



GREENLAB

Aurinkosähköjärjestelmä

Tomi Kämäräinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Sähkötekniikan ko.
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

KÄMÄRÄINEN, TOMI:
Greenlab
Aurinkosähköjärjestelmä

Opinnäytetyö 42 sivua, josta liitteitä 6 sivua
Huhtikuu 2014

Vastatakseen kehityksen tuomiin tarpeisiin Tampereen ammattikorkeakoulu on lisännyt opetukseen uusiutuvien energioiden opetusta ja opetusjärjestelmiä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli valmistaa laboratoriokäyttöön soveltuva aurinkosähköjärjestelmä, jolla voitaisiin simuloida kyseisten järjestelmien normaalia käyttöä. Työhön kuuluivat järjestelmän suunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto sekä testaus. Työ oli prototyypiluonteinen, koska ahtaiden sisätilojen ja normaalista poikkeavan säteilylähteen vuoksi ei voitu välttämättä käyttää suoraan valmistajan ohjeistamia kiinnitys- ja käyttötapoja.

Opinnäytetyössä perehdyttiin järjestelmään kuuluvien laitteiden toimintaan ja perustekniikkaan. Samalla selvitettiin myös näiden laitetekniikoiden asemaa markkinoilla. Käytännön työ oli iso osa projektia, joten valmistumisen eri vaiheita seurattiin työssä erittäin tarkkaan. Testauksessa haluttiin nähdä paneelien reagointi tyypillisimpiin valaistustehon muutoksiin sekä selvittää järjestelmän kykyä sopeutua muuttuviin kuormitustilanteisiin.

Simulaatiojärjestelmä saatiin rakennettua nopeasti ja turvallisesti suunnitelmien mukaisesti. Käyttöönotolla ja testauksella varmistettiin järjestelmän toimivuus ja turvallisuus. Testauksilla saatiin hyviä ideoita suuremmille testauskokonaisuuksille, joita laboratoriossa voidaan jatkossa tehdä.

Projekti saatiin aikataulun mukaisesti tavoiteltuun valmiusasteeseen, ja sillä pystytään simuloimaan peruskäyttöä. Järjestelmään on mahdollista jatkossa suunnitella myös laajennusta uusien mittauspisteiden sekä muiden energialähteiden muodossa.

Asiasanat: aurinkosähkö, opetusjärjestelmä, simulointi, rakentaminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electric Power Engineering

KÄMÄRÄINEN, TOMI:
Greenlab
A Photovoltaic System

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 6 pages
April 2014

The basis of this project was the demand to increase teaching and systems of renewable energies. The purpose of this study was to build photovoltaic system for electrical laboratory studies. The system was needed to simulate normal photovoltaic systems. The project included planning, building, commissioning and testing.

The theoretical section explores the function and technology of system equipment. The position of these equipment techniques at the market was also explained. Practical work was a significant part of the project so various phases of the completion were followed very precisely. Testing included the measurement of reactions of panels against the most typical illuminance changes. Testing also defined the capacity of the system to adjust to varied load situations.

The project was completed fast, safely and according to plans. Commissioning and testing confirmed functionality and the safety of the system. Testing gave plenty of ideas to new tests. With the system the basic use can be simulated. In future it is also possible to extend the system by inserting new measuring points and connecting it to other sources of energy.

Key words: photovoltaic, teaching system, simulation, building

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	OPPIMISYMPÄRISTÖN LAITTEISTO	6
	2.1 Paneelit.....	6
	2.2 Lataussäädin.....	7
	2.3 Akut	10
	2.4 Invertteri.....	11
	2.5 Laitteiston suojaus	12
	2.6 Valaisin	13
3	RAKENTAMINEN.....	14
	3.1 Suunnittelu	14
	3.1.1 Perussuunnittelu	14
	3.1.2 Kaapeleiden mitoitus.....	15
	3.1.3 Suojalaitteiden mitoitus.....	18
	3.2 Laitteistokärry	19
	3.3 Valaisintelineet	22
	3.4 Paneelit.....	24
	3.5 Kokonaisuus valmiina.....	26
4	KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS	27
	4.1 Ohjeistus oppimisympäristön käyttöön ja varotekijät.....	27
	4.2 Käyttöönotto	27
	4.3 Järjestelmän testaus.....	29
	4.3.1 Paneelin toiminta erilaisilla valaistuksilla.....	31
	4.3.2 Järjestelmän käyttäytyminen kuormituksessa	32
	4.3.3 Testauksen lopputulos.....	34
5	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET	37
	Liite 1. Piirikaavio	37
	Liite 2. Suojalaitetekotelo	38
	Liite 3. Laitteistokärryn layout	39
	Liite 4. Laitteiston käyttöohje	40
	Liite 5. Kuormituksen vaikutus jännitetasoihin eri valaistusmalleilla	41
	Liite 6. Kuormituksen arvot eri valaistusmalleilla	42

1 JOHDANTO

Aurinkosähkön kasvu on viime vuosikymmenen aikana ollut kaikista uusiutuvista energianlähteistä merkittävintä, noin 45 % vuodessa. Maailmalla aurinkosähkön yhteenlaskettu teho on kasvanut samana aikana 1,5 gigawattista 40 gigawattiin. Suuri osa aurinkoenergiaa hyödyntävistä maista ovat vauhdittaneet kasvua poliittisilla päätöksillä sekä tukiohjelmilla. (Hietalahti, 2013, 36)

Suomessa kehitystä on kenties hidastanut järjestelmien korkeat aloituskustannukset verrattuna vuoden tuottoaikaan. Järjestelmillä ei ole siis saatu energiaa tarpeeksi ympäri vuoden ja varsinkaan korkeimman energiakulutuksen aikaan talvella. Järjestelmät ovatkin olleet pääasiassa ns. mökkijärjestelmiä joissa ei varsinaista sähköliittymää ole lisänä. Sähkönhinnan nousu sekä järjestelmien hintojen putoaminen alkavat kuitenkin pikkuhiljaa vaikuttaa järjestelmien suosioon.

Opinnäytetyö lähtikin tarpeesta kehittää Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriota nykyaikaisempaan suuntaan jotta pysytään kehityksen mukana. Tämän hetken ja tulevaisuuden mielenkiintoisimpia energianlähteitä ovat uusiutuvat energiat ja varsinkin aurinkoenergia, jonka kilpailukyky on lähenemässä aikaisempia energialähteitä.

Opinnäytetyössä rakennettiin laboratorioon oikeasta aurinkosähköjärjestelmästä simulaatio- ja oppimisympäristö missä voidaan mallintaa mahdollisimman todennäköisesti aurinkopaneelien toiminta. Itse opinnäytetyöhön kuuluivat kokonaisuuden suunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto sekä testaus.

Aurinkosähköjärjestelmien tuomisesta opetusympäristöön oli keväällä 2013 tehty teoreettinen opinnäytetyö ”Sähköisten aurinkopaneelien testausympäristö” tekijänä Juha Pellonpää. Hän oli työssään lähestynyt asiaa lähinnä valonsäteilyn kautta ja laskenut sekä tehnyt ehdotukset käytettävään laitteistoon. Näihin ehdotuksiin pohjautuen laitteistohankinnat oli tehty ennen tämän vuoden opinnäytetyö projektin alkamista

2 OPPIMISYMPÄRISTÖN LAITTEISTO

2.1 Paneelit

Aurinkopaneelitekniikka perustuu valosähköiseen ilmiöön, jolloin puolijohdetekniikkaa käyttäen fotonit muodostavat jännitteen rajapintojen yli ja näin saamme muutettua aurinkoenergiaa sähköenergiaksi. Elementit muodostuvat kahdesta yhteen liitetystä puolijohdemateriaalista joista toinen on N- ja toinen P- tyyppinen. P-tyyppinen materiaali on positiivisesti varautunut ja N-tyyppinen vastaavasti negatiivisesti varautunut. Lepotilassa näiden pintojen välisessä rajakerroksessa eli ole varausta, mutta fotonien osuessa siihen muodostuu puolijohteen yli jännite-ero joka mahdollistaa kennon energian tuoton (Hietalahti 2013, 36)

Yleisimpiä paneeliratkaisuja ovat tällä hetkellä yksikiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot, monikiteiset piikennot, amorfiset piikennot ja termosähköiset aurinkokennot. Näistä yleisin on yksikiteinen malli. Yksikiteisen kennon hyötysuhde liikkuu yleensä välillä 12–16 prosenttia, kun monikiteisellä se on hieman alhaisempi 11–15 prosenttia. Yksikiteiset ovat kuitenkin monimutkaisempia ja arvokkaampia kuin monikiteiset. (Hietalahti 2013, 36)

Projektiin tilattiin kahdenlaiset paneelit. Molempaa paneelityyppiä on kaksi kappaletta. HJ-250 W yksikide aurinkopaneelit (taulukko 1). Tämän paneelityypin jännitearvot ovat korkeat ja tällöin järjestelmään on lisättävä lataussäädin etteivät akut kärsi ylijännitteestä.

TAULUKKO 1. HJ-Solar paneelin arvot

Nimellisteho	250 W
Tehollinen jännite	50,6 V
Tyhjäkäyntijännite	60,5 V
Tehollinen virta	4,9 A
Mitat	1580x1062
Paino	22 kg

Toinen paneelimalli on Solara S 240 P60 monikide aurinkopaneelit (taulukko 2). Paneeli on lähes saman tehoinen HJ-Solarin paneeliin verrattuna, mutta sen jännitetaso on matalampi.

