
**ECO PARKIN AURINKOENERGIALLA TUOTETUN
ULKOVALAISTUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS
BALILLA**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Visamäki, kevät 2015

Tomi Lukkarinen

VISAMÄKI

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Ympäristötekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä

Tomi Lukkarinen

Vuosi 2015**Työn nimi****Eco Parkin aurinkoenergialla tuotetun ulkovalaistuksen suunnittelu ja toteutus Balilla**

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyöni tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa ROLE-foundationin Eco Parkissa sijaitsevan polun valaistus ilta- ja yöaikaan. Tehtävä sisälsi aurinkosähköenergialla toimivan valaistuksen suunnittelun ja toteutuksen. Lisäksi tarkastellaan järjestelmän taloudellista kannattavuutta ja sen merkitystä ympäristölleen hiilidioksidipäästöjen kannalta.

Työ koostuu sekä kokeellisesta lampujen tarvitseman valotehon ja lampujen välisten etäisyyksien määrittelystä että teoreettisista järjestelmän eri komponenttien minimiarvojen laskemisista sähkötekniikan perusyhtälöihin perustuen. Aurinkosähköenergian keräysjärjestelmän eri komponenttien toimintoja, tekniikoita ja ominaisuuksia tarkastellaan ja vertaillaan toisiinsa, halutun lopputuloksen saavuttamiseksi.

Opinnäytetyössä kuvattu akustoon varaava aurinkopaneelijärjestelmä sopii etäällä sähköverkosta sijaitseviin kotitalouksiin. Toinen toimintamalli kotitalouksille, mikäli niiden on mahdollista kytkeytyä sähköverkkoon, on myydä päiväaikaan tuottamaansa sähköenergiaa sähköverkkoon ja ostaa sitä illalla takaisin. Ostaminen ja myyminen voidaan toteuttaa kiinteistössä sijaitsevalla verkkoinvertterillä ja sähköenergiamittarilla, joka rekisteröi verkkoon johdetun ja verkosta otetun sähköenergian määrät.

Päiväaikaan toimivan Balin teollisuuden sekä majoitus- ja kaupanalojen omat aurinkosähköenergian keräimet vähentäisivät yleistyttyään saaren sähköenergiantarvetta olennaisesti.

Työssä esitetyssä laajuudessa toteutetun aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaika muodostuu lyhyemmäksi kuin sen oletettu toiminta-aika. Silti rakennettavien, aurinkosähköenergialla toimivien, järjestelmien kannattavuutta tulisi tarkoin arvioida ennen investointipäätöstä, ellei kyseessä ole ainoa vaihtoehto kohteessa, johon sähköverkko ei ulotu.

Avainsanat Aurinkopaneeli, aurinkosähköenergia, uusiutuva energia**Sivut** 42 s. + liitteet 8 s.

Visamäki
Degree Programme in Environmental Technology

Author	Tomi Lukkarinen	Year 2015
Subject of Bachelor's thesis	Design and implementation of solar panel outdoor lighting of Eco Park in Bali	

ABSTRACT

The aim of my Bachelor's thesis was to design and implement the lightning of Eco Park in Bali, Indonesia for the ROLE-foundation. The task included designing photovoltaic cell-powered lighting and its implementation. The system's financial viability was examined and also its relevance to the environment in terms of carbon dioxide emissions.

The work consisted of an experimental lamp power requirement test, a test defining the distances between lamps and of calculating the theoretical definitions of the minimum component values of the system, based on basic equations in electrical engineering. The functions of the components in the photovoltaic cell system, the technologies and features were reviewed and compared to each other in order to achieve the desired results.

This thesis describes the battery storing photovoltaic cell system which suits structures which are located far from the power grid. The second operating model is for households, which are able to connect to the power grid. In this system the household can sell the electrical energy produced during daytime to the electricity grid and buy it back in the evening. The buying and selling properties can be carried out with grid inverter and an electrical energy meter, which register the volumes of sold and bought electricity.

In the daytime, the industry, accommodation and trade in Bali could reduce the island's growing electricity demand by using their own photovoltaic cells.

The payback period of the implemented photovoltaic cell system will become shorter than its assumed operating time. However, the profitability of the photovoltaic cell system should be carefully evaluated before the investment decision, unless it is the only option at a location where the electricity grid is non existing.

Keywords Solar panel, solar photovoltaic energy, renewable energy

Pages 42 p. + appendices 8 p.

LYHENTEET

AGM	Akkutyyppi, jonka elektrolyytineste on imeytetty mikrohuokoiseen lasikuituun
IDR	Indonesian rupia
MPP	Maksimitehopiste kuvaajalla, jolla aurinkokennolta saatavat jännite- ja virta-arvot muodostavat suurimman mahdollisen sähkötehon
MPPT	Lataussäätimen algoritmi, joka seuraa aurinkopaneelilta saatavan sähkötehon suuruutta ja säättää akun latausjännitettä saavuttaakseen suurimman mahdollisen lataustehon
PWM	Pulssinleveysmodulaatio
VRLA	Ylipaineventtiilillä varustettu lyijyhappoakku. Venttiili estää akun latauksessa syntyvien kaasujen vahingollisen ylipaineen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	ROLE-FOUNDATION	1
2.1	Työnantaja ja työkohteen sijainti	2
2.2	Työnantajan toimiala ja tuotteet	2
3	SÄHKÖENERGIANTUOTANTO BALILLA	3
3.1	Balilla sijaitsevat sähkövoimalaitokset	3
3.2	Balille tuotava sähköenergia	3
3.3	Balin sähköenergian kokonaiskulutus	4
4	KASVIHUONEILMIÖ	4
4.1	Kasvihuonekaasut	4
4.2	Kasvihuoneilmiön seuraukset	5
5	SÄHKÖNTUOTANNON CO ₂ -PÄÄSTÖT	6
6	AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELUN PERUSTIEDOT	6
6.1	Käyttöjännitteen valinta	6
6.2	Valaisintesti	7
6.3	Aurinkotuntien määrä	7
7	AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT JA MITOITUS	8
7.1	Auringonsäteily	9
7.2	Aurinkopaneelit	9
7.2.1	Aurinkopaneelin toiminta	9
7.2.2	Aurinkopaneelien valinta ja tyyppi	13
7.3	Aurinkopaneeliteline	14
7.3.1	Aurinkopaneelitelineen rakenne	14
7.3.2	Lataussäätimen merkitys ja toiminta	14
7.3.3	Lataussäätimen valinta ja tyyppi	17
7.4	Akku	17
7.4.1	Lyijyakun rakenne	17
7.4.2	Lyijyakun toiminta	18
7.4.3	AGM- ja geeliakkujen ominaisuuksia	18
7.4.4	Akun valinta ja tyyppi	20
7.5	Akkusuoja ja -teline	21
7.6	Invertteri	21
7.6.1	Invertterin toiminta	21
7.6.2	Invertterin valinta ja tyyppi	22
8	AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN SÄHKÖINEN KYTKENTÄ	23
8.1	Kytkenän toiminta	23
8.1.1	Toiminta latauksen aikana	23
8.1.2	Toiminta purettaessa akuston varausta	24
8.2	Valaisimien sijoitus	24

8.2.1	Kannatintolpat	25
8.3	Valaisimien valinta ja rakenne	25
8.4	Eri lampputyypit.....	25
	Hehkulamppu	25
8.4.1	Halogeenilamppu.....	26
8.4.2	Led-lamppu.....	26
8.4.3	Loistelamppu	27
8.5	Lamppujen valinta.....	28
8.6	Kaapelit	28
8.6.1	Kaapelit aurinkopaneelilta lataussäätimelle	29
8.6.2	Kaapelit lataussäätimeltä akustoon.....	30
8.6.3	Kaapelit akustolta invertterille	30
8.6.4	Kaapelit invertteriltä kuormaan	31
8.7	Laitteiston kotelointi	31
9	POHDINTAA.....	31
9.1	Taloudellinen tarkastelu	32
9.2	Kohteen CO ₂ – päästöjen tarkastelu.....	34
9.3	Muita aurinkosähkön käyttövaihtoehtoja	34
9.4	Rakennetun järjestelmän kehittäminen	35
	LÄHTEET	37

Liite 10.1	Valaistavan polun kartta
Liite 10.2	Aurinkopaneelin sähköiset ominaisuudet ja ominaiskäyrä
Liite 10.3	Lataussäätimen tekniset ja sähköiset ominaisuudet
Liite 10.4	Invertterin sähköiset ominaisuudet
Liite 10.5	Aurinkopaneelien sähköinen kytkentä
Liite 10.6	Sähköenergian pre-paid –ostokuitti

1 JOHDANTO

Sähköenergian hinnan nousu, energianhankinnan aiheuttama ympäristön kuormitus sekä uusien energianlähteiden tutkimus ja käyttöönotto ovat nykyisin toisiinsa tiiviissä syy-seuraus -suhteessa.

Opinnäytetyöni aihe, joka sisältää pienimuotoisen aurinkopaneelijärjestelmän mitoituksen ja rakentamisen Indonesiassa, Balilla, pyrkii osaltaan valottamaan uusiutuvan aurinkosähköenergian mahdollisuuksia korvata uusiutumattomia energianlähteitä.

