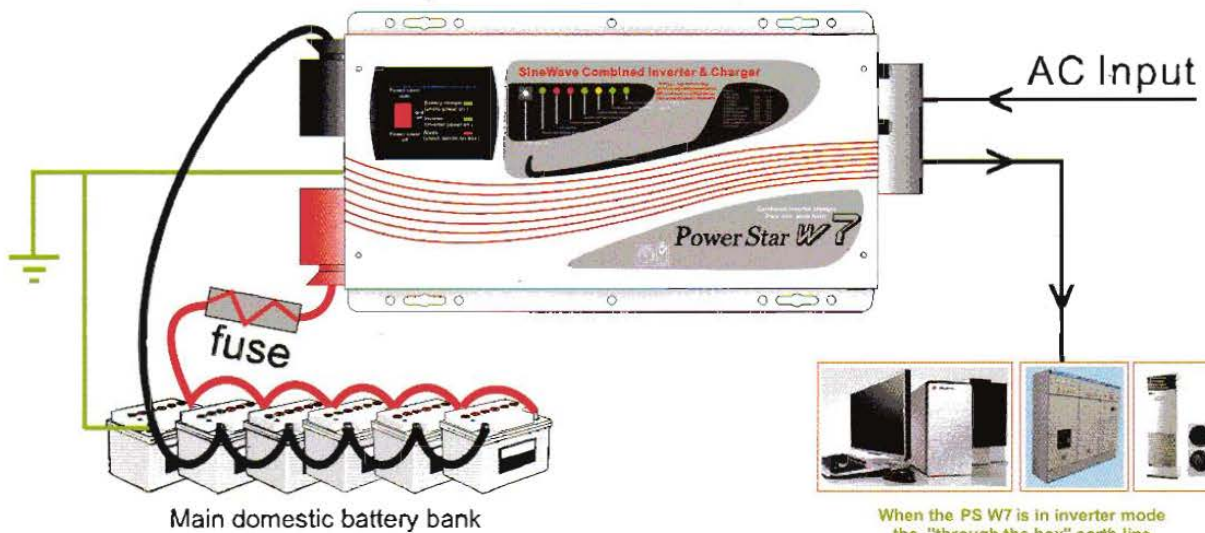
Models: 0612, 1012, 2012, 3012, 2024, 3024  
0612E, 1012E, 2012E, 3012E, 2024E, 3024E  
4024E, 5024E, 6024E, 4048E, 5048E, 6048E



# Combined inverter & charger

## Basic wiring for the Power Star W7 Series

**Warning:** High voltage, do not open unless qualified to do so; Please read instructions before working on this product.

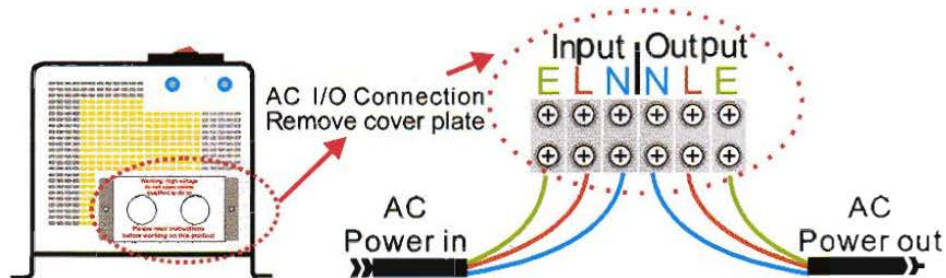
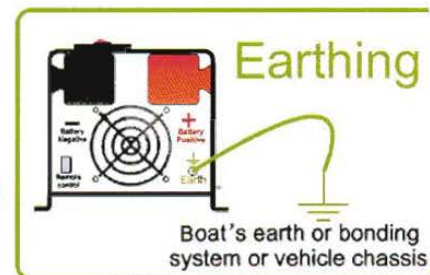


When the PS W7 is in inverter mode the "through the box" earth line is automatically disconnected from the input earth and joined to the output neutral, complying with the natural earth inverter requirements if you wish to maintain a through earth simply connect the input earth to the output earth

### WHAT CABLE TO USE in mm<sup>2</sup>:

A charger or inverter	cable run distance 0 - 1.5m	cable run distance 1.5 - 4.0m
125-180 A	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>
180-330 A	70 mm <sup>2</sup>	90 mm <sup>2</sup>

Please note that if there is a problem obtaining for example 90 mm<sup>2</sup> cable, use 2\* 50 mm<sup>2</sup>, or 3\* 35 mm<sup>2</sup>. One cable is always best but, cable is simply copper and all you require is the copper, so it does not matter if it is one cable or 10 cables as long as the square area adds up. Performance of any product can be improved by thicker cable and shorter runs, so if in doubt round up and keep the length as short as possible.