TAULUKKO 2. Solara-paneelin arvot

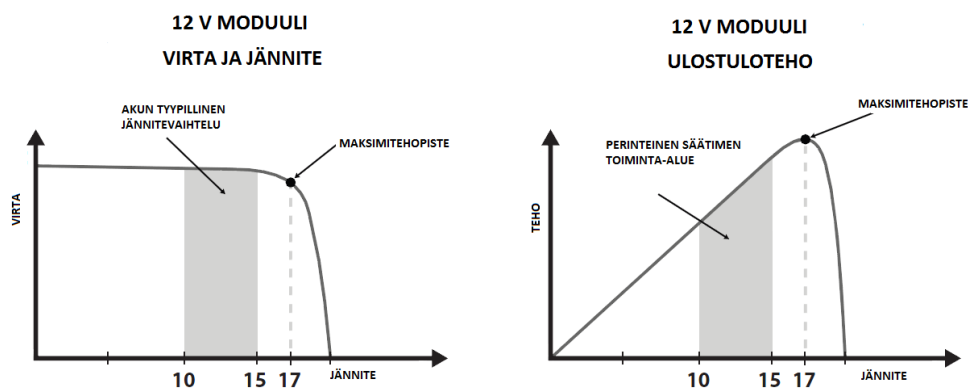
Nimellisteho	240 W
Tehollinen jännite	29,4 V
Tehollinen virta	8,17 A
Mitat	1660x990
Paino	20,5 kg

2.2 Lataussäädin

Aurinkosähköjärjestelmiin tulee asentaa lataussäädin paneelien ja akkujen väliin. Lataussäätimen avulla voidaan estää akkujen ylilatautumiset ja syväpurkautumiset. Säätimissä on yleensä myös estosuuntainen diodi jolloin estetään takaisinvirtaus akuilta paneeleille. Tätä estetään myös paneelien korkealla tyhjäkäyntijännitteellä jolloin jännite-ero akkujännitteen kanssa pysyy sen suuntaisena, että virran kulku on paneelilta akuille. Lataussäätimillä ohjataan siis paneelien latausvirtaa sekä -jännitettä.

Lataussäädön perusta on se, että 12 V järjestelmissä akkujännite on nostettu 14,4 V ja sen jälkeen lataus on lopetettu, kunnes akkujännite on jälleen lähempänä 12 V. Kehittyneemmissä tekniikoissa kuten PWM-tekniikassa (Pulse-Width Modulation) eli pulssileveysmodulaatiossa säädetään pulssisuhdetta sen mukaan kuinka lähellä haluttua jännitettä akku siinä vaiheessa on.

Uusimpia tekniikoita on kuitenkin MPPT-tekniikka (Maximum Power Point Tracking). Tässä tekniikassa säädin hakee ns. maksimitehopisteen (kuvio 1) eli tutkii millä jännite ja virta arvoilla voitaisiin saada paneelista paras teho ja pitää tämän jälkeen jännitteen siinä arvossa.



KUVIO 1. Maksimitehopiste

Tällöin paneeleilta tulevan jännitteen ei tarvitse olla sama kuin akuille menevän. Jännitteensäädin ei kuitenkaan itse tuota mitään vaan teho mitä siihen tulee, siirtyy myös eteenpäin. Yksinkertaistettuna, mikäli emme ota huomioon säätimessä mahdollisesti tapahtuvia häviöitä, teho siirtyy kaava (1) mukaan:

$$U_{\text{paneeli}} * I_{\text{paneeli}} = U_{\text{akunlataus}} * I_{\text{akunlataus}} \quad (1)$$

Tämä mahdollistaa paneelin akkuja suuremman jännitteen käytön ilman, että akut siitä kärsivät. Myös virta paneelien ja säätimen välillä vähenee verrattuna tilanteeseen jossa paneelinjännitettä jouduttaisiin rajoittamaan akkujännitteen mukaan. Pienempi virta mahdollistaa mitoituksessa pienemmät kaapelit sekä pienentää häviöitä siirtomatalla.

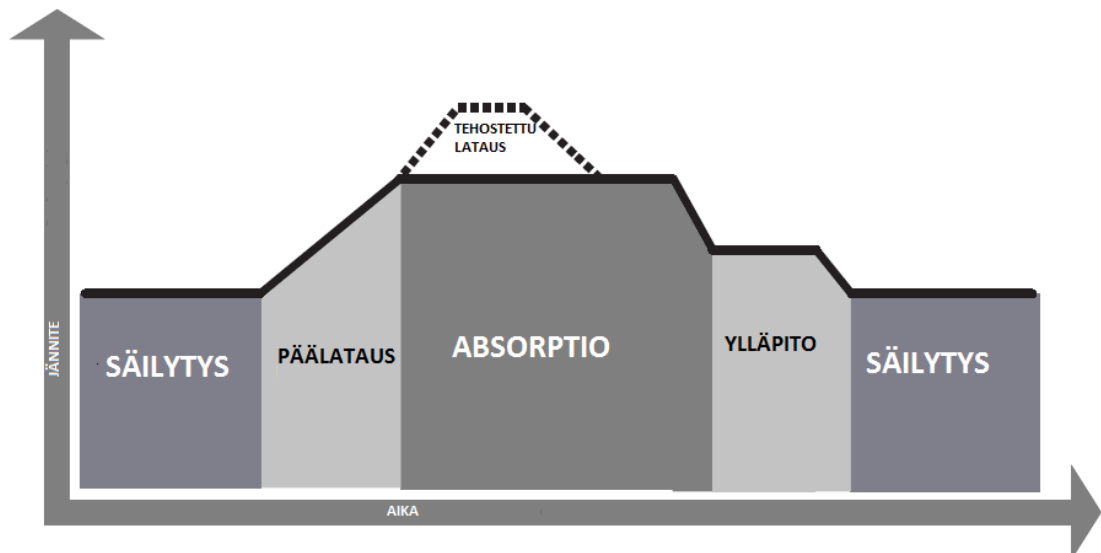
Simulaatiolaitteistoomme tilattiin 2kpl MPPT-tekniikalla toimivia Morningstarin valmistamia Tristar MPPT- säätimiä (kuva 1). Säätimet olivat malliltaan TS-MPPT-60 ja TS-MPPT-45. Mallien numerot 60 ja 45 kertoivat säätimien jatkuvan virran kestoisuuden ampeereina.



KUVA 1. Lataussäätimet

Tristar MPPT-säätimien latausalgotrimi (kuvio 2) kertoo lataussäätimen erilaisista lataustilanteista riippuen akun varaustilanteesta. Päälatauksessa akku ei ole vielä 100 prosenttisisessä lataustilassa eikä akun jännite ole vielä saavuttanut absorptiopistettä. Tässä vai-

heessa lataussäädin siirtää kaiken saatavilla olevan paneelitehon akkuihin. Kun absorptiopiste on saavutettu pidetään jännite vakiona vakiojännitesäädöllä. Tämä ehkäisee myös akun kuumentumista ja ylimääräistä kaasuuntumista. Akun annetaan kuitenkin latautua täyteen absorptiopisteessä. Tässä jännitteessä ollessaan säädin vilkuttaa vihreää merkkivalo kerran sekunnissa.



KUVIO 2. Tristar MPPT-säätimien latausalgoritmi

Akun täytyy pysyä absorptiotilassa kumulatiivisesti 120–150 minuuttia ennen ylläpitotilaan siirtymistä. Tällöin akun varaustila on täysi ja ylläpitotilassa halutaan suojella akkua pitkäaikavälin ylivaraukselta. Täyteen akkuun tuleva latausvirta muuttuu lähinnä lämmöksi ja akkukaasuiksi sillä kemiallisia reaktioita ei pääse enää syntymään. Tällöin säädin antaa varausjännitteen tippua hieman ja ylläpitää varausta pienellä latausvirralla. Mikäli kulutusta tulee sen verran että akun jännite jää alle ylläpitopisteen kumulatiivisen 60 minuutin ajan, siirtyy säädin takaisin päälataustilaan.

Tehostettua latausta käytetään tietyillä akkutyypeillä herättämään elektrolyyttejä, tasoittamaan kennojännitteitä ja täydentämään kemiallisia reaktioita. Säädin määrittelee tehostetun latauksen ajat sen perusteella mikä akkutyypin asetuksiin on käyttöönotossa aseteltu. Säilytystilassa akun varaustilanne on matalahko ja säädin pyrkii siirtymään tällöin päälataustilaan.

2.3 Akut

Aurinkosähköjärjestelmissä tarvitaan paneelien tuottamalle energialle varasto, koska kulutus harvoin on sen verran tasaista, että sähkö voitaisiin käyttää suoraan paneeleilta. Varastona voidaan käyttää akkuja tai nykyään myös sähköverkkoa. Aurinkosähköjärjestelmät asettavat akuille kovia vaatimuksia mm. latausvirran ja kuormituksen vaihdellessa suurestikin.

Aurinkosähköjärjestelmissä yleisesti käytetään lyijyakkuja ja näistä suljettuja. Suljettu VRLA-akku (Valve Regulated Lead Acid) tarkoittaa akkua jossa elektrolyytti ei ole nestemäisessä muodossa vaan se on joko geelimäisessä muodossa (geeliakku) tai imeytettynä lasikuitumattoon (AGM, Absorbent Glass Mat). Tällöin saavutetaan akun vuotamattomuus jolloin se on huoltovapaa ja sen asennus on vapaampaa eri asentoihin. Ero geeliakun ja AGM-akun välillä tulee lämpötilan kestossa jolloin AGM-tekniikka kestää alempia lämpötiloja. Suljetuista lyijyakuista on vielä erityisesti uusiutuvan energian tarpeisiin suunniteltuja syväpurkausakkuja (Deep Cycle), jolloin akussa on käytetty paksumpia lyijylevyjä kuin normaalisti. Tällöin akkujen syklikestoisuus paranee. (Kvick 2010, 36; Sepälä 2011, 36; Siemala 2011, 36; Nieminen 2012, 36; Liimatainen 2013, 36)

Aurinkosähköjärjestelmäämme valittu akkutyyppe oli 12V Deep Cycle AGM-akku (kuva 2). Valmistaja ilmoittaa akun ominaisuuksiksi mm. seuraavia arvoja: 20 tunnin purkautumisaika 25°C lämpötilassa, tasaisen mallin (Float design) elinikä 7-10 vuotta 20°C lämpötilassa ja elinikä syklistä mallilla on 400 sykliä 80 %, 600 sykliä 50 %, 1500 sykliä 30 % purkautumisella. Akun koko on 220 Ah ja paino 65 kg.



KUVA 2. Aurinkosähköjärjestelmän akku (Victron energy)

Järjestelmämme akulle ilmoitettuja jännitteitä (taulukko 3) voimme käyttää käyttöön-otossa, kun määrittelemme lataussäätimelle oikean akkutyypin jolloin jännitteet latauksen eri vaiheissa ovat kyseiselle akulla optimaaliset.