Järjestelmä, joka suunniteltiin ja toteutettiin Balin saarella ja jossa luonnonolosuhteet poikkeavat merkittävästi esim. Suomen vastaavista, voidaan suunnittelun parametreja apuna käyttäen sijoittaa periaatteessa mihin tahansa kohteeseen ja selvittää sen soveltuvuus ja riittävyys kulloiseenkin tarpeeseen.

Indonesialle kuuluvan Balin saaren matkailu- ja kulttuurikohteet kiinnostavat turisteja ja turismista saavat tulot muodostavatkin yksinomaan Balin alueellisesta bruttokansantuotteesta n. 67 %:n osuuden ja koko Indonesian bruttokansantuotteesta vuosittain n. 6 % (INO, 9).

Liki puolet (n. 46 %) Balin nykyisestä sähkönkulutuksesta aiheutuu kaupallisesta toiminnasta (INO, 9). Tämä on seuraus vuosittain Balilla lomailevista n. 2,3 miljoonasta turistista, mikä puolestaan aiheuttaa vaatimuksia mm. toimivaan sähköntuotantoon (Borealis).

Vielä vv. 2008 – 2009 oli mm. Balin sähkönjakelussa päivittäin n. 5 tunnin mittainen sähkökatkos, mikä aiheutui maan sähköntuotannon alikapasiteetista. Sähköenergiaa toimitettiin tällöin maan eri osiin vain tiettyinä aikoina päivästä. Tämä pakotti mm. sairaalat ja hotellit käyttämään varajärjestelmiä, yleisimmin dieselgeneraattoreita. (Differgroup, 3.)

Nykyisin sähköenergian tuotanto ja tuonti Balilla tapahtuu saarella sijaitsevien diesel- ja maakaasuvoimalaitoksien avulla sekä Jaavan ja Balin välille vedetyllä vedenalaisella kaapelilla (SourceWatch).

Fossiilisten polttoaineiden käyttö voimalaitoksissa aiheuttaa mm. hiilidioksidipäästöjä, jotka vaikuttavat globaaliin ilmaston lämpenemiseen. Tarkastelen työssäni myös kyseisiä Balin sähköenergiantuotannon hiilidioksidipäästöjä sekä pienimuotoisen aurinkopaneelijärjestelmän taloudellista kannattavuutta.

2 ROLE-FOUNDATION

Opinnäytetyöni kohteeksi valikoitui Indonesialle kuuluvan Balin saarella toimivan ROLE-foundationin maatilalla valaistus aurinkoenergialla. Säätiön n. 1,5 ha:n laajuisella maatilalla oli jo pidempiaikaisena ongelmana ollut kävelyreitillä valaistus auringonlaskun (n. klo 19) jälkeen.

Tilalla majoittuvat opiskelijat olivat joutuneet tapaturmille alttiiksi kulkiesaan pimeässä tilaa rajaavalta yleiseltä tieltä opiskelijoille varattuun asuntolaan, joka sijaitsee n. 200 metriä pitkän, vaikeakulkuisen ja paikoitellen hyvin jyrkän polun päässä (liite 10.1). Saniteetitilat sijaitsevat myös saman polun varrella, vajaan 100 metrin päässä asuntolasta. Lisäksi vaaroja aiheuttivat myös paikallisten eläinten (myrkylliset käärmeet ja matelijat) mahdollinen sijainti pimeällä polulla sekä polulla sijaitsevat useat jyrkät kiviporaaat. Valaistuksen toivottiin myös vähentävän asumattomalta näyttävän kohteen joutumista ryöstetyksi. Mitoituksessa tuli ottaa huomioon myös maatilalla sijaitsevan toisen vastaavan polun valaistuksen aiheuttama tehontarve lähitulevaisuudessa.

Johtuen työnantajan suuntautuneisuudesta, oli uusiutuva energianlähde työn perustaksi luonnollinen valinta. Tilalla oli tehty aiemmin myös tuulimittauksia, mutta niiden perusteella oli todettu, ettei tuulen avulla saataisi kerättyä sitä energiamäärää minkä aurinkopaneelit vastaavasti mahdollistaisivat.

2.1 Työnantaja ja työkohteen sijainti

Opinnäytetyönantajana toimi ROLE-foundation. Nimen lyhenne tulee sanoista: Rivers, Oceans, Lands and Ecology. Säätiö on voittoa tavoittelematon humanitäärinen organisaatio, jonka tavoitteena on parantaa koulutuksen, hyvinvoinnin ja omatoimisuuden tasoa saarella asuvien vähäosaisten keskuudessa ja varmistaa samalla ympäristön sietokykyä ja kestävyyttä. (Role.)

ROLE-foundationin on perustanut vuonna 2007 australialaissyntyinen Michael O'Leary, joka asuu ja johtaa ROLEN toimintaa Balilta käsin. Organisaatiolla on oma johtokuntansa myös Australiassa, jonka Michael O'Leary perusti vuonna 2013 auttaakseen organisaatiota paremmin saavuttamaan tavoitteensa. (Role2.)

ROLE-säätiön Indonesian toimipisteet sijaitsevat Balin saaren itäpuolelle sijoittuvassa Nusa Duan kaupungissa. Nusa Duassa säätiöllä on kaksi toimipistettä; Bali WISE, joka sijaitsee kaupungissa käsittäen toimisto- ja koulutustiloja sekä Island Sustainability Center (ISC), joka on 1,5 hehtaarin suuruinen tila noin viiden kilometrin päässä kaupungista. Tilalla sijaitsevat säätiön ekologisen viljelyn sekä kankaan kudonnan ja värjäyksen koulutus-, opetus- ja esittelytilat. (BaliWise; Role3.)

2.2 Työnantajan toimiala ja tuotteet

Nimensä muodostavien tunnuskirjainten mukaisesti ROLE-säätiöllä on toimintoja, jotka jakautuvat seuraavasti:

- Balilla syntyvien jätteiden käsittelyn järjeistäminen aktiivisella jätteenkeräystavalla. Aktiivinen jätteenkeräystapa tarkoittaa orgaanisen jätteen kompostointia, maan lannoittamista kompostin tuotoksella, ruoan saamista maasta ja lihaa eläinrehun avulla. Myös maan metsitys sekä energian ja veden korjuu kuuluvat ohjelmaan.

- Naisten aseman parantaminen lukutaidon kehittämisen (Bali WISE) ja ammatillisen koulutuksen kautta mm. kankaan kudonta, värjäys ja ompelu.
- Ekologisesta viljelystä saatavat hedelmät ja kasvit.
- Saaren ja rannikkoalueiden yhteisöjen koulutus kestävän kehityksen käytäntöihin. Ideoita ulkomailta sekä ihmisten, ryhmien ja instituutioiden apua, jotka haluavat osallistua ja auttaa balilaisia ja Indonesiaa. (Role3.)

3 SÄHKÖENERGIANTUOTANTO BALILLA

Balin saarella ei ole omia öljy- tai kaasuvaroja, joten kaikki energia, myös sähköksi muunnettava, on kuljetettava sinne maitse tai meritse. Balin sähköntuotanto perustuu pääosiltaan saarella sijaitseviin diesel- ja kaasuvoimalaitoksiin. (Icrepq, 1-2.)

Balin ja sen länsipuolella sijaitsevan Jaavan saaren välille on vedetty 150 kV:n vedenalainen kaapeli, jonka avulla Balille voidaan siirtää sähköenergiaa myös Jaavalta sijaitsevista sähköenergian tuotantolaitoksista (SourceWatch).

3.1 Balilla sijaitsevat sähkövoimalaitokset

Taulukossa 1 on esitetty Balin sähkövoimalaitosten sijainnit, niiden energianlähteet ja tehot (SourceWatch; Repit).

Taulukko 1. Balilla sijaitsevat sähkövoimalaitokset

Pesanggaran	(diesel, 11 yksikköä)	70.75 MW
Pesanggaran	(kaasu, 4 yksikköä)	125.45 MW
Gilimanuk	(kaasu, 1 yksikkö)	133.8 MW
Pamaron	(kaasu, 2 yksikköä)	97.6 MW

Laitosten tuottaman sähköenergian yhteismäärä v. 2012 oli n. 1339 GWh (Indonesiapower, 77).

3.2 Balille tuotava sähköenergia

Balin sähköenergian tarvetta turvaamaan on Balinsalmeen vedetty vedenalainen kaapeli (Ketapang/ Jaava - Gilimanuk/ Bali), jonka suurin siirtoteho on 260 MW, mutta joka on rajoitettu n. 200 MW:iin (Boskalis; SourceWatch).

Kaapelin kautta siirrettävän kokonaissähköenergian määrä v. 2012 oli 145,9 GWh (Indonesiapower, 71).

3.3 Balin sähköenergian kokonaiskulutus

Laskemalla yhteen Balilla tuotetun ja sinne tuodun sähköenergian määrät, päädytään tulokseen:

$$\begin{aligned} \text{Balin sähköenergian kokonaiskulutus} &= 1339 \text{ GWh} + 145,9 \text{ GWh} \\ &= 1484,9 \text{ GWh} \therefore 1\,484\,900\,000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Kulutuksessa ei ole huomioitu yksityishenkilöiden tai -yritysten itsetuotettua sähköenergian määrää.