**Check list**

- 1) Ensure that the inverter has the correct DC voltage for your boat or vehicle system. ie 12v or 24v /48v.
- 2) Fit as close to the batteries as possible. the shorter the DC cables the better. Voltage drop on long cables will effect the unit's performance.
- 3) Do not reverse the cables! Connect the red cable to the positive terminal and the black cable to the negative terminal of the battery. In the event of reverse polarity the unit could be totally destroyed.
- 4) Always use the inverter in an environment which is well ventilated, not exposed to direct sunlight or a heat source, away from water, moisture, oil or grease, away from any highly inflammable substance, out of reach from children.
- 5) The output voltage of this unit must never be on your AC system at the same time as any other AC source such as the 230V external mains line or a generator. All external power must go through the PS W7.
- 6) Always switch on the PS W7 first, before plugging in any appliance.
- 7) Under new electrical legislation only professional electricians should install this product.

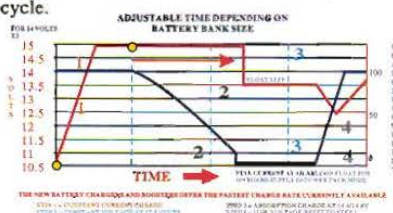
Ensure the fitting instructions are fully understood before fitting this product.

**Installation**

- 1) Position the unit as close to the main battery bank as possible
- 2) Position in a cool, dry & well ventilated space
- 3) Orientation of the unit is not critical.
- 4) Either purchase the standard cable set from Dealer which is about 1.5 metres, or if using your own cable, use the cable size chart provided on the installation drawing to ensure you have thick enough cable for the DC leads. In the event of not being able to get the size requested (it can be hard to get thick cable) then simply add multiple length of thinner cable, i.e. if you cannot get 90mm<sup>2</sup> cable then use 3\* 35mm<sup>2</sup> cable, at the end of the day its just copper we need.
- 5) Fit a fuse suitable for the job, again look at the installation drawing. We have a full range of high current fuses in the GANLR range of gold fuse products, ranging from 100-500 AmPs. on the DC side
- 6) Connect the cables from the batteries to the fuse then to the unit, this way if there is a fault at the unit the fuse is already in place and this will be safe. In the event of a isolation switch being used, please ensure the rating of the switch can handle the power of the unit.
- 7) Ensure the unit is switched off during installation.
- 8) On the AC side ensure the shore power (all external AC sources) are totally disconnected, connect the output from the inverter to suitable Residual Current Breaker (R.C.D. for earth protection) and current over load trips. Fuse the AC input side depending on through power requirements, the max through power is 30AmPs, so fuse at 40A (allowing also for charger consumption) if you intend to use the full through power for standard 13-16 amps throughput then a 20A fuse would be appropriate.
- 9) We recommend Multi core tri rated AC cable, if used on a boat or vehicle, as this is much safer where vibration is likely. Only use single solid household AC cable if the product is being used as a power source for a house or platform free of vibration.
- 10) Before attempting to switch on the unit, please ensure you have selected the correct battery type on the small battery type selector switch on the front of the main box, rotate the switch to your battery type. The Progressive charge control software will automatically adjust for battery bank size and state

**Charge Stage Transition Definitions**

- **Boost CC Stage:** If AC input is applied, the charger will run at full current in CC mode until the charger reaches the boost voltage.
- **Software timer** will measure the time from AC start until the battery charger reaches 0.3V below the boost voltage, then take this time as  $T_0$  and  $T_0 \times 10 = T_1$ .
- **Boost CV Stage:** Start a  $T_1$  timer; the charger will keep the boost voltage in Boost CV mode until the  $T_1$  timer has run out. Then drop the voltage down to the float voltage. The timer has a minimum time of 1 hour and a maximum time of 12 hours.
- **Float Stage:** In float mode, the voltage will stay at the float voltage.
- If the AC is reconnected or the battery voltage drops below 12Vdc/24Vdc, the charger will reset the cycle above.
- If the charge maintains the float state for 10 days, the charger will reset the cycle.



The battery type and charge voltage recommendations are set out above For 24V unit x the above by 2. Some battery types may look confusing such as gel usa and gel euro, AGM usa and AGM euro. If you find this confusion then join the club, we have had the different voltage curves supplied to us by different companies from the U.S.A. and Europe for what we seem the same product, however it's not our call, we simply supply the options, if in doubt call your battery supplier and ask which charge voltage they want you to use for their battery type, and select the closest to it. If totally confused then use the lower voltage setting until you have had a higher voltage setting confirmed to you by whoever supplied the batteries to you.

The de-sulphation cycle on switch position 8 is marked in red because this is a very dangerous setting if you do not know what your are doing. Before even attempting to use this cycle you must clearly understand what it does and when and how you would use it.