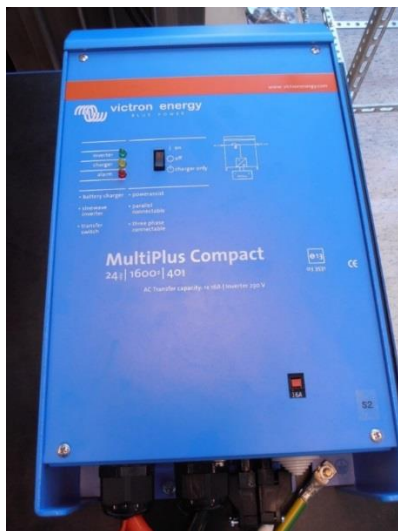
TAULUKKO 3. Akun jännitetiedot (Datasheet GEL and AMG Batteries)

	Float Service (V)	Cycle service Normal (V)	Cycle service Fastest recharge (V)
Victron AGM "Deep Cycle"			
Absorption		14,2 - 14,6	14,6 - 14,9
Float	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8
Storage	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5

2.4 Invertteri

Invertteri eli vaihtosuuntaaja on järjestelmässä jotta voidaan muuntaa akkujen tasajännite verkkovirtaa vastaavaksi vaihtojännitteeksi. Tämä helpottaa sähkölaitteiden hankintaa vaikkakin tasajännitteellä toimivia kotitalouskoneita on markkinoilla.

Järjestelmäämme valittiin Victron energyn Multiplus Compact invertteri (kuva 3), joka on tarkoitettu 24 V järjestelmiin ja sen teho on 1600 W. Kyseisen invertterin luvataan tuottavan puhdasta siniaaltoa, kun taas halvempien invertterimallien ulostulo sähkö on kantikkaampaa. Puhtaammalla aaltomuodolla mahdollistetaan myös herkimpien sähkölaitteiden käyttö invertterin tuottamalla sähköllä.



KUVA 3. Invertteri

Multiplus Compact-invertteri pystyy toimimaan lisäksi akkulaturina 4-vaiheisella lataus-algotrimilla. Tällöin invertteri tarvitsee teholähteen joka voidaan liittää vaihtovirtatulona. Kyseinen invertteri sopii siis saarekekäyttöihin jolloin siihen liitetään esimerkiksi generaattori tai muu energianlähde.

2.5 Laitteiston suojaus

Laitteiston suojaus perustuu pohjimmiltaan KTM päätökseen 1193/99 sähkölaitteistojen turvallisuudesta. Päätöksen liitteessä 1 on lueteltu olennaisimmat turvallisuusvaatimukset.

Perus- tai kosketussuojaus laitteistossa tarkoittaa sitä, että laitteet ovat ehjiä, ne ovat normaalissa käytössään ja jännitteisten osien koskettaminen on estetty mikäli se aiheuttaa vaaraa. Tällä suojellaan ihmisiä ja eläimiä laitteiston jännitteisiltä osilta jotka voivat olla vaarallisia. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 2012, 36)

Sähkölaitteiston rakenteessa on otettava huomioon laitteiston synnyttämä palovaara. Tällöin on otettava huomioon sähkölaitteiden ympärillä olevat materiaalit, ympäristössä mahdollisesti olevat paloherkät materiaalit sekä laitteiston valmistajan ilmoittamat suojaetäisyydet. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 2012, 36)

Jännitteisissä johtimissa kulkeva virta tai ylivirta ei saa aiheuttaa niin korkeita lämpötiloja tai sähkömekaanisia rasituksia, jolloin vaaralle alttiiksi joutuisivat ihmiset, kotieläimet tai omaisuus. Tämän vuoksi kaapeloinnit on suojattava oikeankokoisilla suojalaitteilla. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 2012, 36)

Mikäli sähkölaitteistossa esiintyy vika, on normaalisti jännitteettömien johtimien sekä johtavien osien kestettävä vikavirta ilman, että niiden lämpötila nousee vaarallisen korkeaksi tai että niistä aiheutuu mekaanista vaaraa. Tällöin siis suoja- eli maadoitusjohtimet on oltava oikein mitoitettu. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 2012, 36)

Laitteiston rakenne ja käyttöohjeistus on oltava sellainen, jotta myös vailla sähköalan ammattitaitoa olevat henkilöt voivat käyttää laitteistoa turvallisesti ilman jännitteisten osien kosketusvaaraa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 2012, 36)

2.6 Valaisin

Normaalisti aurinkosähköjärjestelmän valonlähteenä on aurinko. Sisälle sijoitettavalle simulaatiojärjestelmälle tuli kuitenkin hankkia valaisin simuloimaan aurinkoa. Valaisimen tulisikin olemukseltaan olla mahdollisimman pitkälle auringon säteilyä vastaava. Tähän ei tietenkään millään ylletä, mutta valaisimen ominaisuuksista tärkeitä ovat valon monipuolinen spektri sekä valaisuteho.

Järjestelmäämme valittiin LG:n valmistama rikkiplasmavalaisin (kuva 4) (PLS, Plasma Lighting System).



KUVA 4. Rikkiplasmavalaisin (VP-lux)

Myyjän (VP-lux) mukaan valaisimet tuottavat valoa 90–95 % ottamastaan sähkövirrasta, kun taas perinteisemmät purkauslamput vain 35–45 %. Valaisinta suositellaan mikäli tarvitaan suurta valotehoa sekä korkeaa värintoistoa. Valaisimet ovat varustettu sisäisellä jäähdytyksellä. Käyttöiäksi luvataan +50000 h. (VP-lux)

TAULUKKO 4. Valaisimen tiedot

Malli	PSH0731B
Virtaliitäntä	220-240V/50Hz
Teho	730 W
Mitat	500x500x480
Paino	18,2 kg
Valoteho	58,500lm
Väriämpötila	4,500K, 6,500K, 7,500K
Värintoisto	80Ra
Käyttölämpötila	40°C...-20°C

3 RAKENTAMINEN

3.1 Suunnittelu

3.1.1 Perussuunnittelu

Laitteiston suunnittelu lähtee tilaajan tarpeista sekä turvallisuus näkökohdista. Tilaaja tarvitsi laboratorioon soveltuvan aurinkosähköjärjestelmän simulaatiolaitteiston jota voidaan jatkossa käyttää opiskelijoiden käytössä. Turvallisuuden perusteet saatiin KTM päätöksen 1193/99 tiedoista.

Kosketussuojaus järjestelmässä rakentuu pitkälti laitteiden omien kotelointien varaan. Ainoastaan akkujen navat olivat esillä suojaamattomasti, joten näille tarvitsi rakentaa kotelointi joka estää normaalikäytössä jännitteisten osien koskettamisen. Myös kaikille suojalaitteille asennettiin laitteelle soveltuvat koteloinnit.

Laitteiston aiheuttama palovaaraa jouduttiin huomioimaan erityisesti valaisimien kohdalla joille suunniteltiin rakenteeltaan avoin teline jotta jäähdytysilma pääsee kiertämään tehokkaasti. Myös lataussäätimen ja invertterin valmistajien ohjeet asennusetäisyyksistä otettiin huomioon asennuksessa. Laboratorio on varsin siisti tila joten vaaraa ei ole pölystä tai syttymisherkistä aineista laitteiston lähetyvillä.

Akut täytyy suojata ylijännitteiltä akkujen vioittumisen vuoksi. Tämän hoitaa jännitteen-säädin. Lisäksi kaapeleihin akulta lataussäätimelle tai invertteriin asennetaan suojasulakkeet vikatilanteita varten.

Laitteistossa ei ole näkyvillä jännitteisiä osia valmiina ollessaan joten käyttö onnistuu myös ilman sähköalan ammattitaitoa. Laitteen merkitään loogisesti ja mittauspisteet ovat esillä ja turvalliset käyttää. Paneelien yhdistäminen laitteistokärryyn ei tarvitse tietoa napaisuudesta vaan liittimet sopivat yhteen vain oikeinpäin laitettaessa.

Pöydän läheisyyteen tulee käyttöohjeistus, joka tarkentuu käyttöönoton aikana. Tämän ohjeistuksen myötä uusi käyttäjä osaa tarkistaa laitteiston sen hetkisen tilan ja alkaa käyttämään sitä turvallisesti.

3.1.2 Kaapeleiden mitoitus

Kaapeloinnin suunnittelussa tuli ottaa huomioon turvallisuus näkökohdat sekä laitteiston sähköinen että rahallinen taloudellisuus. Kaapeloinnin mitoitus suureita ovat suurin sallittu lämpenemä eli kuormitettavuus, oikosulkukestoisuus, jännitteenalenema, johtimiin kohdistuvat mekaaniset rasitukset sekä vikasuojauksen kannalta virtapiirin suurin sallittu impedanssi.

Laitteiston ollessa jännitteeltään varsin pieni, nousee virrat järjestelmässä isommaksi verrattuna verkkovirtajärjestelmiin kaavan 2 mukaisesti.

$$P = U * I \quad (2)$$

, jossa

P = laitteiston teho

U = laitteiston jännite

I = laitteiston virta

Laitteiston kaapeloinnin suunnittelussa oli apuna myöskin valmistajien antaman ohjeelliset kaapelikoot lataussäätimelle (taulukko 5) ja invertterille (taulukko 6). Lataussäätimen kaapeloinniksi näemme 15 mm² kuparikaapelin ja invertterille 35 mm² kuparikaapelin. Invertteriin oli tosin jo valmistajan toimesta asennettu 25 mm² kuparikaapelit 1,5m pituudella.