4 KASVIHUONEILMIÖ

Maapallon ilmakehä päästää lävitseen auringon lähettämää lyhytaaltoista säteilyä, auringonvaloa. Tämä säteily absorboituu maahan ja kasveihin lämmittäen niitä. Kun lämpö poistuu niistä, se poistuuakin pitkäaaltoisena lämpösäteilynä, joka osuessaan ilmakehään ei täysin läpäisekään sitä, vaan absorboituu ilmakehässä oleviin kasvihuonekaasuihin. Näin lämpötila maapallolla kasvaa, kunnes lämpötilaero ilmakehän sisä- ja ulkopuolen välillä on kasvanut niin suureksi, että ilmakehän läpi poistuva lämpöenergian määrä vastaa ilmakehän läpi säteilemän auringonvalon energiaa. (Ilmasto; Geo; Utu.)

Itse kasvihuoneilmiö ei ole ympäristöongelma, vaan ihmisen aiheuttamat muutokset sen toiminnassa, koska kasvihuoneilmiö on välttämätön ilmiö elämälle maapallolla (Ilmasto; Geo).

Ilman kasvihuoneilmiötä heijastuisi maapallolta avaruuteen liian paljon lämpösäteilyä ja nykyinen n. +15 °C:een maapallon keskilämpötila laskisi n. -18 °C:seen (Ilmasto; Geo).

4.1 Kasvihuonekaasut

Kasvihuoneilmiötä aiheuttavia aineita kutsutaan kasvihuonekaasuiksi. Niitä ovat vesihöyry (H₂O), hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), otsoni ja dityppioksidi (N₂O), kloorifluoratut hiilivedyt (CFC:t ja HCFC:t), fluoriyhdisteet (HFC:t, PFC:t ja SF₆) sekä bromiyhdisteet (halonit, esim. CF₃Br). Ilmastonmuutoksen kannalta tärkeimpiä ovat luonnossakin esiintyvät vesihöyry (H₂O), hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), otsoni ja dityppioksidi (N₂O). (Kasvihuonekaasut; Planeetta.)

Johtuen lyhyestä kiertoajasta ja ominaisuudesta tiivistyä nesteeksi lämpötilan laskiessa, ei vesihöyrypitoisuuden lisääntymisen katsota aiheutuvan suoranaisesti ihmisen toiminnasta (Geo; Ilmatieteenlaitos; Planeetta).

Tärkein kasvihuonekaasu, jonka pitoisuuteen ilmakehässä voidaan vaikuttaa, on hiilidioksidi CO₂. Hiilidioksidin merkittävimmät lähteet maailmanlaajuisessa mittakaavassa ovat energiantuotanto (= fossiilisten polttoainesten käyttö), metsien hävittäminen ja teollisuus. (Geo.)

Kasvihuonekaasut aiheuttavat mm. maan keskilämpötilan nousua. Tämä johtuu niiden kyvystä absorboida voimakkaasti lämpösäteilyä itseensä. (Geo.)

Absorbointi aiheuttaa saapuvan ja poistuvan säteilytehon välisen eron, jota kutsutaan säteilypakotteeksi. Yksinomaan ilmakehässä olevan hiilidioksidin aiheuttamasta säteilypakotteesta johtuen, on maahan saapuvan säteilyn teho neliometriä kohden 1,66 W:ia suurempi kuin siitä poistuvan säteilyn teho. Tehon ylijäämä jää maahan ja aiheuttaa sen lämpenemistä. Neliökilometriä kohden hiilidioksidin säteilypakote aiheuttaa n. 1,7 MW:n lämmitys-
tehon. (Planeetta.)

Taulukosta 1 ilmenee tärkeimpien kasvihuonekaasujen säteilypakotearvot sekä niiden osuudet lämmitysvaikutuksesta, joka niiden osalta yhteenlaskettuna on 2,64 W/m² (Kasvihuonekaasut).

Taulukko 2. Varsinaisten kasvihuonekaasujen säteilypakote ja osuus lämmitysvaikutuksesta v. 2007 (Kasvihuonekaasut)

Kaasu	Säteilypakote W/m ²	Osuus
Hiilidioksidi	1,66	62,00%
Metaani	0,48	18,00%
Halogenoidut hiilivedyt ja muut orgaaniset yhdisteet	0,34	13,00%
Dityppioksidi	0,16	6,00%

Kasvihuoneilmion voimakkuuteen vaikuttavat oleellisesti ilmakehässä olevan vesihöyryn, hiilidioksidin ja metaanin pitoisuudet. Näiden kaasujen pitoisuudet vaihtelevat luonnollisesti, mutta mm. teollisuuden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt nostavat ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta huomattavasti luonnollista vaihtelua enemmän. (Ilmatieteenlaitos.)

4.2 Kasvihuoneilmion seuraukset

Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvusta ilmakehässä aiheutuva ilmastomuutos on erittäin vakava uhka sekä ympäristölle että ihmisten ja eläinten turvallisuudelle (CO₂-raportti; Ilmastomuutos, 3).

Ilmastomuutoksen vaikutuksesta ilmasto lämpenee, jäätiköt sulavat kiihtyvällä vauhdilla ja meren pinta nousee (CO₂-raportti).

On ennakoitu, että kuivat alueet kuivuvat lisääntyvässä määrin ja kaikkialla maailmassa säätilojen ääri-ilmiot voimistuvat. Tämä aiheuttaa yhä voimakkaampia hirmumyrskyjä, tulvia, rankkasateita ja helleaaltoja. Sukupuutto uhkaa monia eläin- ja kasvilajeja, koska ne eivät ehdi sopeutua muuttuvaan ilmastoon. Viljelysmaiden tuhoutuessa tai kuivuuden estäessä viljelyn syntyy ilmastopakolaisia. Pakolaisten siirtyessä ruoan perässä toisille alueille, täytyy alueellisesti kasvavan ihmisjoukon saada ravintonsa ja puhtaan vettä pienemmältä alueelta, mikä saattaa aiheuttaa turvallisuusuhan. Ilmastomuutosta ei voida täydellisesti pysäyttää. (CO₂-raportti.)

Monet ihmisen toiminnasta syntyvät kasvihuonekaasut säilyvät ilmakehässä satoja, jopa tuhansia vuosia lämmittäen ilmastoa, vaikka uusien päästöjen tuottaminen lopetettaisiinkin välittömästi. (CO₂-raportti.)

5 SÄHKÖNTUOTANNON CO₂-PÄÄSTÖT

Sähköntuotannon aiheuttamat CO₂-päästöt voidaan laskea kun tiedetään tuotetun sähköenergian määrä ja tuotantotavasta aiheutunut hiilidioksidin päästö määrä.

Balin CO₂-päästöt on seuraavassa laskettu käyttämällä IEA:n (International Energy Agency) määrittelemää kerrointa, joka ilmaisee kuinka monta grammaa hiilidioksidia Indonesiassa syntyy tuotettaessa yksi kilowattitunti sähköenergiaa. Laskussa on käytetty Indonesian vuoden 2011 CO₂-kerrointa (IEA, 112).

$$\begin{aligned} \text{Balin CO}_2 \text{ päästöt} &= 1\,484\,900\,000 \text{ kWh} * 755 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}} \\ &= 1,121 * 10^{12} \text{ g CO}_2 = 1,121 \text{ Mt CO}_2 \end{aligned}$$

Balin sähköntuotannosta aiheutuneet CO₂-päästöt pinta-alaa (World Atlas) kohden ovat:

$$\frac{1,121 \text{ Mt CO}_2}{5632 \text{ km}^2} = 0,000199 \frac{\text{Mt CO}_2}{\text{km}^2} = 199 \frac{\text{t CO}_2}{\text{km}^2}$$

Vertailun vuoksi vastaavat Suomen CO₂-päästöt, ilman biotuotantoa 7/2012 – 6/2013 välisenä aikana, pinta-alaa kohden ovat (Energiateollisuus, 14; Tilastokeskus):

$$\frac{49,667 \text{ Mt CO}_2}{390\,905 \text{ km}^2} = 0,000163 \frac{\text{Mt CO}_2}{\text{km}^2} = 163 \frac{\text{t CO}_2}{\text{km}^2}$$

6 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN PERUSTIEDOT

SUUNNITTELUN

Järjestelmän perusmitoitus aloitettiin valaisimien käyttöjännitteen valinnalla, mikä vaikutti järjestelmän muiden komponenttien ominaisuuksiin. Tämän jälkeen suoritettiin valaisin- ja lampputesti valitulla käyttöjännitteellä. Kun vielä keskimääräinen aurinkotuntimäärä asennuskohteessa oli selvitetty, voitiin aloittaa valaistusjärjestelmän muiden komponenttien mitoitus.

6.1 Käyttöjännitteen valinta

Valaistavan polun pituuden ollessa n. 200 metriä, oli kaapelin teho- ja jännitehäviöiden vähentämiseksi mielekästä sijoittaa energiansyöttö kaapelin

puoliväliin. Silti yksittäisten kaapelien pituudeksi tuli n. 100 metriä. Valaisimet jakautuivat siten, että polun alapäähän sijoitettiin kymmenen valaisinta ja yläpäähän kahdeksan valaisinta.

Käyttäjien kannalta turvallisoin valinta olisi ollut suojajännitteellinen sähkön syöttö, mutta kaapelien pituuksien oltua n. 100 metriä, olisi tasajännitteen käyttö (12 VDC tai 24 VDC) ollut epätaloudellista kaapeleissa tapahtuvien suurten tehohäviöiden vuoksi. Tästä syystä käyttöjännitteeksi valittiin 230 VAC ja valaisinten syöttöjohtimiin asennettiin lisäeristys.