What causes sulphation? This can be occur with infrequent use of the batteries, or if the batteries have been left discharged so low that they will not accept a charge. This cycle is a very high voltage charge cycle designed to try to break down the sulphate 'crust' that is preventing the plates taking a charge and thus allow the plates to clean up and so accept charge once again.

How to use this function. (only suitable for open lead acid batteries)

- 1) Ensure the battery bank is totally isolated from anything else on the boat or vehicle; the high voltage applied by this setting could destroy all your electronics and other electrical equipment still connected (hence all these instructions are in red, this is a very expensive mistake).
- 2) Make sure the battery compartment is very well ventilated and battery caps are removed.
- 3) Switch the battery type selector switch to the correct position, then switch the AC power on.
- 4) Because this is such a dangerous setting there is a 4 hr time out period build into the software, however on a very large battery bank this may not be enough and the unit may need to be switched off and on again to do another cycle.

What to expect on this cycle.

I would recommend you monitor the voltage of the sulphated battery bank. When you switch on the cycle the voltage should shoot up to the full 15.5 volts very fast (within minutes) this is because the batteries cannot accept the charge (assuming they are sulphated). However, over a period of 1-2 hrs the voltage should start to drop (as the plates start to clean and the batteries start to take a charge) the voltage could drop way down to about 12.5 volts then start to rise. This shows the batteries are now taking a charge and starting to fill up. In this case it would be safe to switch the unit off and select your normal charging curve and hopefully this will bring your batteries back from the dead. You may need to repeat the process a few times. Please note this is a professional guess tool, which most times helps, but its not magic, so expect the worst and hope for the best. Never leave a system unattended when on this mode. If the battery temperature reaches above 50 deg c (ie. if the batteries are almost too hot to touch) then stop the process).

**Install remote control.**

Isolate the unit before attempting this so there are no high voltages. The local control panel on the front of the unit can also be used as a remote control, reveal the screws holding the panel onto the main box, carefully remove the panel and disconnect it from the connection socket behind the unit.

Fill the hole on the main unit using the blank replica of the remote control unit.

Using the remote cable supplied then re-connect the panel to the unit

**Operation and what to expect**

- 1) After the unit is installed, using the panel on the front of the unit, and with the shore power (120/230VAC) still disconnected, switch the unit on. The leds will cycle through there test routine, then the unit should go into inverter mode and 120/230V should be produced on the output AC terminals (provided the batteries are over 11 volts).
- 2) If the above is ok, then connect the shore power to feed 120/230V into the PS W7, after a short while, the inverter should go off line, and feed the shore power through the inverter. Changeover is about 20 milli secs (so fast that you should not be able to notice it) and the battery charger should come on-line and go through it's charge sequence ending, after 1-10 hrs, with float voltage.

**Common faults:**

There are numerous faults which the unit can detect and transmit the fault to you by the use of l.e.d.s and alarm on the unit itself. The remote control gives a little help but the real fault finding can only take place at the unit. Please see the fault finding chart over the page for full information.

**General specification**

Input Wave form:  
 Nominal voltage:  
 Low voltage trip:  
 Low voltage re engage:  
 High voltage trip:  
 High voltage re engage:  
 Max input AC voltage:  
 Nominal input frequency:  
 Low freq trip:  
 High freq trip:  
 Output wave form:  
 Overload protection:  
 Short circuit protection:  
 Transfer switch rating:  
 Efficiency on line transfer mode:  
 Line transfer time:  
 Bypass without battery connected:  
 Max bypass current:  
 Bypass over load current:  
**Inverter specification / output**  
 Output wave form:  
 Output continuous power watts:  
 Output continuous power VA:  
 Power factor:  
 Nominal output voltage rms:  
 Output voltage regulation:  
 Output frequency:  
 Nominal efficiency:  
 Surge ratings:  
 Short circuit protection:  
**Inverter specification / input**  
 Nominal input voltage:  
 Minimum start voltage:  
 Low battery alarm:  
 Low battery trip:  
 High voltage alarm:  
 Power saver:  
 Power saver:

**Power star**

Sine wave(Utility or Generator)  
 120VAC 230VAC  
 90v ± 4% 184v / 154v ± 4%  
 100v ± 4% 194v / 164v ± 4%  
 140v ± 4% 253v ± 4%  
 135v ± 4% 243v ± 4%  
 150VAC 270VAC  
 50Hz or 60Hz (Auto detect)  
 47 Hz for 50 Hz, 57Hz for 60Hz  
 55 Hz for 50 Hz, 85 Hz for 60Hz  
 ( Bypass mode) same as input  
 Circuit breaker  
 Circuit breaker  
 30 amp or 40 amp  
 95%+  
 10 ms Typical  
 Yes  
 30 amp or 40 amp  
 35 amp or 45 amp: Alarm  
 Pure sine wave or quasi sine wave  
 1000 2000 3000 4000 5000 6000  
 1000 2000 3000 4000 5000 6000  
 0.9-1.0  
 120/230 VAC  
 +/- 10% rms  
 50Hz ± 0.3Hz or 60Hz ± 0.3Hz  
 >88%  
 3000 6000 9000 12000 15000 18000  
 Yes, fault after 10 secs  
 12v 24v 48v  
 10v 20v 40v  
 10.5v 21v 42v  
 10v 20v 40v  
 16v 32v 64v  
 Below 25 watts when enabled  
 Same switched on/off on remote

**Charger mode specification**

Input voltage range:  
 Output voltage:  
 Charge current:  
 Battery initial voltage for start up:  
 Over charge protection shutdown:  
**Charger curves (4 stage constant current ) battery types**  
 4 step digital controlled progressive charge  
**Battery type:**  
 Gel U.S.A  
 A.G.M. 1  
 A.G.M. 2  
 Sealed lead acid  
 Gel euro  
 Open lead acid  
 Calcium  
 De-sulphation  
 Remote control / RS232 / USB  
 Size: in mm  
 Weight:

Fast V	Float V (*2 for 24v; *4 for 48v)
14.0	13.7
14.1	13.4
14.6	13.7
14.4	13.6
14.4	13.8
14.8	13.3
15.1	13.6
15.5 for 4 hrs	
Yes. Optional	
1000/2000/3000 Model:442*218*179mm*	
4000/5000/6000 Model:598*218*179mm*	
1000 2000 3000 4000 5000 6000	
18kg 20kg 22kg 35kg 38kg 40kg	

**Ordering Information**

Typical part number ▶ PS W7 -S -20 -12 -E 00

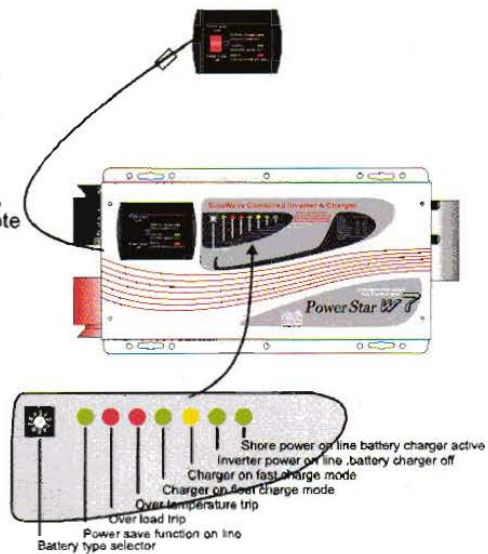
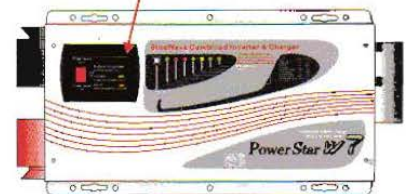
1. Basic Series	PS W7 = Combined Inverter & Charger
2. Waveform	S = Pure Sinewave Q = Quasi Sinewave
3. Power Rating	10 = 1000W 20 = 2000W 30 = 3000W 40 = 4000W 50 = 5000W 60 = 6000W
4. Battery Voltage	12 = 12VDC 24 = 24VDC 48 = 48VDC
5. AC Voltage	E = 230VAC NC = 120VAC
6. Suffix	00 = Standard model 01 = Customer model

**AC input current specification**

Input C	SW Status
1A	SW <sub>1</sub> ON
2A	SW <sub>1</sub> +SW <sub>2</sub> ON
3A	SW <sub>1</sub> +SW <sub>2</sub> +SW <sub>3</sub> ON

**Remote control installation**

remove 4 screws holding this panel and disconnect the cable behind it.

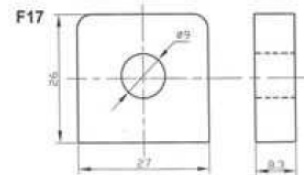


**Indication & fault finding chart**

Status	Function	L.E.D.s on main unit	audible alarm	L.E.D.s on remote
Charge Function	Constant current charge	on	on	on
	Constant voltage charge	flash	on	on
	Float	on	on	on
	Standby	on	on	on
Inverter mode	Inverter on	on	on	on
	Power saver on	on	on	on
Alarms	Battery low voltage	on	beep U.S.A every 0.5 s	on on
	Battery high voltage	on	beep U.S.A every 0.5 s	on on
	Over load ( inverter mode )	on	beep U.S.A every 0.5 s	on on
	Over temp ( inverter mode )	on	beep U.S.A every 0.5 s	on on
	Over temp ( line mode )	on	beep U.S.A every 0.5 s	on on
	Over charge	on	beep U.S.A every 0.5 s	on on
Fault Mode	Fan lock	on	beep continuous	on
	Battery high voltage	on	beep continuous	on
	Inverter mode overload	on	beep continuous	on
	Over temperature	on	beep continuous	on
	Back voltage	flash	beep continuous	flash