TAULUKKO 5. Tristar-lataussäätimen valmistajan ilmoittamat kaapelikoot

Model	Wire Type	75°C Wire	90°C Wire
TS-MPPT-30	Copper	8 AWG (10 mm ²)	10 AWG (6 mm ²)
TS-MPPT-30	Aluminum	8 AWG (10 mm ²)	8 AWG (10 mm ²)
TS-MPPT-45	Copper	6 AWG (15 mm ²)	6 AWG (15 mm ²)
TS-MPPT-45	Aluminum	4 AWG (25 mm ²)	4 AWG (25 mm ²)
TS-MPPT-60	Copper	4 AWG (25 mm ²)	6 AWG (15 mm ²)
TS-MPPT-60	Aluminum	2 AWG (35 mm ²)	4 AWG (25 mm ²)

TAULUKKO 6. Victron energy-invertterin valmistajan ilmoittamat kaapelikoot

	24/800	24/1200	12/800	12/1200	12/1600
			24/1600		
Suosittelut poikkipinta (mm ²)					
1,5 ¹ → 5 m	16	25	35	50	70
5 → 10 m	35	50	70	100	140

Jännitteenalenema kaapeleissa ilmenee virran sekä kaapelin resistiivisyyden mukaan. Kuparikaapelin resistanssi on laskettu kaavassa 3

$$R = \rho * \left(\frac{l}{A}\right) \quad (3)$$

, jossa

R = kaapelin resistanssi

ρ = rho, eli kuparin ominaisvastus $0,01786 \Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$

l = kaapelin pituus

A = kaapelin neliöpinta-ala

Tämän jälkeen voidaan laskea jännitteenalenema kaavalla 4

$$U_h = R * I \quad (4)$$

, jossa

U_h = kaapelin jännitehäviö

R = kaapelin resistanssi

I = kaapelissa kulkeva virta

Tarkistetaan aluksi invertterin kaapelointi. Kaapelissa kulkeva virta saadaan yhtälöstä 5

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1600}{24} = 66,6 \text{ A} \quad (5)$$

lasketaan kaapelin resistanssi 3 m pituiselle 25 mm^2 kuparikaapelille yhtälössä 6

$$R = \rho * \left(\frac{l}{A}\right) = 0,01786 * \left(\frac{3}{25}\right) = 0,002143 \Omega \quad (6)$$

tällöin jännitteenalenemaksi muodostuisi yhtälön 7 mukaan

$$U_h = R * I = 0,002143 * 66,6 = 0,1429 \text{ V} \quad (7)$$

suhteellinen jännitteenalenema olisi tällöin yhtälön 8 mukaisesti

$$U_{\%} = \frac{U_h}{U} * 100\% = \frac{0,1429}{24} * 100\% = 0,6 \% \quad (8)$$

Jännitteenalenema jää jopa alle 1 %, joten kaapelointi on varmasti riittävä tähän laitteistoon.

Seuraavaksi tarkastellaan lataussäätimen kaapelointia. Koska järjestelmä ei ole kiinteä vaan siihen voidaan liittää erisuuruisia paneelipaketteja, käytetään laskennassa tällöin lataussäätimen virta arvoja. Tällöin käytettävä kaapelissa kulkeva virta on lataussäätimen 45 A virta.

lasketaan kaapelin resistanssi 6 m pituiselle 15 mm² kuparikaapelille yhtälössä 9

$$R = \rho * \left(\frac{l}{A}\right) = 0,01786 * \left(\frac{6}{15}\right) = 0,007144 \Omega \quad (9)$$

tällöin jännitteenalenemaksi muodostuisi yhtälön 10 mukaan

$$U_h = R * I = 0,007144 * 45 = 0,32 V \quad (10)$$

suhteellinen jännitteenalenema olisi tällöin yhtälön 11 mukaisesti

$$U_{\%} = \frac{U_h}{U} * 100\% = \frac{0,32}{24} * 100\% = 1,34 \% \quad (11)$$

Jännitteenalenema jää selvästi alle 2 % jopa edellä mainituilla arvoilla. Kun otetaan huomioon, että paneelin ja säätimen välillä jännite on yleensä suurempi kuin 24, jopa lähempänä 50 voltia, niin jännitteenalenema pienenee. Virta arvot eivät myöskään tule rakennettavassa järjestelmässä olemaan näin suuret. Lisäksi tilaajan toivomuksesta käytettiin mahdollisimman paljon varastosta löytyneitä materiaaleja joten kaapelointiin käytettiin 25 mm² kuparikaapelia.

Laitteistokärryyn tulee lisäksi erilliset suojajohtimet jolla pöytä ja sen laitteistot saadaan maadoitettua maapotentiaaliin. Lataussäätimen valmistajan minimivaatimus maadoitusjohtimen paksuudeksi oli 6mm² kuparikaapeli. Laitteistokärryissä käytettiin kuitenkin 16mm² kuparikaapeli sitä löytyessä varastosta. Laitteistokärryn pöytäosaan asennetaan maadoitusruuvi mihin pöytä voidaan maadoittaa missä se silloin sattuu olemaankin.

3.1.3 Suojalaitteiden mitoitus

Mitoitettavia suojalaitteita tarvitaan laitteiden välillä kulkevissa kaapeloinneissa (taulukko 7). Tasajännitepuolelle asennetun 25mm² kuparikaapelin pienimmäksi virrankestoksi löytyi SFS 6000-standardin taulukoista 72 A. Käytetään tätä arvoa mitoituksissa ja perusteluissa.

TAULUKKO 7. Suojalaitteita vaativat kaapelointivälit

Kaapelointiväli	Matka (m)	Kaapeli
Paneelit- Lataussäädin	4	MK 25
Lataussäädin - Akusto	2	MK 25
Akusto - Invertteri	3	MK 25
Invertteri - Kuormitus	2	MMJ 3x2,5 s

Paneelilta lataussäätimelle tulevalle kaapelille suunniteltiin johdonsuojakatkaisija, jotta suojausten lisäksi tätä voitaisiin käyttää myös erotuskytkimenä, kun halutaan erottaa paneelit muusta laitteistosta. Suojankoko katsottiin tässä tapauksessa säätimen sekä kaapeloinnin mukaan. Kiinteässä järjestelmässä koko voidaan valita pienemmäksikin paneelien tehollisen virran mukaan. Kyseiseen väliin valittiin johdonsuojakatkaisija C 40. Tällöin ei ylitetä säätimen virrankestoa ja kohteeseen jopa ylikokoinen kaapelointi kestää kyseiset virrat.

Lataussäätimeltä akustoon kaapelointi jatkui 25mm² kaapelilla n. 2m matkan. Mitoitus kriteereinä olivat kaapelin sekä lataussäätimen virrankestot. Tähän väliin tuli 40 A ANL sulake ja tähän sopiva kosketussuojattu kotelo, joka sijoitettiin akkukoteloon lähelle akkuja.

Akustolta invertteriin välille järjestelmän mukana oli tullut 63 A putkisulake alustoineen. Tämän voidaan todeta riittäväksi invertterin suojaksi yhtälössä 5 lasketun tuloksen mukaisesti. 63 A putkisulake riittää myös välille tulevalle kaapelille.

Kuormitussulakkeeksi valittiin C 10 johdonsuojakatkaisijat. Kyseisessä kohteessa tarve ei ole suurempi vaikka käytettävän kaapelin MMJ 3x2,5 sallisi myös C 16 kokoisen johdonsuojan.

3.2 Laitteistokärry

Laitteistokärryn suunnittelu lähti sitä kohden olevista vaatimuksista. Sen tulisi olla sen verran tukeva, jotta siihen voidaan lastata raskaat akut (yhteensä 130kg). Kärryä pitäisi pystyä myöskin liikuttelemaan jouhevasti ja sen pitäisi olla sen verran kompaktin kokoinen, että sitä mahtuu kuljettelemaan koulun hisseissä. Lopulta päädyttiin AJ-tuotteiden lavavaunuun (kuva 5), jonka kantavuus oli 350kg, mitat 1000 mm pitkä 700 mm leveä ja 870 mm korkea. Se on varustettu 200 mm halkaisijaltaan olevilla kumipyörillä joista kahdessa on jarru.



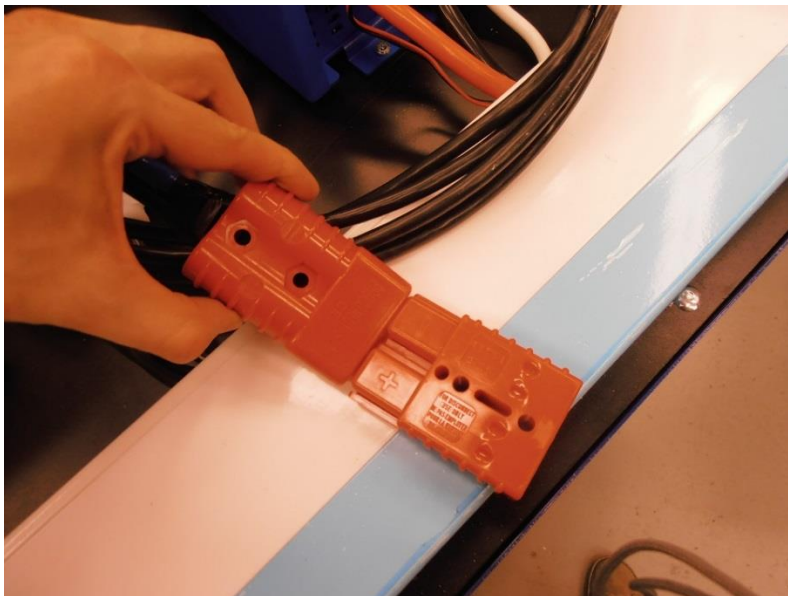
KUVA 5. Pöytä

Seuraava vaihe oli kärryn layoutin suunnittelu. Akut tulisivat sijaitsemaan kärryn alatasolla painonsa ja yleisen käytettävyyden kannalta. Akkuja varten suunniteltiin ja rakennettiin vanerikotelo (kuva 6), jotta sähköiset liitännät saadaan suojattua tahattomalta kosketukselta. Loput kärryyn tulevat komponentit sijoiteltaisiin ylätasolle vierekkäin vähintään valmistajan ohjeissa määritettyjen minimi etäisyyksien päähän (liite 3).



KUVA 6. Akkukotelo kärryyn

Valmis kärry tulisi saada liitettyä paneelipakettiin helposti ja varmasti. Täytyi siis löytää tasajännitteille (kaksinapainen) soveltuva liitin. Tähän tarkoitukseen löytyi lopulta yleensä trukkiiliitännöissä käytettävä tasavirtaliitin (kuva 7). Tämä liitin kestää hyvin järjestelmässä liikkuvat virrat ja sen käyttö on varmaa eli sitä ei pysty kiinnittämään väärinpäin.



KUVA 7. Liittimet kärryyn ja paneelisiin

Laitteistokärryn keskeisimmäksi osaksi rakentui suojalaitekotelo (kuva 8) johon sijoitettiin kaikki muut suojalaitteet paitsi lataussäätimen ja akun välinen sulake, joka sijoitettiin mahdollisimman lähellä akkua, akkukoteloon. Suojauskeskukseen vasempaan reunaan

tulivat tasajännitteen suojaukset ja oikeaan laitaan vaihtojännite suojaukset. Kanteen sijoitettiin naparuuvit mittauksia varten. Suojauskeskuksen tarkemmat kytkennät löytyvät liitteestä 2.