6.2 Valaisintesti

Valaistavan polun varrella tehtiin valaisin- ja lampputesti. Testi tehtiin 2.4.2014 klo 19.30 – 21.00 välisenä aikana, auringon jo laskettua. Testiä varten oli kaksi 3,5 metrin pituista bambutolppaa, joihin molempiin oli kiinnitetty testattava valaisin kolmen metrin korkeudelle sekä lamput valaisimiin. Testilampuiksi oli varattu 230 VAC/ 5 W:n ja 230 VAC/11 W:n energiansäästölamput. Valomääriltään lamput olivat 240 lm ja 594 lm. Sähkönsyöttö lampuille oli järjestetty 12 V:n akun, 12 VDC/230 VAC/600 W-invertterin sekä kahden MSK 2*1,5 mm² -sähkökaapelin avulla. Kaapelit olivat 10 metrin pituiset, toisista päistään kytketyt invertterin lähtöön ja toisista valaisimiin.

Testi suoritettiin asettamalla ensimmäinen lampputolppa paikalleen polun alkuun ja siirtämällä toista lampputolppaa polun varrella paikkaan, jossa lamppujen valokeilat vielä yhtyivät ja muodostivat hyvän näkyvyyden välillään olevalle polulle. Lampputolppien paikat merkittiin maahan. Tämän jälkeen ensimmäistä lampputolppaa siirrettiin toisen eteen jälleen etäisyydelle, jossa valokeilat vielä yhtyivät ja merkittiin seuraavan lampputolpan paikka. Energianlähteenä käytettyä akkua sekä invertteritä siirrettiin tarvittaessa kottikärryjen avulla lampputolppien väliin.

Testi aloitettiin 5 W:n energiansäästölampulla ja testitulosten oltua odotettua paremmat, testiä ei toistettu 11 W:n lampuilla.

6.3 Aurinkotuntien määrä

Vuorokautinen aurinkotuntimäärä on tärkeä tieto mitoitettaessa aurinkopaneelijärjestelmää paikallisiin olosuhteisiin sopivaksi. Siksi onkin tärkeää saada kyseinen tieto mahdollisimman läheltä asennuspaikkaa.

Balilla aurinkotuntien keskimääräinen arvo on 4,5...5,4 h/d (Nicholas, haastattelu 5.3.2014).

7 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT JA MITOITUS

Mitoitettaessa aurinkopaneelijärjestelmän eri komponentteja on tiettyjen suunnitteluparametrien arvot valittava ennen eri komponenttien nimellisarvojen laskentaa. Tätä tehtävää varten laadittiin taulukkolaskenta-sovellus, jolle syötettäviä parametrejä olivat

- lamppujen lukumäärä [kpl]
- yhden lampun teho [W]
- järjestelmän tyhjäkäyntiteho [W]
- lamppujen käyttöaika [h/d]
- aurinkotunnit [h/d]
- reservipäivien lkm. ts. aika, jonka järjestelmä toimii ilman auringonvaloa [d]
- akkujen max. purkusyvyys [%]
- aurinkopaneelien häviöt [%]
- lataussäätimen hyötysuhde [%]
- invertterin hyötysuhde [%]
- akkujen hyötysuhde [%]
- johdinmateriaalin resistiivisyys [Ω m]
- johdinmateriaalin resistiivisyyden lämpötilakerroin [$1/^\circ\text{C}$]
- johtimen pituus [m]
- johtimen poikkipinta-ala [m^2]
- ympäristön lämpötila [$^\circ\text{C}$]
- lamppujen nimellisjännite [V]
- johdinten lkm. kaapelissa [kpl].

Vastaavasti sovellus laskee ja ilmoittaa

- kokonaislampputehon [W]
- kaapelien tehohäviöt [W]
- kokonaisteho akuilta lampuille [W]
- päivittäisen aurinkoenergian tarpeen [Wh]
- invertterin minimitehon [W]
- tarvittavan aurinkopaneelitehon (nimellinen ja todellinen) [W]
- lamppujen energiankulutuksen (nimellinen ja todellinen) [Wh]
- lamppujen virrankulutuksen [A]
- aurinkokennojen latausvirran (nimellinen ja todellinen) [A]
- lataussäätimen virrankeston [A]
- ajan, joka järjestelmältä kuluu akkujen päivittäiseen lataukseen, jotta latausenergia vastaisi yöllistä kulutusta [h]
- tarvittavan akkukapasiteetin [Wh]
- kaapelin resistanssin [Ω]
- jännite- ja tehohäviön johtimessa/kaapelissa [V], [W]
- akkujen laskennallisen elinkaaren [a].

Tärkeimmät laskuissa käytetyt yhtälöt on esitetty ko. komponenttien mitoistusta käsittelevissä luvuissa 7.2.2, 7.3.3, 7.4.4 ja 8.6.

Laitteiston komponenttien toimittajana toimi PT. Solar Power Indonesia.

7.1 Auringonsäteily

Maapallon ilmakehän yläosiin saapuu auringonsäteilyä keskimäärin 1368 W/m^2 . Tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Johtuen maan kiertoradan soikeudesta auringon ympäri, tammikuussa säteily on n. 1410 W/m^2 ja kesäkuussa n. 1320 W/m^2 . Suurin säteily määrä maan pinnalla on korkeintaan $800 - 1000 \text{ W/m}^2$, johtuen ilmakehän heijastavasta ja absorboivasta vaikutuksesta. (Säteily, 1).

7.2 Aurinkopaneelit

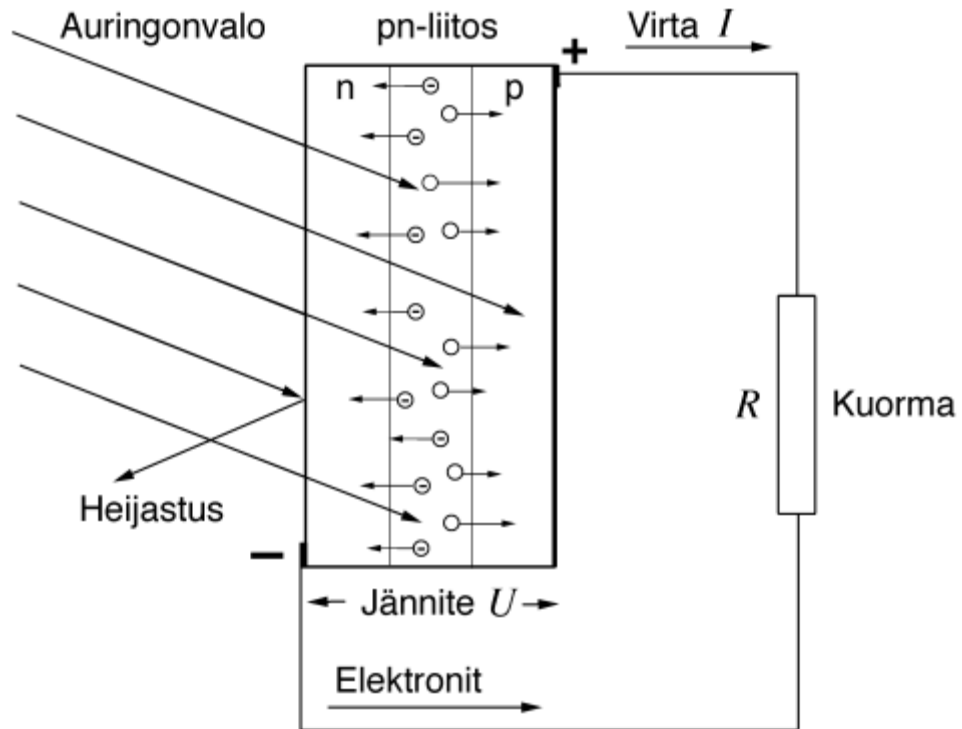
Aurinkopaneelit muodostuvat pienistä aurinkokennoista, jotka on kytketty sähköisesti toisiinsa ja muuttavat auringonvalon suoraan sähkövirraksi (Aurinkopaneeli). Aurinkopaneelien voidaan kuvitella olevan virtalähteitä, joita voidaan kytkeä toistensa kanssa joko sarjaan tai rinnan, riippuen siitä, halutaanko kytkennästä suurempi jännite vai virta. Teoreettinen hyötysuhde piikidekennoilla on 31 %, mutta käytännössä piistä valmistettujen kaupallisten aurinkopaneelien hyötysuhde on parhaimmillaan tällä hetkellä noin 18 %, mihin vaikuttavat metallijohteiden liitokset paneelien pinnalla, johtimien ja puolijohteiden resistanssi, lämpötila sekä heijastukset paneelin päällä olevasta lasista. Lasin pinnalla voidaan käyttää heijastusta vähentävää pinnoitetta, mikä parantaa paneelin hyötysuhdetta. (Suntekno, 2.)

Testaus- ja tuotekehityskäytössä olevien uuden sukupolven paneelien hyötysuhde on kasvanut lyhyellä aikavälillä suurin harppauksin alkuvuoden 2011 21,6 %:sta loppuvuoden 2012 33,5 %:iin, parhaan yksittäisen kennon yltäessä jopa 43 %:n hyötysuhteeseen (Independent 2011; Amonix).