**PV Battery(GEL Series)**

**Model: BT-HSE-200-12(12V200AH)**



**Application**

- ✧ Solar system
- ✧ Wind system

**General Features**

- ✧ Thick plates and high-density active material
- ✧ High power density
- ✧ Longer life in deep cycle applications
- ✧ Excellent recovery from deep discharge

**PHYSICAL SPECIFICATIONS**

	<b>Nominal Voltage</b>	12V
	<b>Nominal Capacity (20HR)</b>	200AH
	<b>Length</b>	523±3mm
	<b>Width</b>	240±2mm
<b>Dimensions</b>	<b>Container height</b>	219±2mm
	<b>Total Height (with terminal)</b>	245±2mm
	<b>Weight</b>	Approx. 61.6 Kg(135.8lbs)
	<b>Internal Resistance(In full charge status)</b>	≈3.07mΩ
	<b>Standard Terminals</b>	F17(standard)

**Constant – Voltage Charge**

**Cycle application**

- 1、 Limit initial current less than 40A.
- 2、 Charge until battery voltage (under charge) reaches 14.1V to 14.4V at 25℃(77F).

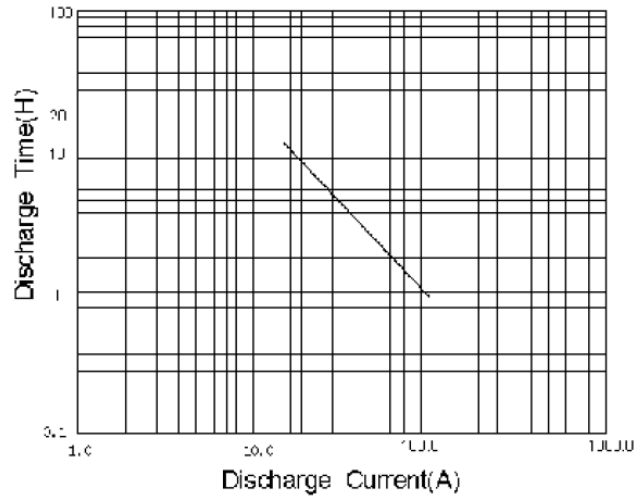


3. Hold at 14.1V to 14.4V until current drop to under 1.2A for at least 3 hours.
4. Temperature compensation coefficient of charging voltage is -30mV/°C.
1. Hold battery across constant voltage source of 13.6 to 13.8 volts with current limit 40A continuously. When held at this voltage, the battery will seek its own current level and maintain itself in a full charge status.
2. Temperature compensation coefficient of charging voltage is -18mV/°C

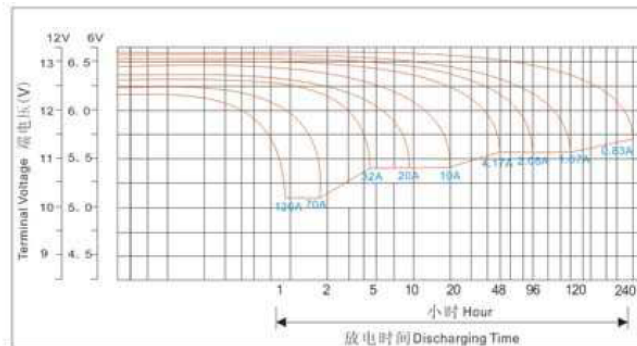
**Standby service**

NOTE The battery should be charged within 6 months of storage, otherwise, permanent loss of capacity might occur as a result of sulfation

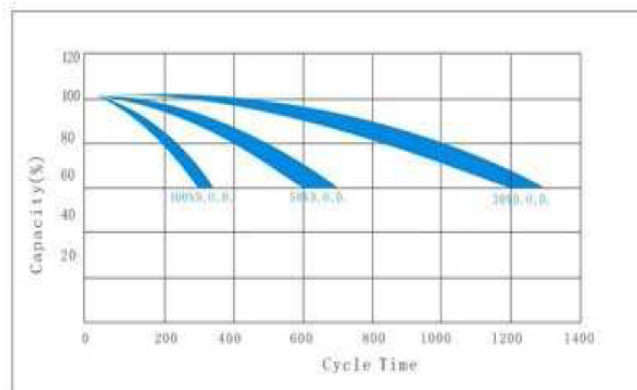
**Discharge Current & Discharge Duration Time (25°C/77°F)**