KUVA 8. Suojauskeskus

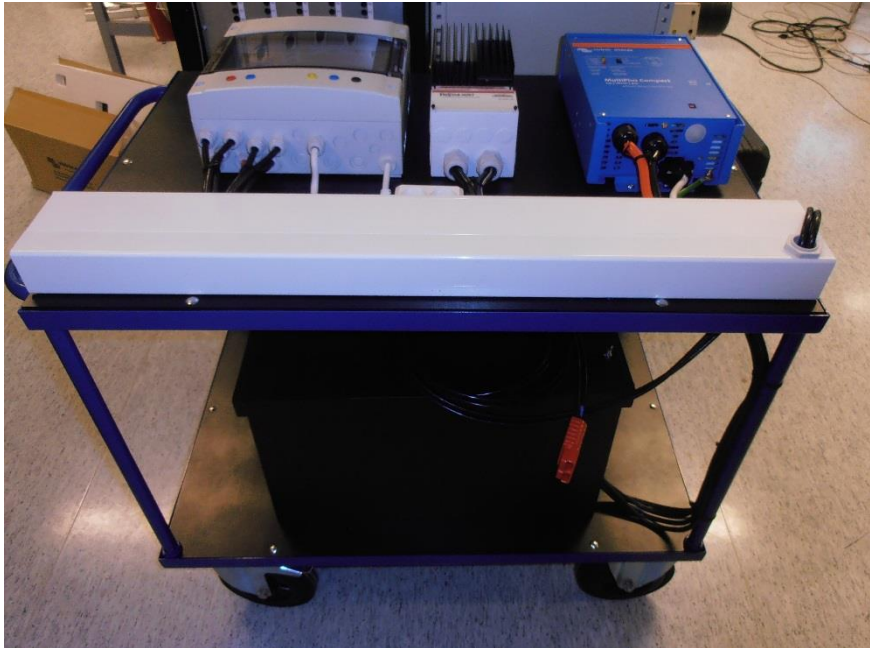
Laitteistokärryn ylätasolle (kuva 9) lopulta sijoitettiin suojauskeskus, lataussäädin, invertteri sekä pistorasia vaihtojännite käyttöä varten. Johtoreitityksiä siistittiin käyttämällä koko pöydän leveyden peittävää kaapelikourua josta poikettiin joka laitteen kohdalla tarpeen mukaan. Laitteet kiinnitettiin ruuveilla pöytään jotta laitteisto on vakaampi käsitellä ja etäisyydet laitteistojen välillä pysyvät oikeana.



KUVA 9. Valmis kärry päältä

Kaapelointi ylätasolta akuille tehtiin yhtenä nippuna vain ylätason komponentteihin kiinnittäen, jotta pöydän purkamisen akkujen lisäystä varten olisi mahdollisimman jouhevaa.

Lopulta kärrystä (kuva 10) tuli varsin siistin ja kompaktin oloinen paketti jota voidaan siirrellä tarpeen mukaan paneelien luokse. Täytyy kuitenkin muistaa, että laitteistoa on käytettävä vain sisätiloissa, sillä laitteiden suojauksia ei ole suunniteltu kosteutta vastaan.



KUVA 10. Valmis kärry sivulta

3.3 Valaisintelineet

Valaisintelineiden suunnittelu lähti vaatimuksista joissa niitä pitää voida siirrellä helposti, valaisimen kulmaa on voitava muuttaa mittauksia varten, telineiden tulee kestää valaisimen raskas (18kg) paino. Telineiden tulee olla myös turvalliset käyttää ja valaisimen tulee päästä jäähtymään telineessä hyvin.

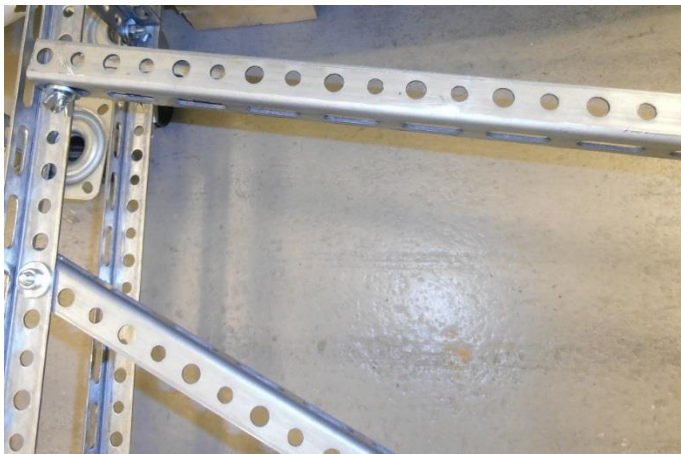
Pohdinnan jälkeen päädyttiin valmistamaan telineet molemmille valaisimille erikseen. Valaisimet tulisivat olemaan vaakatasossa seinään kiinnitettynä paneeleita kohden. Valmistusmateriaalin täytyisi olla lujaa, mutta tarpeeksi kevyttä jottei telineestä tule liian hankala käyttää. Tuloksena oli L-muotoinen LVI-käytössä tavattava metallinen asennuskisko. Kisko olisi muotonsa puolesta erittäin jämällä ja rei'ityksensä ansiosta välttyttäisiin hitsaukselta ja liitännät kokoamisvaiheessa voitaisiin tehdä täysin pulitti-mutteri kiinnityksin. Tämä kasaustyyli mahdollistaa erittäin nopean kasauksen tai vastaavasti purkamisen sekä muutokset vaikkapa valaisimen korkeudessa.

Valaisimen kiinnitykseen telineessä (kuva 11) käytettiin hyväksi valaisimen omaa kiinnitysrautaa joka mahdollistaa valaisimen liikuttelun sivusuunnassa myös telineen sisällä. Telineen etureunaan valaisimen alapuolelle tuli sivurauta joka oli lisätukena valaisimelle ja tämän myötä kiinnityksestä tuli tukeva ja mahdollisimman tasapainoinen.



KUVA 11. Valaisimen kiinnitys

Valaisinteline rakennettiin pyörille jotka asennettiin hieman telineen ulkopuolelle vakautamaan korkean telineen liikkumista. Lisäksi telineeseen suunniteltiin lisätuet (kuva 12) jotka voidaan levittää telineen eteen ja taakse estämään telineen heilumista ja kaatumista.



KUVA 12. Valaisintelineen tukiratkaisu

Telineen lisätukiin suunniteltiin päähän rauta (kuva 13) joka ottaa hyvin lattiaan kiinni, mutta kiinnitysratkaisunsa vuoksi kääntyy käsikäyttöisesti pitemmän varren mukaisesti, kun telinettä halutaan liikuttaa.



KUVA 13. Valaisintelineen sivutuki

Rakentamisen lopputuloksena saatiin kaksi kappaletta n. 2 m korkeita telineitä (kuva 14). Telineet olivat helposti liikuteltavia joten valaisimen omaa liikuntamahdollisuutta telineessä ei tarvinnut edes käyttää vaan säätäminen hoitui nopeasti koko telinettä liikuttaen.



KUVA 14. Valaisintelineet käytössä

3.4 Paneelit

Tällä kertaa seinälle asennettiin HJ-250 W yksikide aurinkopaneelit testejä varten. Paneelit haluttiin asentaa seinälle tukevasti, mutta tavalla jolla ne olisivat helposti siirrettävissä toiseen paikkaan mikäli laboratorion järjestelyt sitä vaatisivat. Kiinnitykseen tulettiin käyttämään samanlaisia c-kiskoja kuin mitä sähkökeskusten kiinnitykseen monesti

käytetään. Kaapelointi ja rasiointi oli helpoin tehdä irrallaan ennen paketin asentamista seinään (kuva 15). Paneelien yhteinen rasiointi tuli kiinni vain toisen paneelin kiinnityskiskoon joten paneeleita voidaan liikuttaa erillään vain irrottamalla oikeanpuoleisen (kuva 15) paneelin johdot rasialta. Myös paneelien ja laitteistokärryn yhdysliitin asennettiin kiinnityskiskoon kiinni. Tällöin liitintä on tukeva käyttää.



KUVA 15. Paneelit pakettiin rakennettuna

Paneelipaketin kiinnitys onnistuu paneelien ylä- ja alapuolelta proppaamalla se pulteilla seinään. Pakettien ollessa valmiina kiinnityksen jälkeen jäi hommaksi ainoastaan liittää oikeanpuoleisen paneelin (kuva 16) johdot liitántärasialle.



KUVA 16. Paneelit asennettuna

3.5 Kokonaisuus valmiina

Järjestelmän ollessa valmiina päästiin kokeilemaan myös laitteistokärryn käytettävyyttä. Akkujen lisäämiseksi kärryyn tuli helpoimmaksi vaihtoehdoksi nostaa ylätaso jalkoineen pois päältä (kuva 17). Tämän vuoksi akuille menevät kaapelit olivat sidottuina ainoastaan ylätasoon sekä jalkoihin. Ylätason paino ei ole laitteiden johdosta kasvanut kovin suureksi joten siirtäminen onnistuu vaivattomasti jopa yhdeltä henkilöltä. Laitteiston kytkentäkuva löytyy liitteestä 1.