Aurinkopaneelien sijoitus ja kiinnitys muuttuvat perinteisistä, mikäli ikkunapintoihin kiinnitettävät läpikuultavat, orgaanisiin molekyyliin perustuvat polyesterikalvot yleistyvät. Tällöin ongelman muodostaa ikkunoiden pystysuora kulma maanpintaan nähden, jolloin auringonsäteily ei käytännössä koskaan pääse vaikuttamaan kalvoihin kohtisuoraan, aiheuttaen siten suuremmat häviöt (Tekniikkatalous 2012.)

7.2.1 Aurinkopaneelin toiminta

Aurinkopaneeli koostuu useista pienistä aurinkokennoista, jotka ovat galvaanisesti kytketty toisiinsa. Näistä toisiinsa kytketyistä kennoista muodostuu aurinkopaneeli, jonka sähköiset ominaisuudet riippuvat kennojen sähköisistä ominaisuuksista, lukumäärästä ja kennojen välisistä kytkennöistä. Kuvassa 1 on esitetty yhden kennon toimintaperiaate. (Suntekno, 1.)



Kuva 1. Aurinkokennon periaatteellinen toiminta (Suntekno, 1).

Kennossa auringonvalo muuttuu suoraan sähkövirraksi. Periaatteessa aurinkokenno on hyvin suuri fotodiodeja, joka koostuu kahdesta erityyppisestä puolijohdemateriaalista, p ja n. Auringonvalon kohdistuessa kennoon on osalla valohiukkasista eli fotoneista niin suuri energia, että ne läpäisevät kennon ohuen lasisen pintakerroksen ja saavuttavat pn-liitoksen rajapinnan ja muodostavat elektroni-aukkopareja. pn-liitoksen rajapinnalla muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. pn-rajapintaan muodostuu sähkökenttä, minkä vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. Elektronit voidaan johtaa ulkoisen johtimen avulla p-tyypin puolijohdeeseen, jossa ne yhdistyvät pn-rajapinnasta kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Mikäli pn-rajapintaa valaistaan on rajapinnan eri puolilla jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat ja pn-rajapinta voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä. (Suntekno, 1.)

Yleisin materiaali aurinkokennoissa on pii (Si), jota käytetään yksi- ja monikiteisenä. Kiteisten piikennojen paksuus on yleensä noin 0,2 - 0,3 mm ja pinta-alaltaan ne ovat 90 - 160 mm x 120 - 160 mm. (Suntekno, 1).



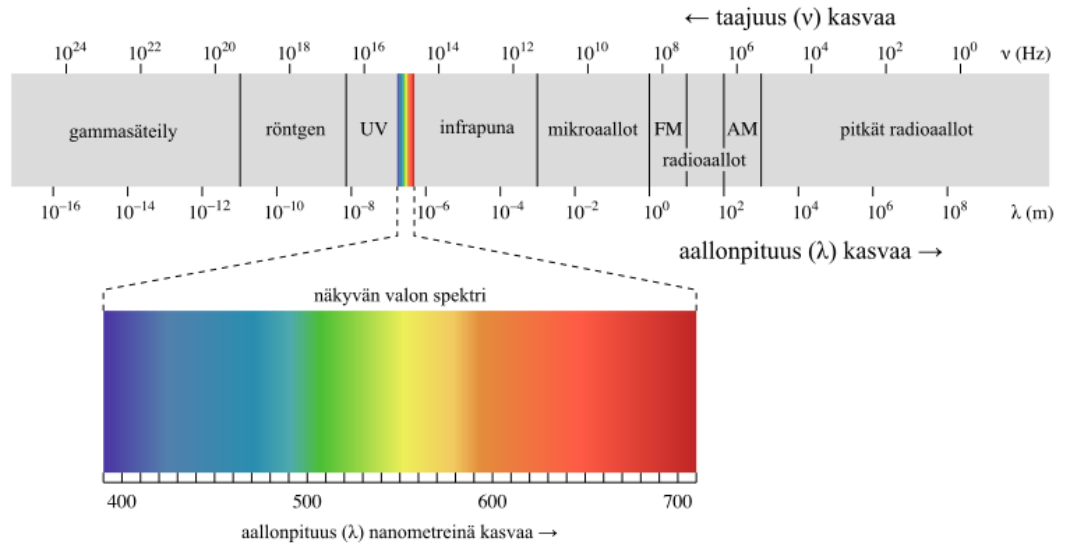
Kuva 2. Yksikiteinen aurinkopaneeli (Eopllysolar).

Kuvan 2 yksikiteiset piikennot on sahattu yhtenäisestä, halkaisijaltaan 100 – 160 mm, piihihiosta. Johtuen raaka-aineen hyvin kallista hinnasta ei kieroista tehdä neliskulmaisia. Siitä johtuen yksikidepaneeleissa on kennojen kulmissa aukot. Kuvan 3 monikiteisiä piikkenoja tehdään myös neliskulmaisista aihioista, jolloin sekä raaka-aine saadaan käytettyä tarkemmin hyödyksi että paneelin piikkenojen pinta-ala on suurempi. (Suntekno, 1.)



Kuva 3. Monikiteinen aurinkopaneeli (Rakennusyritykset).

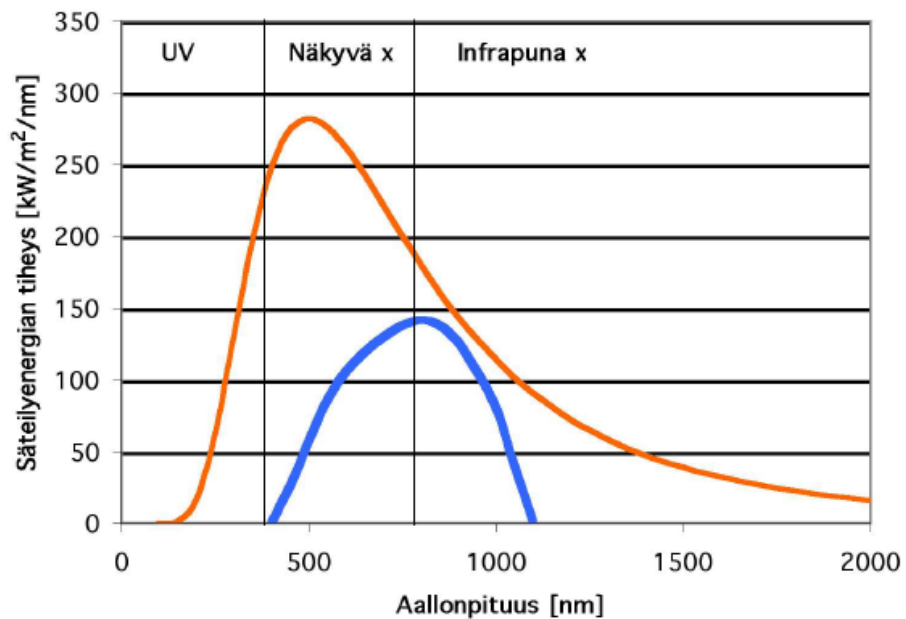
Aallonpituuden kasvaessa fotonien energia pienenee (Energia). Siten 1150 nm eli 1,15 μm on suurin aallonpituus, jolla fotoni saa piissä (Si) aikaan elektroni-aukkoparin (Suntekno, 2). Kuten kuva 4 osoittaa, tämä valo sijoittuu lähelle lyhytaaltoista infrapunasäteilyä, jonka aallonpituus on lähellä näkyvän alueen rajaa.



Kuva 4. Elektromagneettisen säteilyn spektri (Spektri).

Auringon säteilyspektrin muoto ilman ilmakehän absorptiota sekä piikennon absorptioalue on esitetty kuvassa 5. Säteily, jonka aallonpituus on suurempi kuin 1,15 μm ainoastaan kuumentaa paneelia, mutta ei saa aikaan elektroni-aukkoparia. Jokainen pn-rajapintaan osunut fotoni voi synnyttää vain yhden elektroni-aukkoparin. Mikäli fotoneilla on enemmän energiaa kuin elektroni-aukkoparin synnyttämiseen tarvitaan, menee ylimääräinen energia hukkaan. Mikäli säteilyn aallonpituus on pienempi kuin 400 nm (= lyhytaaltoista ultraviolettivaloa), eivät piikennot pysty hyödyntämään sitä. Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna em. ultraviolettivalo aiheuttaa paneelin tuhoutumista. (Suntekno, 2.)

Auringon säteilyspektri



Kuva 5. Auringon säteilyspektri (oranssi) ja kennon absorptioalue (sininen) (Suntekno, 2)

7.2.2 Aurinkopaneelien valinta ja tyyppi

Laskettaessa tarvittavaa aurinkopaneelien yhteistehoä tarvitaan parametreiksi lampputeho, lamppujen vuorokautinen käyttöaika, kaapelihäviöt, järjestelmän ylläpitoteho, aurinkotunnit sekä aurinkopaneelien, lataussäätimen, invertterin ja akun hyötysuhteet.