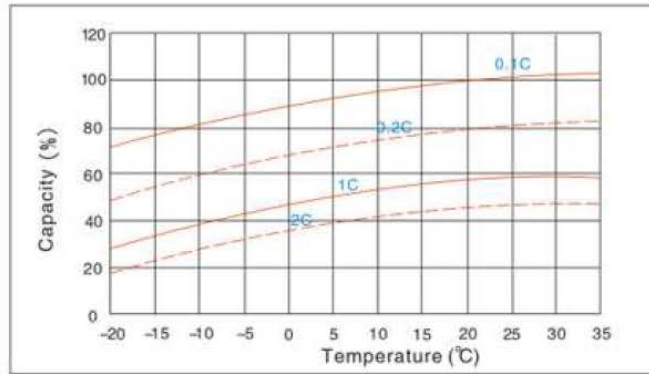
**Discharge Characteristic (25°C/77°F)**



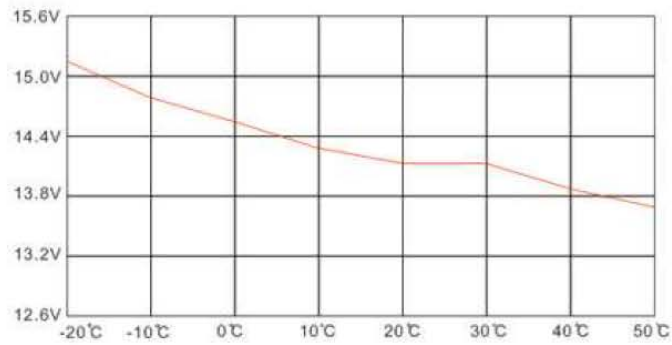
**The Relationship Between Lifetime and Depth Of Discharge(25°C/77°F)**



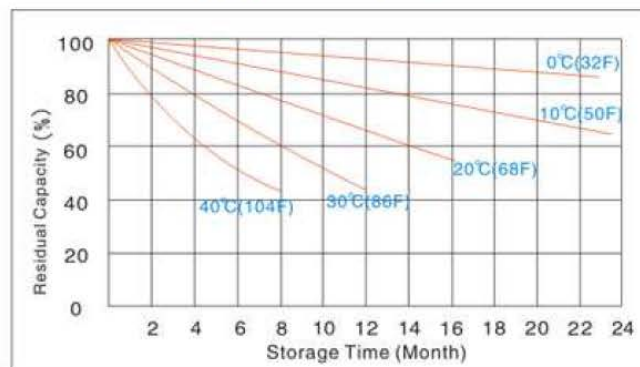
Capacity Curve at Different Temperature



Charg Voltage VS Ambient Temperature Curve



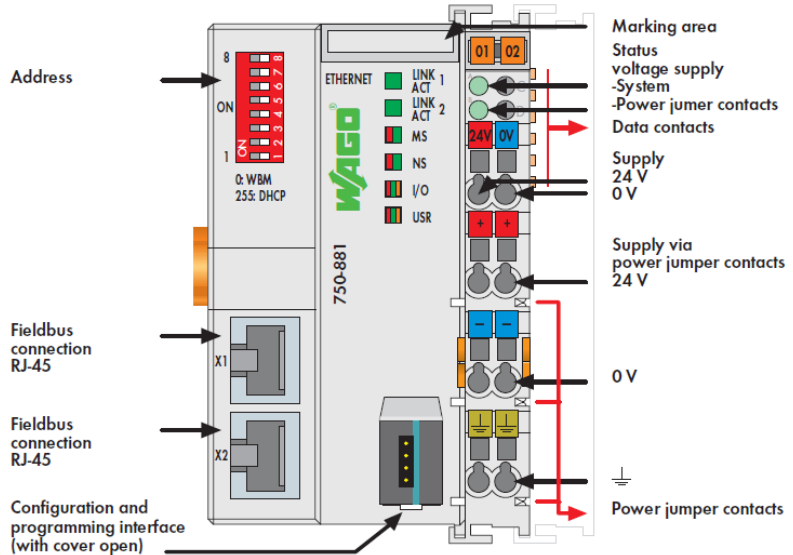
Storage Characteristics



750-881

ETHERNET Programmable Fieldbus Controller

10/100 Mbit/s; digital and analog signals




The 750-881 ETHERNET Fieldbus Controller connects ETHERNET to the modular WAGO-I/O-SYSTEM.

The fieldbus controller automatically configures, creating a local process image which may include analog, digital or specialty modules. Analog and specialty module data is sent via words and/or bytes; digital data is sent bit by bit.

Two ETHERNET interfaces and an integrated switch allow the fieldbus to be wired in a line topology. This eliminates additional network devices such as switches or hubs. Both interfaces support Auto-Negotiation and Auto-MDI(X).