KUVA 17. Kärryn käyttö

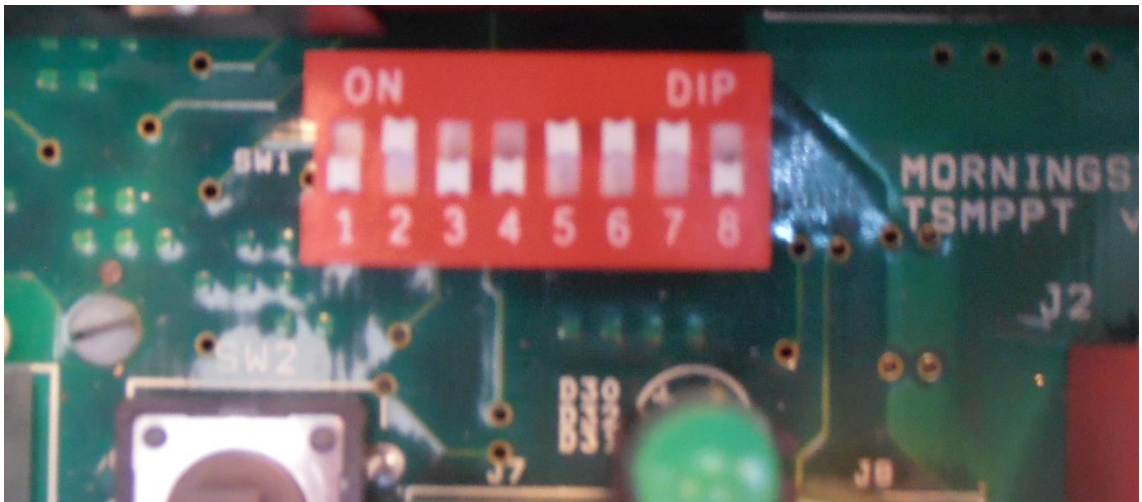
4 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

4.1 Ohjeistus oppimisympäristön käyttöön ja varotekijät

Oppimisympäristö täytyy olla turvallinen käyttää vaikkei käyttäjällä olisi sähköalan ammatillista osaamista. Tämän vuoksi ennen käyttöä on tarkastettava, että kotelot ovat kiinni ja suojalaitteet toimintavalmiina. Tämän jälkeen laitteisto on turvallista kytkeä ja käyttää käyttöohjeiden (liite 4) mukaisesti.

4.2 Käyttöönotto

Laitteiston käyttöönotto aloitettiin tarkistamalla kytkentöjen oikea napaisuus kertaalleen sekä silmämääräisesti liitântöjen pitävyys. Tämän jälkeen täytyi tarkistaa laitteistojen säädöt ennen sähköjen kytkemistä. Lataussäädin vaati oikeat säädöt dippi-kytkimillä (kuva 18) ennen sen käyttöä.



KUVA 18. Lataussäätimen säädöt

Lataussäätimen kytkimellä 1 (taulukko 8) saatiin valittua, otetaanko säädin nyt käyttöön.

TAULUKKO 8.

Mode	Switch 1
Solar Charging	OFF
future use	ON

Lataussäätimen kytkimillä 2 ja 3 (taulukko 9) saatiin valittua nimellinen jännitetaso järjestelmälle (akuille).

TAULUKKO 9.

System Voltage	Switch 2	Switch 3
Auto	OFF	OFF
12	OFF	ON
24	ON	OFF
48	ON	ON

Kytkimillä 4,5 ja 6 (taulukko 10) kerrotaan lataussäätimelle minkälainen akkujärjestelmä järjestelmässämme on jolloin se osaa säätää lataustasot optimaaliseksi latausalgoritmin (kuvio 2) eri vaiheissa.

TAULUKKO 10.

Switch 4	Switch 5	Switch 6	Battery type	Absorp. Stage	Float Stage	Equalize Stage	Equalize interval
OFF	OFF	OFF	GEL	14	13,7	-	-
OFF	OFF	ON	Sealed	14,15	13,7	14,4	28
OFF	ON	OFF	Sealed	14,3	13,7	14,6	28
OFF	ON	ON	AMG/Flooded	14,4	13,7	15,1	28
ON	OFF	OFF	Flooded	14,6	13,5	15,3	28
ON	OFF	ON	Flooded	14,7	13,5	15,4	28
ON	ON	OFF	L-16	15,4	13,4	16	14
ON	ON	ON	Custom	Custom	Custom	Custom	Custom

Kytkimellä 7 (taulukko 11) voidaan valita halutaanko ohjata tehostettua latausta automaattisesti vai manuaalisesti.

TAULUKKO 11.

Equalize	Switch 7
manual	OFF
automatic	ON

Viimeisellä kytkimellä 8 (taulukko 12) saatiin valittua TCP/IP yhteys päälle tai pois.

TAULUKKO 12.

Configuration via TCP/IP	Switch 8
disabled	OFF
enabled	ON

Lataussäätimen ollessa toimintakuntoinen voitiin kytkeä akuston kaapelit kiinni sekä lisätä sulakkeet akuston ja säätimen sekä akuston ja invertterin välille.

Kytkentöjen ollessa valmiina ja säätöjen ollessa valmiina pystyttiin koittamaan järjestelmän toimintaa. Paneelien erotuskytkimen F1.1 ollessa auki paneelit voitiin liittää laitteistokärryn liitántään. Nyt sulkemalla erotuskytkin F1.1 paneelit yhdistyivät lataussäätimeen ja järjestelmä alkoi toimimaan. Laittamalla valaisimet toimintaan jännite paneelilla nousi sen verran, että lataussäädin pystyi aloittamaan akkujen latauksen.

Laitteiston ollessa jännitteinen kokeiltiin johdonsuojakatkaisimien toiminta käsin sekä tarkistettiin, että jännitteet eripuolilla järjestelmää ovat oikeansuuruiset.

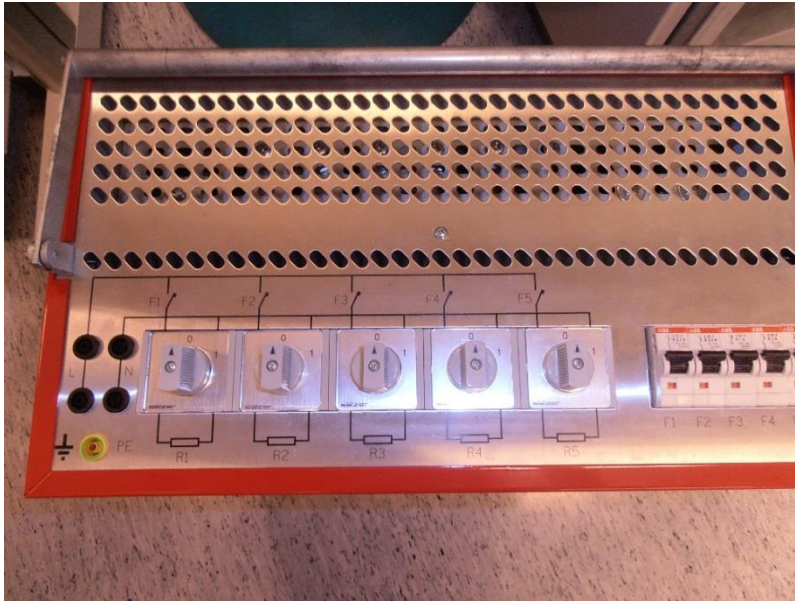
4.3 Järjestelmän testaus

Järjestelmää haluttiin testata sen käyttöönoton jälkeen, jotta saadaan kuva miten se suoriutuu peruskäytössä vastaan tulevilla tilanteilla. Testeillä haluttiin selvittää paneelien käyttäytymistä sekä koko järjestelmän käyttäytymistä. Mittalaitteina mittauksissa käytettiin Fluken 189 ja Fluken 87 yleismittareita (kuva 19).



KUVA 19. Mittalaitteet

Järjestelmän toimintaa testattaessa liitettiin vaihtosähköpuolelle kuorma säädettävän kuormavastuksen (kuva 20) avulla. Tällä tavoin haluttiin nähdä kuinka järjestelmän laitteet pystyvät mukautumaan muuttuvaan kuormaan.



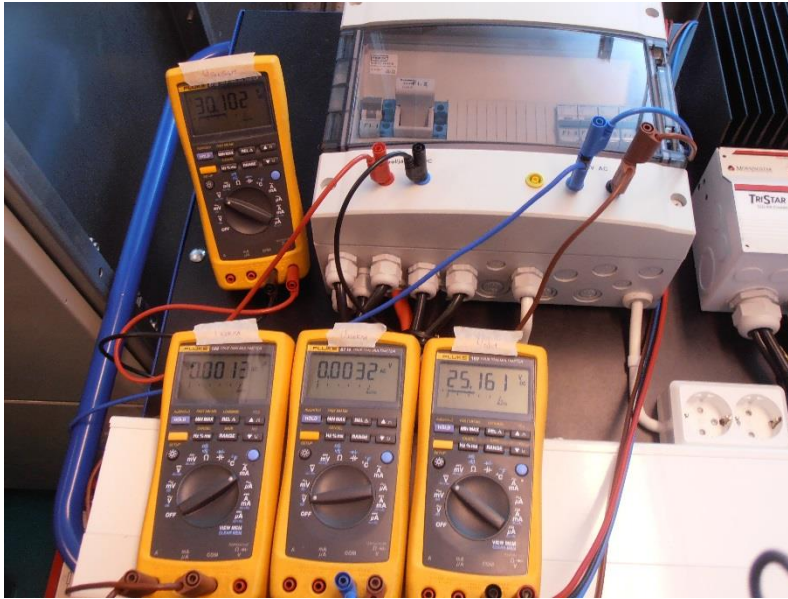
KUVA 20. Kuormitus

Testien aikana asennettiin paneelien eteen luentopaperista varjostuksia (kuva 21) mallintamaan oikeassa käyttötilanteessa jotain heikosti läpäisevää estettä. Tällöin nähtiin mikä vaikutus tällä on paneelijännitteeseen tai koko järjestelmän suorituskykyyn.



KUVA 21. Varjostus testaustilanteessa

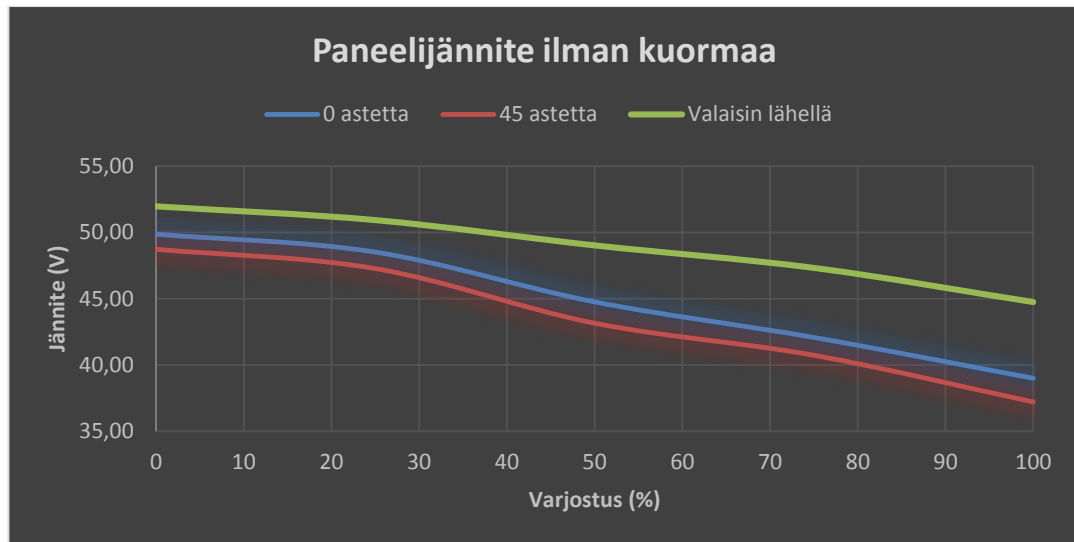
Mittaukset olivat helppo järjestää järjestelmään asennettujen naparuuvien (kuva 22) vuoksi. Tällöin pystyttiin mittaamaan paneelien jännitetaso, akkujen jännitetaso sekä kuormituksen jännite- ja virtatasot.