Lampputehoksi on valittu arvo, joka edustaa tehonkulutusta kun molemmat polut ovat valaistu. Laskettaessa akulta otettavan sähkötehon suuruutta, saadaan:

$$P_{akku} = \frac{P_{lamput} + P_{kaapelihäviöt}}{\text{hyötysuhde}_{invertteri}} \quad (1)$$

$P_{kaapelihäviöt}$ sisältävät sekä akuston ja invertterin että invertterin ja kuorman välisten kaapeleiden tehohäviöt. Akuston ja invertterin välisen kaapelin maksimitehohäviöksi määritetään 1 %, joka vastaa maksimikuormituksella 2 W. Invertterin ja kuorman välisen kaapelin maksimitehohäviöksi määritetään 5 %, joka vastaa maksimikuormituksella 10 W.

$$P_{akku} = \frac{200 \text{ W} + 2 \text{ W} + 10 \text{ W}}{0.94} = 225 \text{ W}$$

Laskettaessa akulta otettavan sähköenergian suuruutta, saadaan:

$$E_{akku} = P_{akku} * t_{lamppu} + P_{järjestelmä} * 24 \text{ h} \quad (2)$$

$$E_{akku} = 225 \text{ W} * 6 \text{ h} + 10 \text{ W} * 24 \text{ h} = 1590 \text{ Wh}$$

Aurinkopaneelien nimellistehoksi saadaan:

$$P_{nimellis} = \frac{E_{akku}}{t_{aurinko}} \quad (3)$$

$$P_{nimellis} = \frac{1590 \text{ Wh}}{4.5 \text{ h}} = 353 \text{ W}$$

Laskettaessa aurinkopaneelien todellista tehontuottoa tulee ottaa huomioon aurinkopaneelien, lataussäätimen, invertterin sekä akkujen hyötysuhteet:

$$P_{todellinen} = \frac{P_{nimellis}}{n_{panelit} * n_{säädin} * n_{invertteri} * n_{akku}} \quad (4)$$

$$P_{todellinen} = \frac{353 \text{ W}}{0.75 * 0.85 * 0.94 * 0.85} = 693 \text{ W}$$

Valittavana oli eritehoisia aurinkopaneeleja, jolloin kolmesta 250 W:n paneelista saatiin muodostettua lähinnä tarvetta vastaava 750 W:n kokonaisuus. Paneelin tyyppi oli EverExceed ESM250-156.

7.3 Aurinkopaneeliteline

Aurinkopaneelien asennuksessa tulisi huomioida niiden sijoitus varjottoomaan paikkaan, jossa auringonvalo pääsisi kulkemaan esteettä paneelin puolijohdepinnalle. Haluttaessa vähentää lämpötilasta johtuvia häviöitä, tulisi paneelien ympärille järjestää riittävä ilmanvaihto (Suntekno, 6).

Aurinkopaneelitelineen avulla voidaan paneelit kiinnittää halutulle kohdalle ja korkeudelle, jolloin heijastukset paneelien pintalasioista saadaan minimoitua sekä etäisyys lämpöä säteilevistä/sitovista pinnoista riittäväksi.

7.3.1 Aurinkopaneelitelineen rakenne

Aurinkopaneelien asennuspaikan ympäristössä oli varsin korkea aluskasvilisuus ja ympärillä kasvoi noin 5-6 metrisiä puita. Tästä syystä päädyttiin ratkaisuun, jossa paneelit asennettaisiin ympäröivien puunlatvojen tasalle. Tätä tarkoitusta varten rakennettiin teline, joka koostui 5,5 m:n pituisesta ja halkaisijaltaan 15 cm:n galvanoidusta teräsputkesta sekä asennustelineestä, johon kolme aurinkopaneelia voitiin asentaa vierekkäin, kiinteään maanpintaan nähden noin 20 asteen kulmaan pohjoista kohden. Teräsputken alapäähän oli hitsattu poikittaissuuntaan lattateräksiä parantamaan tartuntaa valubetoniin.

Telinettä varten louhittiin maahan halkaisijaltaan 70 cm:n ja syvyydeltään 1 m:n suuruinen kuoppa. Teräsputki nostettiin paikoilleen, tuettiin alapäästään kivenlohkareilla ja valettiin betoniin. Betonin kuivuttua riittävästi nostettiin asennusteline putken päähän ja kiinnitettiin paikoilleen kiristysruuvien avulla.

7.3.2 Lataussäätimen merkitys ja toiminta

Lataussäädin vastaanottaa sähköenergiaa aurinkopaneelilta ja muuntaa sen sopivaksi suuruiseksi jännitteeksi ja virraksi akkuihin ladattavaksi. Tarkasteltaessa aurinkopaneelijärjestelmää ilman lataussäädintä kun auringon säteilyteho on optimaalinen (1000 W/m^2) ja paneelilta (250 W) saatava jännite johdetaan suoraan varaustilaltaan alhaisen ($U_{\text{akku}} = 10 \text{ V}$) akun napoihin, olisi paneelilta saatava jännite tällöin suurempi kuin akun napajännite. (Reps, 1).

Lyhenteiden selitykset:

I_{sc} = paneelin oikosulkuvirta (short circuit current)

V_{oc} = paneelin avoimen piirin jännite (open circuit voltage)

I_{mp} = paneelin maksimitehon virta (maximum power current)

V_{mp} = paneelin maksimitehon jännite (maximum power voltage)

P_{max} = paneelin maksimiteho (maximum power). (Reps, 1.)

Liitteessä 10.2 on esitetty valitun 250 W aurinkopaneelin sähköisten ominaisuuksien kuvaaja ja arvot, joista tarkastelua varten on valittu seuraavat:

$$I_{sc} = 8,876 \text{ A}$$

$$V_{oc} = 38,461 \text{ V}$$

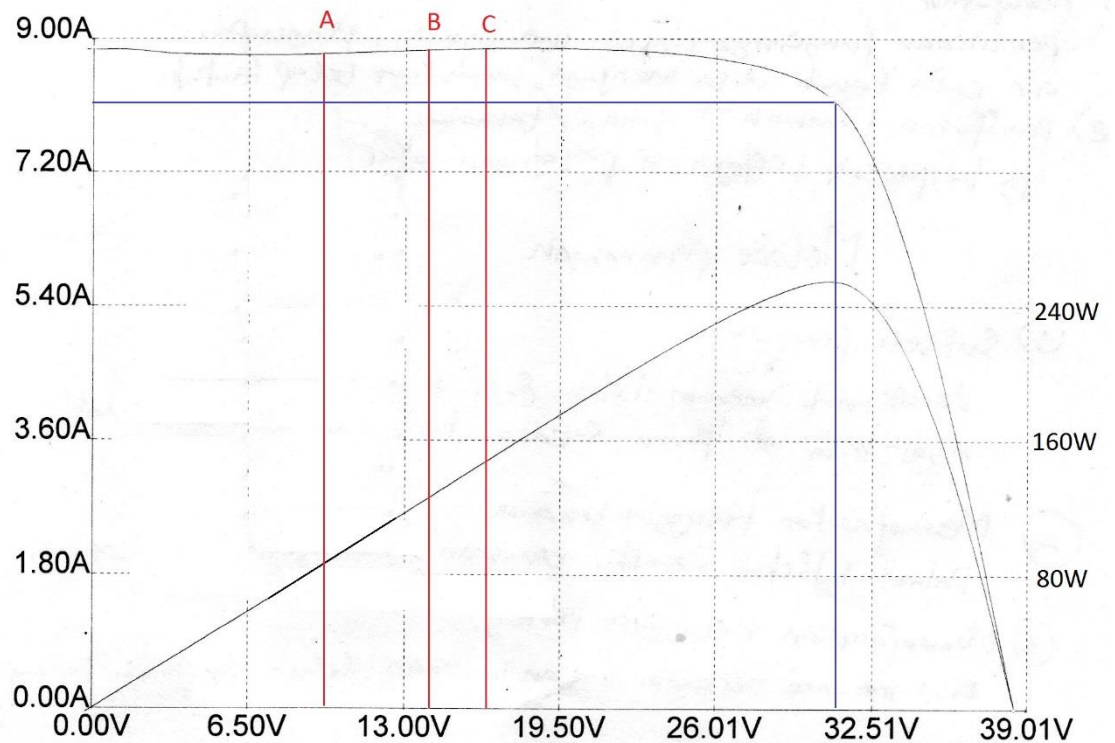
$$I_{mp} = 8,198 \text{ A}$$

$$V_{mp} = 30,733 \text{ V}$$

$$P_{max} = 251,9 \text{ W} (= V_{mp} * I_{mp})$$

$$Eff = 15,5 \%$$

Kuvasta 6 voidaan päätellä mitä aurinkopaneelijärjestelmän virtapiirissa latauksen eri vaiheissa tapahtuu. Ylempi käyrästä on jännite-virtakäyrä ja alempi on tehokäyrä.



Kuva 6. Valitun 250 W aurinkopaneelin ominaiskäyrät (Liite 10.2)

Piste A: Akun napajännite on alhainen (10 V) ja koska akun sisäresistanssi on pieni, se pakottaa paneelilta saatavan jännitteen yhtä suureksi kuin akun napajännite. Paneelilta saatavan virran suuruus on 8,8 A jännitteen ollessa em. 10 V. Tällöin akku latautuu 88 W:n teholla. (Reps, 1.)

Piste B: Akku on latautunut ja napajännite on saavuttanut 14,4 V. Paneelilta saatavan virran suuruus on edelleenkin 8,8 A ja latausteho on n.127 W. (Reps, 1.)