The DIP switch configures the last byte of the IP address and may be used for IP address assignment (DHCP, BootP, static).

The controller is designed for fieldbus communication in both Ethernet/IP and MODBUS networks. It also supports a wide variety of standard ETHERNET protocols (e.g., HTTP, BootP, DHCP, DNS, SNTP, SNMP, FTP). An integrated Web server provides configuration and status information from the controller. The device, which is programmable to IEC61131-3, is capable of multitasking and has a real-time clock.

Description	Item No.	Pack. Unit
ETHERNET Controller	750-881	1
<b>Accessories</b>		
Miniature WSB Quick marking system		
	plain	248-501 5
	with marking	see Full Line Catalog 2010/2011 Volume 3, Section 1
<b>Approvals</b>		
Conformity marking	CE	
	UL 508	
Shipbuilding	GL (Germanischer Lloyd), DNV (Det Norske Veritas)	

System Data	
No. of controllers connected to Master	limited by ETHERNET specification
Transmission medium	Twisted Pair S-UTP 100 Ω, Cat 5; Max. line length: 100 m
Baud rate	10/100 Mbit/s
Transmission performance	Class D acc. to EN 50173
Buscoupler connection	2 x RJ-45
Protocols	EtherNet/IP, MODBUS/TCP (UDP), HTTP, BootP, DHCP, DNS, SNTP, FTP, SNMP
Programming	WAGO-I/O-PRO CAA
IEC 61131-3	IL, LD, FBD, ST, FC



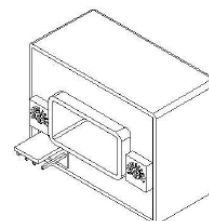


## Current Transducer HAS 50 .. 600-S

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



## $I_{PN} = 50 \dots 600 \text{ A}$



### Electrical data

Type	Primary nominal current rms	Primary current, measuring range <sup>1)</sup>	RoHS since date code
	$I_{PN}$ (A)	$I_{PM}$ (A)	
HAS 50-S	50	± 150	45217
HAS 100-S	100	± 300	45325
HAS 200-S	200	± 600	45166
HAS 300-S	300	± 900	45326
HAS 400-S	400	± 900	45333
HAS 500-S	500	± 900	45201
HAS 600-S	600	± 900	45260

$V_C$	Supply voltage (± 5 % <sup>1)</sup> )	± 15	V
$I_C$	Current consumption	± 15	mA
$R_{IS}$	Isolation resistance @ 500 VDC	> 1000	MΩ
$V_{OUT}$	Output voltage (Analog) @ ± $I_{PN}$ , $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 4V ± 40	mV
$R_{OUT}$	Output internal resistance	approx 100	Ω
$R_L$	Load resistance <sup>2)</sup>	> 1	kΩ

### Accuracy - Dynamic performance data

$X$	Accuracy @ $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (excluding offset)	< ± 1	%
$\varepsilon_L$	Linearity error <sup>3)</sup> (0 .. ± $I_{PN}$ )	< ± 1	% of $I_{PN}$
$V_{OE}$	Electrical offset voltage, $T_A = 25^\circ\text{C}$	< ± 20	mV
$V_{OH}$	Hysteresis offset voltage @ $I_p = 0$ , after an excursion of $1 \times I_{PN}$	< ± 20	mV
$TCV_{OE}$	Temperature coefficient of $V_{OE}$	HAS 50-S < ± 2 HAS 100 .. 600-S < ± 1	mV/K mV/K
$TCV_{OUT}$	Temperature coefficient of $V_{OUT}$ (% of reading)	< ± 0.1	%/K
$t_r$	Response time to 90 % of $I_{PN}$ step	< 3	μs
$di/dt$	$di/dt$ accurately followed	> 50	A/μs
$BW$	Frequency bandwidth (- 3 dB) <sup>4)</sup>	DC .. 50	kHz

### General data

$T_A$	Ambient operating temperature	- 10 .. + 80	°C
$T_S$	Ambient storage temperature	- 25 .. + 80	°C
$m$	Mass	approx 60	g
	Standards <sup>5)</sup>	EN 50178: 1997	

Notes: <sup>1)</sup> Operating at ± 12 V ≤  $V_C$  < ± 15 V will reduce the measuring range.

<sup>2)</sup> If the customer uses 1 kΩ of the load resistor, the primary current has to be limited as the nominal. To measure the full defined measuring range, the load resistor should be at minimum 10 kΩ.

<sup>3)</sup> Linearity data exclude the electrical offset.

<sup>4)</sup> Please refer to derating curves in the technical file to avoid excessive core heating at high frequency.

<sup>5)</sup> Please consult characterisation report for more technical details and application advice; To IEC 61000-4-3 (2006), Output is above to 15% of  $V_{sn}$  between 200MHz and 700MHz.