KUVA 22. Mittauskytkentä

4.3.1 Paneelin toiminta erilaisilla valaistuksilla

Testit aloitettiin testaamalla paneelien jännitevaihtelua. Paneeleita testattiin kolmella erilaisella valaistuksella. Ensimmäinen valaistusmalli oli valaisimet suoraan paneeleita kohden 180 cm päässä paneeleista. Toisessa mallissa valaisimet käännettiin 45 asteen kulmaan paneeleihin nähden. Kolmannessa valaisimet olivat suorassa ja 80 cm päässä paneeleista. Testauksen aikana paneeleita varjostettiin (kuva 21) joko osin tai kokonaan. Testauksen tuloksista (kuvio 3) näemme eri valaistus mallinnuksien erot toisiinsa nähden sekä varjostuksen vaikutuksen. Varjostukseen käytetty paperihan läpäisi valoa osittain ja tämän vuoksi jännitteet eivät pudonneet rajummin kuin mitä mittaustuloksista selvisi. Selkeä muutos kuitenkin erottui varjostuksen lisääntyessä.

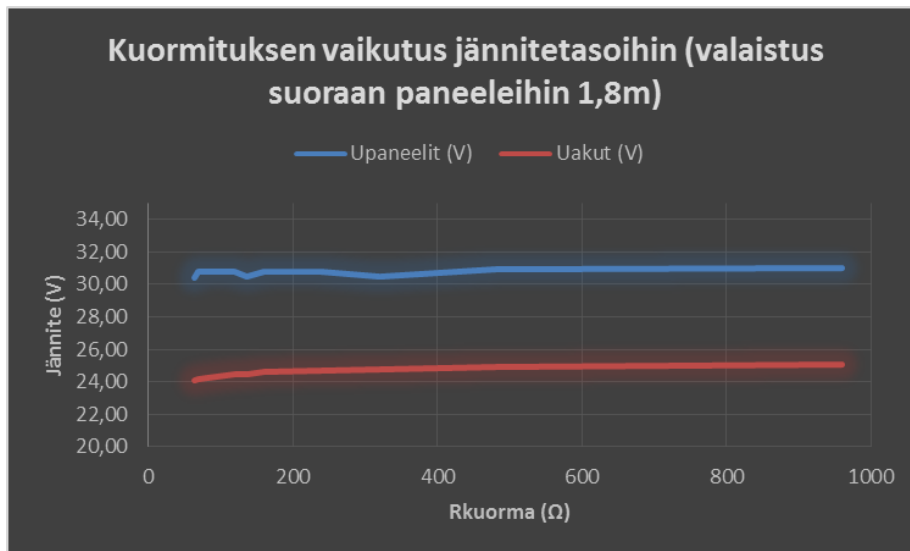


KUVIO 3. Paneelijännitteen käyttäytyminen testissä

4.3.2 Järjestelmän käyttäytyminen kuormituksessa

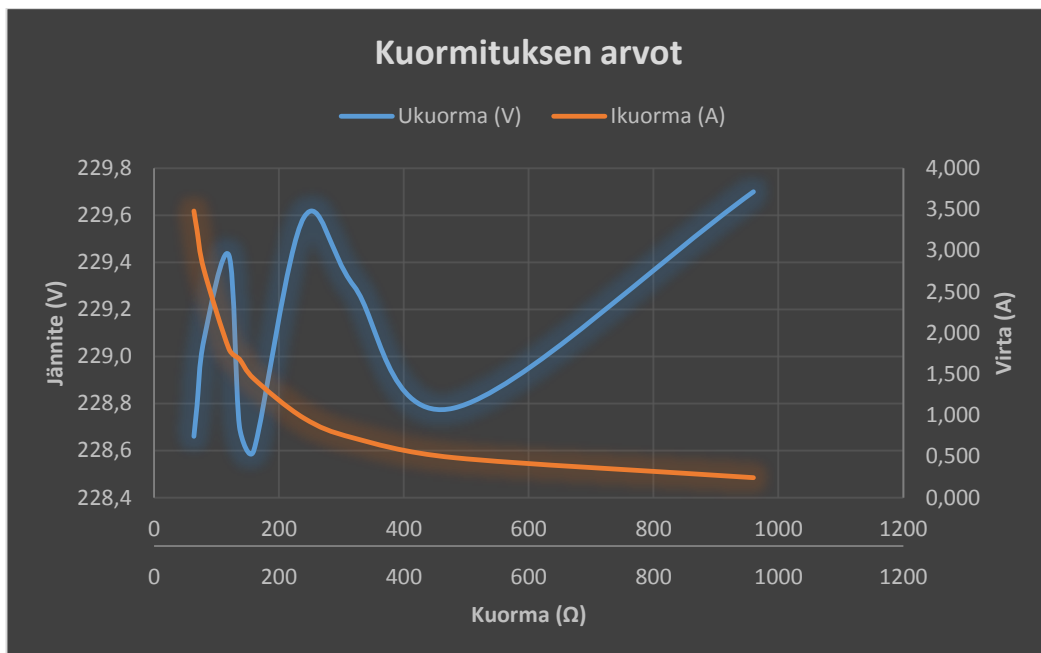
Järjestelmälle tehtiin testaus missä vaihdeltiin valaistusmallia etäisyyden, kulman ja paneelien varjostuksien välillä. Tämän lisäksi laitteistoa kuormitettiin samalla erilaisilla kuormituksilla.

Kiinnostava tarkkailun kohde oli jännitetasojen muutos kuormituksessa (kuvio 4). Haluttiin nähdä kestäkö järjestelmä kovaa kuormitusta ilman notkahduksia. Kuten kuvio 4 näemme sekä paneelin että akkujenkin jännite pysyi varsin tasaisena eri kuorman arvoilla. Kuviossa 4 näemme kuormituksen vaikutuksen jännitetasoihin valaisimen ollessa 1,8 metrin päässä suoraan paneeleihin osoitettuna. Muut testaukset jotka eivät juurikaan vaikuttaneet tuloksiin löytyvät liitteestä 5. Järjestelmässä on lataussäädin joka varsin tehokkaasti pysyy kuormituksen mukana sekä tehokas akusto joka ei lyhyen testin aikana joutunut todelliseen testiin.



KUVIO 4. Kuormituksen vaikutus jännitetasoihin

Mittauksissa näimme kuormituksen puolella invertterin kykyä sopeutua uusiin kuormitustilanteisiin. Kuvio 5 näemme jännitteessä pientä heilahtelua pienillä kuormituksilla, mutta nämäkin heilahtelut ovat suurimmillaan vain 1 V luokkaa.



KUVIO 5. Valaisimien etäisyys paneeleista 180cm

Erilaisista valaistusmalleista huolimatta järjestelmä toimi samoin tavoin ja muiden valaistusmallien tulokset voidaankin nähdä liitteestä 6. Jännitekuvioista voidaan myös nähdä jännitteen nousuna invertterin tuuletuksen käynnistymisen eli invertteriä isoilla virroilla kuormittamisen jälkeen se paransi jännitearvojaan huomattavasti.

4.3.3 Testauksen lopputulos

Järjestelmä testattiin varsin pintapuolisesti ja lyhyesti. Testissä saatiin kuitenkin todettua järjestelmän toimivan kokonaisuutena ja pystyvän mukautumaan kuormitustilanteisiin.

Jatkossa tarkempaa testausta varten olisi informatiivista hankkia mittari mittaamaan valaistustehoa paneeleilla. Järjestelmää kannattaisi testata myös pitkä aikaisella rasituskokeella jolloin nähdään pystyvätkö paneelit tuottamaan tarpeeksi energiaa kyseisellä valaistuksella järjestelmälle vai onko käytön oltava vain lyhyttä testausluonteista jotta akut ehtivät latautumaan tarpeeksi. Lisäksi mikäli järjestelmää käytetään opetustarkoitukseen voisi laitteistokärryn järjestelmään lisätä uusia mittauspisteitä jännitteiden ja virtojen mittausta varten.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tärkein tarkoitus oli saada rakennettua aurinkosähköjärjestelmän laitteista koostuva simulaatiojärjestelmä sähkölaboratorioon. Järjestelmän tuli olla helposti liikuttava, mahdollisimman vähän tilaa vievä sekä turvallinen. Järjestelmän suunnittelu ja rakentaminen onnistuivat hyvin eikä matkalla tullut suurempia ongelmia vaikkakin tuotekehittelyä jouduttiin hieman tekemään rakentamisen edetessä työn prototyypin luonteen vuoksi.

Järjestelmä saatiin toimimaan turvallisesti ja oikein sekä ohjeistus tulevia käyttäjiä varten. Järjestelmä onkin valmis käyttöön sellaisenaan tai sitä on helppo lähteä kehittämään edelleen tulevia tarpeita varten.

Työn edetessä päästiin myös tutustumaan aurinkosähköjärjestelmään kuuluviin laitteisiin ja mitkä tekniikat ovat tällä hetkellä markkinoilla. Aurinkoenergian jatkuvasti kehittyessä vastaan tulevat myös verkkoon liitettävät järjestelmät. Järjestelmässä onkin valmiina jo invertteri joka kykenee hyvälaatuisen siniaaltoon joten ehkäpä järjestelmää voidaan tulevaisuudessa kehittää myös siihen suuntaan. Järjestelmä toimii ainakin generaattorin kanssa joten saarekekäyttöä simuloiva järjestelmä on ainakin mahdollinen.