Piste C: Jännite on jatkanut nousuaan 17 V:iin, virran pysyessä 8.8 A:n suuruisena. Koska latausjännitteen maksimiarvo on ylitetty, ei akku enää lataudu vaan elektrolyytti kuumenee 150 W:n teholla ja aiheuttaa pitkään kestäessään akun tuhoutumisen. (Reps, 1.)

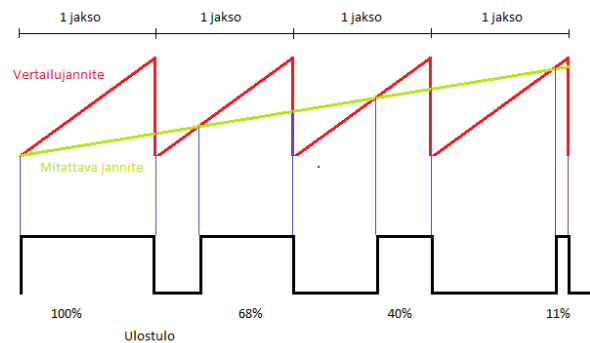
Ihman lataussäädintä tyhjää akkua ladataan 88 W:n teholla ja täyttä akkua 127 W:n teholla. Tilanne on juuri painvastainen kuin sen pitäisi olla, jolloin tyhjää akkua ladattaisiin suurella teholla (virralla) ja täyttä akkua pienellä teholla (virralla). (Reps, 1.)

Käytettäessä ensimmäisen sukupolven mekaanista relesäädintä, lataus loppuu jännitteen saavuttaessa 14,4 voltin jännitteen ja aloittaa latauksen uudelleen kun jännite on laskenut n. 12,6 volttiin (Reps, 3).

Kehittyneemmän PWM-säätimen toiminta on sama kuin mekaanisen relesäätimen, kunnes latauksessa saavutetaan 14,4 V:n jännitearvo. Tällöin, akun jännitteen noustessa ensimmäisen kerran 14,4 voltin jännitteeseen, on akun varausaste noin 85 - 90 % ja haluttaessa täyttää akun varausaste 100 %:sti, tarvittaisiin vielä latausvirtaa (Reps, 3).

Pulssinleveysmodulaatiossa säätimen puolijohdekytkin katkoo latausvirtaa siten, että kytkin on johtavassa tilassa 0 - 100 % pulssin jaksonajasta (milisekunteja), nostaan jakso jaksolta akun napajännitettä 14,4 V:iin (Reps, 3).

Kuvassa 7 on esitetty säätimen toiminnan periaatekuva; mitä lähemmäksi mitattava jännite nousee vertailujännitteen huippuarvoa, sitä lyhemmän ajan jaksonajasta puolijohdekytkin johtaa. Akun napajännite pysyy siten vakana 14,4 V:ssa, kunnes latausvirran arvo lähenee nollaa eli puolijohdekytkimen jaksonajasta kytkin on johtavassa tilassa ≈ 0 %. Akku on tällöin täynnä (100 %) ja säädin laskee akun latausjännitteen hieman alemmalle tasolle ylläpitolataukseen, jossa se säätää sisääntulevaa virtaa samalla periaatteella siten, että akun jännite pysyy ylläpitolatausjännitteen suuruisena. (Reps, 3).



Kuva 7. PWM-säätimen toimintaa kuvaavat signaalimuodot

MPPT-säätimissä on PWM:n lisäksi myös maksimitehopisteen haku eli MPPT-algoritmi. MPPT-säätimessä MPPT-algoritmi etsii ja laskee jatkuvasti pistettä, missä paneelin lähtöteho ($P_{\text{lähtö}} = U * I$) olisi suurin (kuva 6). MPPT-säädin joko tutkii koko jännitealueen hakiessaan tehon maksimiarvoa tai se kokeilee valitsemansa jännitearvon molemmiin puolin kasvaako vai laskeeko teho. P_{max} , piste, jossa paneelin lähtöteho on suurin, on

nimeltään MPP ja sen paikka kuvaajalla vaihtelee aurinkosäteilyn intensiteetin, paneelin lämpötilan ja varjostusten mukaan. MPPT-säädin tuo energian paneeleista aina olosuhteisiin nähden suurimmalla mahdollisella teholla (virralla). Perinteiseen PWM-säätimeen verrattuna MPPT-säädin mahdollistaa paneelien sarjakytken, jolloin energia voidaan tuoda paneelilta säätimelle korkeammalla jännitteellä, matalammalla virralla, ohuemmalla johdolla sekä pidemmältä etäisyydeltä pienemmin häviöin (Reps, 6.)

7.3.3 Lataussäätimen valinta ja tyyppi

Valittaessa lataussäädintä oli valintaperusteena MPPT-tyyppinen lataussäädin, jonka hyötösuhde on nykysäätimistä paras. Kytettäessä kolme aurinkopaneelia sarjaan voi lataussäätimen sisääntulon maksimijännite nousta

$$38,5V * 3 = 115,5V$$

suuruiseksi, jolloin valittavan lataussäätimen tulee kestää em. jännite. Toisaalta lataussäätimen tulee kestää virta, jonka suuruus on maksimissaan:

$$750W/24V = 31,25A$$

Nämä ominaisuudet omaava lataussäädin löytyi EverExeed:ltä, I-P-MS-DC12V/24V/48V -sarjasta. Sarjaan kuuluu kolme eri maksimilatausvirran omaavaa lataussäädintä: 40 A, 50 A ja 60 A:n mallit (liite 10.3). Säätimien suurin sisääntulojännite aurinkopaneelilta on 150 V, jokaisella akkujännitteellä. Lataussäädin tunnistaa automaattisesti akkujännitteen (12V/24V/48V) ja ainoa käyttäjän syöttämä parametri on akkutyyppin valinta (Vented/Sealed/Gel/NiCd/Other). Laskennallisesti sovellukseen olisi riittänyt 40 A:n malli, mutta sovellukseen valittiin 60 A:n malli, koska muita malleja ei ollut saatavilla, eikä niitä projektin lyhytkestoisuuden vuoksi olisi ehditty tilata.

7.4 Akku

Akusto on järjestelmän energiaa varastoiva osa, joka latautuu aurinkopaneelilta saadun sähköenergian avulla. On tärkeää, että akun lataus- ja purkaushyötösuhde on hyvä, jotta mahdollisimman suuri osa aurinkopaneelilta saadusta sähköenergiasta saadaan myöhemmin hyödynnettyä lamppuissa tai muussa kuormassa.

Yleisimmät aurinkopaneelien yhteydessä käytetyt akkutyyppit ovat lyijy-, geeli- ja AGM-akut. Ne kaikki sisältävät lyijyä ja rikkihappoa, mutta akun sisäinen rakenne jakaa ne omiin luokkiinsa.

7.4.1 Lyijyakun rakenne

Perinteinen lyijyakku koostuu positiivisista ja negatiivisista lyijyelektrodeista, jotka on jaettu kennoihin. Kenno sisältää ryhmän positiivisia ja negatiivisia elektrodeja eli levyjä, joiden välissä on erotinlevyt, jotka estävät

positiivisia ja negatiivisia levyjä koskettamasta toisiaan ja aiheuttamasta oikosulkua. (Exide 2009, 170 – 171.)

Levyjen välissä on nestemäinen elektrolyytti. Elektrolyytti koostuu vedestä ja rikkihaposta (35 %). Usean levyn muodostaman kennon jännite on 2,13 V, jolloin 12 V:n akussa on kuusi kennoa kytketty sarjaan. Akkukotelossa on jokaiselle kennolle oma lokeronsa, johon voidaan kannessa olevasta, korkilla varustetusta reiästä lisätä puhdasta vettä, jota haihtuu mm. akun yllilatauksessa ja kuormitettaessa akkua suurella purkuvirralla. (Exide 2009, 170 – 171.)

Sarjaan kytkettyjen kennojen positiivinen virtakisko johdetaan akun positiiviseen napaan ja merkitään +-merkillä. Vastaavasti negatiivinen virtakisko johdetaan akun negatiiviseen napaan ja merkitään -merkillä. (Exide 2009, 170 – 171.)

7.4.2 Lyijyakun toiminta

Seuraavassa tutkitaan nestemäisen elektrolyytin omaavan lyijyakun toimintaa eri vaiheissa. Periaate on sama myös geeli- ja AGM-akuissa.

Akun ollessa varatussa tilassa, koostuu akun positiivinen levy lyijydioksidista (PbO_2) ja negatiivinen levy huokoisesta lyijystä (Pb). Elektrolyyttinä käytetään laimennettua rikkihappoa (H_2SO_4), jonka tiheys vaihtelee 1,27...1,30 g/cm^3 välillä. Jännite-ero positiivisen ja negatiivisen levyn välillä on 2,13 V. Purettaessa akun varausta, siirtyy sulfaattiryhmiä (SO_4) sekä positiiviselle että negatiiviselle levyille (sulfaatioituminen). Positiivisella levyllä muodostuu happea (O) ja negatiivisella vetyä (H_2). Positiivisen levyn happi (O) siirtyy elektrolyyttiin ja yhdistyy negatiivisella levyllä muodostuneisiin vetyioneihin (H^+) ja näin muodostuu vettä (H_2O). Tällöin virta kulkee akun positiivisesta navasta kuorman kautta negatiiviseen napaan. Kun akun varaus on täysin purettu, koostuu akun sekä positiivinen että negatiivinen levy lyijysulfaatista (PbSO_4). Tällöin elektrolyytti koostuu pelkästä vedestä, koska sulfaatti (SO_4) on sitoutunut positiiviselle ja negatiiviselle levyille. Elektrodiin välinen jännite-ero on 0 V. Varattaessa akkua kulkee virta akun läpi vastakkaiseen suuntaan ja tällöin sulfaattiryhmät (SO_4) palautuvat takaisin elektrolyyttiin ja happi (O) positiiviseen levyyn. (Exide 2009, 172.)