### Features

- Hall effect measuring principle
- Galvanic isolation between primary and secondary circuit
- Isolation voltage 3000 V
- Low power consumption
- Extended measuring range (3 x  $I_{PN}$ )
- Insulated plastic case made of polycarbonate PBT recognized according to UL 94-V0.

### Advantages

- Easy mounting
- Small size and space saving
- Only one design for wide current ratings range
- High immunity to external interference.

### Applications

- AC variable speed drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

### Application domain

- Industrial.



## Current Transducer HAS 50 .. 600-S

### Isolation characteristics

$V_d$	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	3.6	kV
$\hat{V}_w$	Impulse withstand voltage 1.2/50 $\mu$ s	> 6.6	kV
		Min	
dCp	Creepage distance	7.08	mm
dCI	Clearance distance	6.23	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	275	

### Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCI, $\hat{V}_w$	Rated isolation voltage	Nominal voltage
Single isolation	600 V	600 V
Reinforced isolation	300 V	300 V

### Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

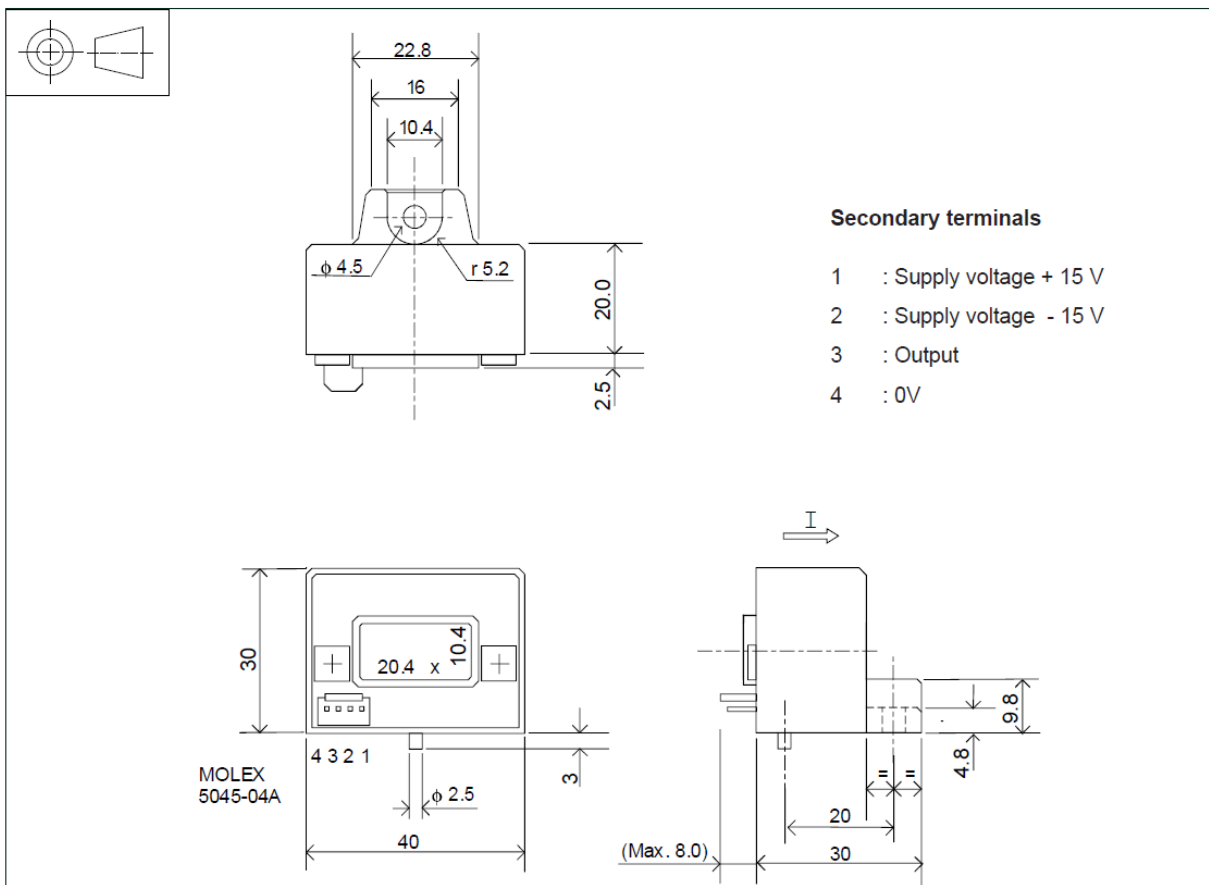
This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.



Dimensions HAS 50 .. 600-S (in mm.)



**Mechanical characteristic**

- General tolerance  $\pm 0.5$  mm