LÄHTEET

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Amk-Kustannus oy Tammertekniikka

Kvick, P. 2010. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä. Tietotekniikan koulutusohjelma. Savonia-amk. Opinnäytetyö.

Liimatainen, L. 2013. AKUT. Käytetyimpien akkutyypin kehitys. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Centria ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Morningstar Corporation. 2009. Tristar MPPT Installation and Operation Manual.

Nieminen, M. 2012. Aurinkoenergiateknologiaselvitys. Tietotekniikan koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Pellonpää, J. 2013. Sähköisten aurinkopaneelien testausympäristö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Seppälä, S. 2011. Sähköautojen akkujen kemia. Auto- ja kuljetusalan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

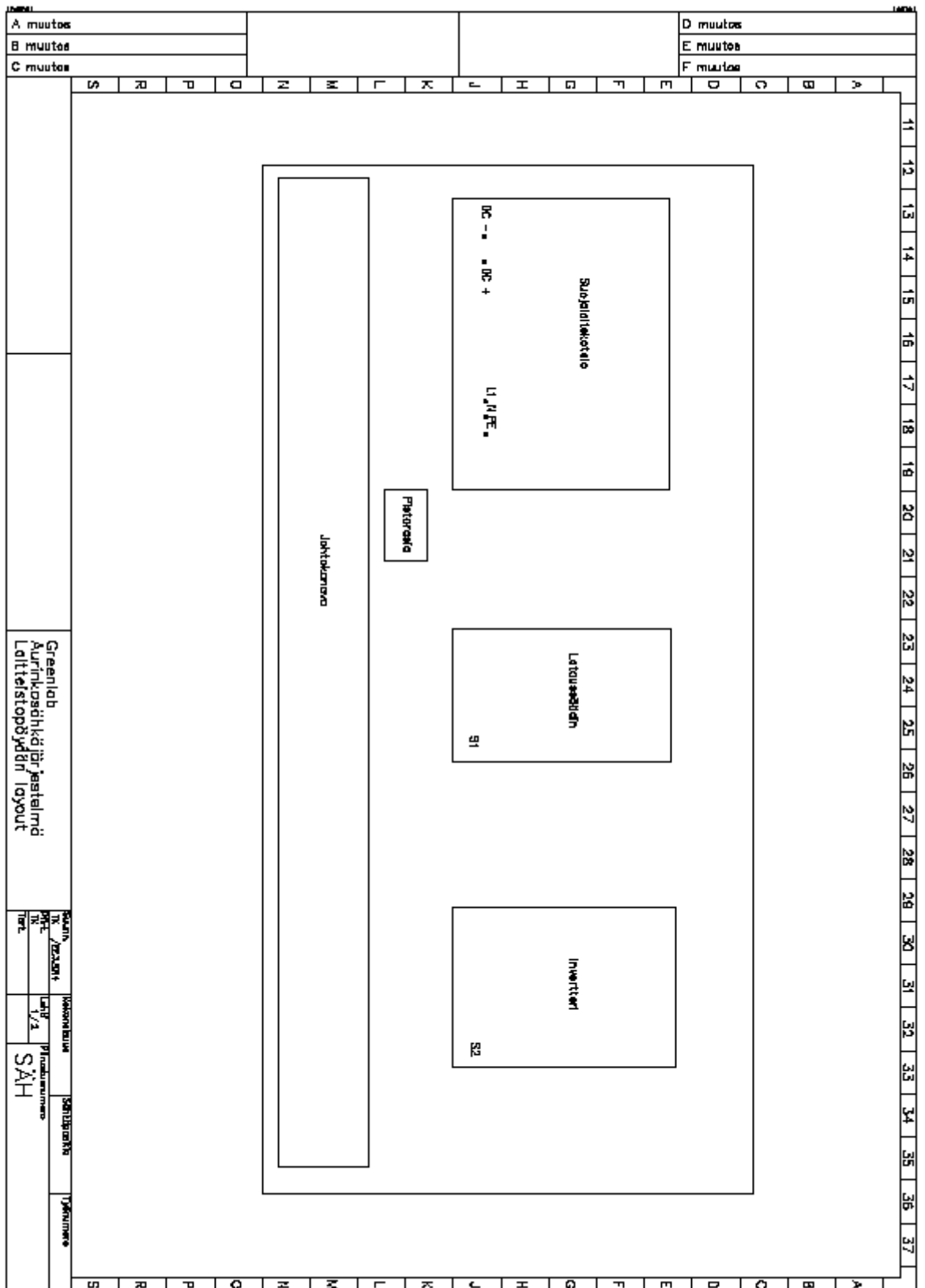
Siemala, M. 2011. Kesämökin sähköistäminen aurinko- ja tuulivoimalla sekä aggregaattilla. Tietotekniikan koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. D1-2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.)

Victron Energy B.V. 2008. Victron energy blue power manual.

VP-LUX Ay. 2013. Rikkiplasmavalaisimet. Luettu 26.3.2014 <http://www.vplux.fi/tuotteet.html?id=7/32>

Liite 3. Laitteistokärryn layout



KÄYTTÖOHJEET

Tarkistukset:

1. Tarkista ettei liitäntäkaapeli ole kiinni paneeleissa ja/tai johdonsuojakatkaisija F1.1 on avoinna
2. Tarkista ettei invertteri ole päällä
3. Kytke ja/tai tarkista akun kytkennät ja laita kansi akkulaatikkoon

Paneelit:

1. Tarkista, että muut kytkennät kunnossa (akut, säädin) ja suojakytkin F1.1 auki
2. Yhdistä liitoskaapeli paneeleihin
3. Voit aloittaa latauksen vaihtamalla suojakytkimen F1.1 kiinniasentoon

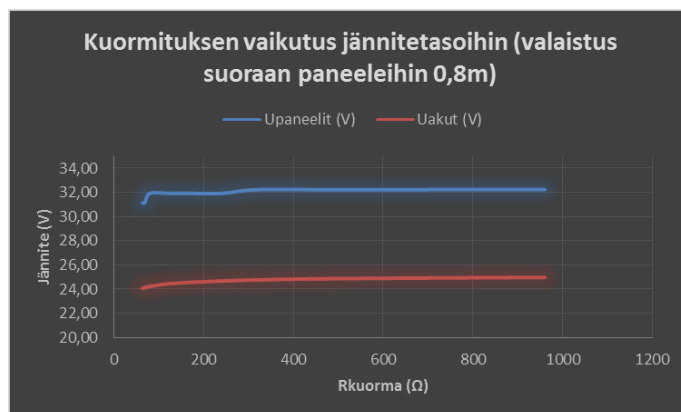
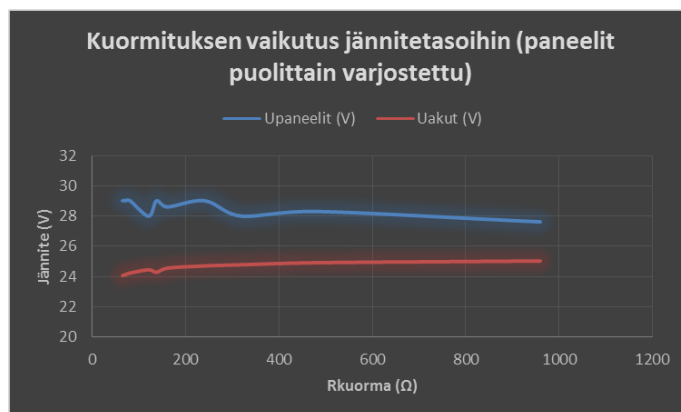
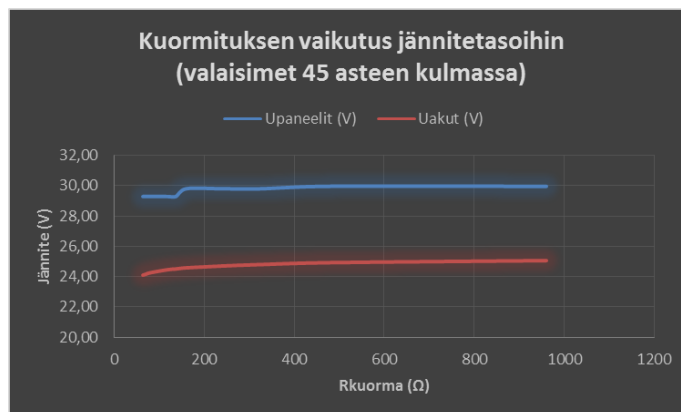
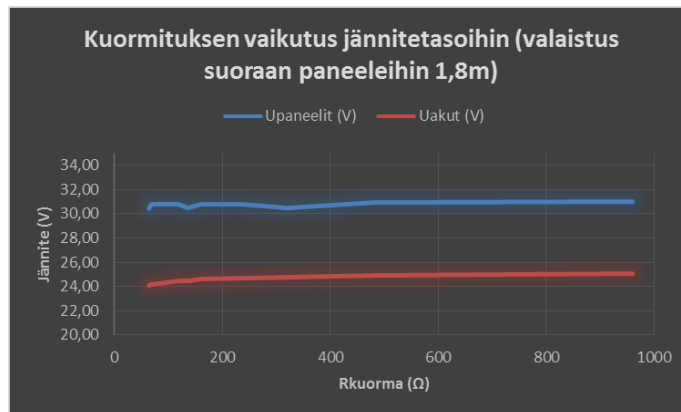
Invertteri ja kuormitus:

1. Tarkista ennen invertterin päälle laittoa, että putkisulake F1.2 on paikallaan ja kiinni asennossa
2. Voit laittaa invertterin päälle tilaan
3. Saat 230V jännitteen kuormille laittamalla johdonsuojakatkaisimet F1.5 tai F1.6 kiinni asentoon

VAROITUKSET:

- Paneelin suojakytkin F1.1 (johdonsuojakatkaisija) oltava auki, kun akku irroitettuna järjestelmästä
- Invertterin ja akun välistä putkisulakepesää F1.2 ei saa avata kuorma päällä!
- Käytä tasajännitepuolen naparuuveja vain jännitemittaukseen
- Laitteistokärry täytyy olla maadoitettuna käyttötilanteessa. Maadoitus maadoitusruuvia käyttäen.

Liite 5. Kuormituksen vaikutus jännitetasoihin eri valaistusmalleilla



Liite 6. Kuormituksen arvot eri valaistumalleilla