Ladattaessa- ja purettaessa lyijyakkua suurella virralla, johdetaan syntyneet vety- ja happikaasut (= räjähdyskaasu) usein akun ulkopuolella olevaan ilmaan, jolloin veden haihtuessa akku kuivuu ja tarvitsee säännöllisen huollon (Bdcharger; Flinkenberg, 2). Poikkeuksena huoltovapaat akut, joissa ko. ominaisuutta on parannettu eli kaasut rekombinoidaan ts. käytetään akun sisällä uudestaan (Exide 2009, 166).

7.4.3 AGM- ja geeliakkujen ominaisuuksia

AGM- ja geeliakussa on normaalin lyijyakun tapaan positiivisia ja negatiivisia lyijyelektrodeja eli levyjä (Flinkenberg). AGM-akussa nestemäinen

elektrolyytti on imeytetty mikrohuokoiseen lasikuituun, joka toimii myös elektrodien erottimena. Elektrodilevyjen välissä oleva mikrohuokoinen lasikuitu aiheuttaa elektrolyyttiin kapillaari-ilmiön, joka pitää elektrolyytin lähellä elektrodeja ja pienentää akun sisäistä resistanssia ja jännitehäviötä lisäten varauksen vastaanottokykyä ja purkuvirran suuruutta. (Bdcharger.)

Geeliakussa elektrodien erottimena on käytetty huokoista muovimateriaalia ja elektrolyytinesteeseen on lisätty silikaattia (piiyhdiste), joka aiheuttaa elektrolyytin hyytelöitymisen ja estää sen valumisen ulos, mikäli koteloon tulee reikä (Flinkenberg).

Sekä AGM- että geeliakut ovat suljettuja; kaasunmuodostusta ei tapahdu eivätkä ne tarvitse veden lisäystä, koska happi ja vety rekombinoituvat akun rakenteen ansiosta tehokkaasti (Flinkenberg).

Akut kestävät hyvin tärinää. Ne voidaan sijoittaa mielivaltaiseen käyttöasentoon ja sen itsepurkautuminen on erittäin vähäistä. (Flinkenberg.)

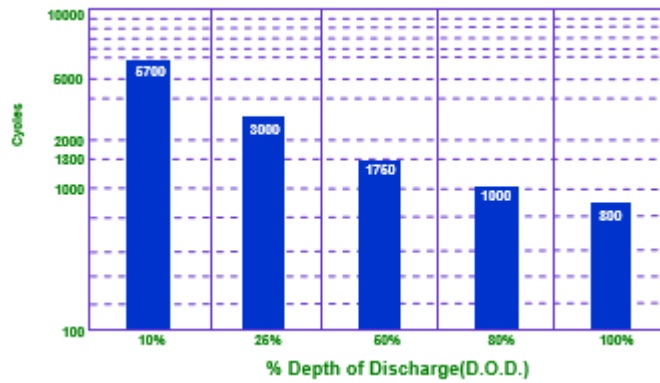
Koska AGM- ja geeliakut ovat suljettuja, on niiden latausta kontrolloitava tarkemmin kuin perinteisen lyijyakkujen. AGM akun latausjännite on 14,2 V ja ylläpitolataus 13,4 V. Vastaavat jännitearvot geeliakulla ovat 14,2 V ja 13,7 V (EverExceedMPPT.)

Sekä AGM- että geeliakut ovat VRLA-akkuja, jotka on suojattu ylilatausta ja ylisuurta latausjännitettä vastaan. Tällöin akun sisäinen lämpötila nousee aiheuttaen elektrolyytinesteeseen höyrystymisen ja paineen nousun. Tämä aiheuttaa venttiilin aukeamisen, akun sisäisen paineen laskun ja höyrystyneen akkunesteen vähenemisen. (Navimare; EverExceedAGM, 3; Flinkenberg).

Geeliakkua on varottava altistamasta tilanteeseen, jossa sitä ladataan tai puretaan suurella virralla. Hyytelömäisen elektrolyytin sisälle voi tällöin muodostua taskuja, jotka mahdollistavat levyjen syöpymisen ja niiden ennenaikaisen tuhoutumisen. (Bhdcharger).

Geeliakut soveltuvat parhaiten pitkiin lataus- ja purkusykleihin (Batterystuff).

Geeliakun kestämiä lataus- ja purkusyklien lukumäärä on suoraan verrannollinen akun purkusyvyyteen kuvan 8 osoittamalla tavalla. (EverExceed-Gel, 8.)



Kuva 8. Akun purkusyvyys vs. lataus- ja purkusyklien lukumäärä

7.4.4 Akun valinta ja tyyppi

Mitoitettaessa järjestelmän akkuja, tuli ottaa huomioon vuorokautinen energiantarve ja että järjestelmän tuli toimia vähintään kolme vuorokautta ilman latausta.:

$$Kap_{akku} = \frac{1590 \text{ Wh/d}}{24 \text{ V}} = 66 \text{ Ah/d} \quad (5)$$

Kuvan 8 mukaisesti lataus- ja purkusyklien lukumäärä eli akun toiminnallinen elinikä on suoraan riippuvainen purkusyklien syvyydestä ts. siitä, kuinka monta prosenttia akun kapasiteetista puretaan latausten välillä. Jotta purkusyklin syvyydeksi tulisi em. kolmen vuorokauden lataamattoman ajan jälkeenkin max. 50 % tuli akuston kokonaiskapasiteetiksi siten:

$$\frac{3 \text{ d} * 66 \text{ Ah/d}}{\frac{50}{100}} = 396 \text{ Ah} \quad (6)$$

Akuston purkusyvyydeksi vuorokaudessa muodostuu

$$\frac{66 \text{ Ah}}{396 \text{ Ah}} * 100 \% = 16,7 \% \quad (7)$$

Tämä tarkoittaisi tasaisella käytöllä n. 4800 lataus- ja purkusykliä eli n. 13 vuoden toiminta-aikaa. Käytännössä tämä ei toteudu. Syinä ovat Balin ilmasto-olosuhteet ja käytetyt akkujen purkusyvyydet, jolloin akuston toiminta-aika ei vastaa laskennallista arvoa.

Valittaessa järjestelmään akkuja olivat valintakriteereinä lyhyt lataussykli, suuri purkuvirta, lataus- ja purkaussyklien lukumäärä, pienet häviöt ja huoltovapaus.

Merkittävimmiksi ominaisuuksiksi akkujen välillä muodostuivat lyhyt lataussykli sekä suuri purkuvirta. Päivittäinen aurinkotuntimäärä saattaa vaihdella vuodenaikasta riippuen paljonkin ja mikäli järjestelmää käytettäisiin

hätätilanteessa varajännitelähteenä, saattaa purkuvirta kasvaa moninkertaiseksi normaaliin verrattuna. Näiden johdosta akuiksi valittiin EverExceed:n VRLA AGM HR-12200-tyypin akut, joiden nimellisjännite oli 12V ja kapasiteetti 200Ah.

7.5 Akkusuoja ja -teline

Aurinkopaneelitelineen juurelle valettiin akkusuojaa varten betonista n. 1,4 m * 0,9 m * 0,1 m suuruinen laatta, jonka päälle muurattiin Leca-harkoista akkuja varten suorakaiteen muotoinen suoja. Suojan etuseinän korkeus oli n. 0,8 m ja takaseinän 0,4 m. Suojan alanurkkiin tehtiin raot vettä varten, jolloin sisään joutunut vesi pääsisi virtaamaan ulos, eikä aiheuttaisi ongelmia akuille. Suojan päälle asennettiin poisnostettava peltinen pulpettikatto.

Akut sijoitettiin rinnakkain, teräsprofiilista hitsatulle akkutelineelle, jonka jalat nostivat akut noin 10 cm laatan yläpuolelle. Akkutelineeseen hitsattiin kiinni kaksi lukittavaa teräsketjua, jotka kiersivät akkujen ympäri estäen niiden yksittäisen poisoton suojasta. Teräsketjut eristettiin muoviletkulla, joka esti ketjuja muodostamasta oikosulkua akun napojen välille.

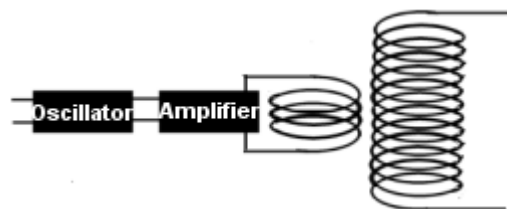
Yksittäinen akku painoi noin 60 kg, joten neljän akun muodostaman ja teräsketjuin toisiinsa liittämän yli 240 kg:n yhteismassan toivottiin estävän akkujen varastamisen.

7.6 Invertteri

Invertteri eli vaihtosuuntaaja muuttaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi. Invertteri on yleisimmin toteutettu tehopuolijohteilla ja muuntajalla.

7.6.1 Invertterin toiminta

Kuvassa 9 nähdään eräs siniaaltoinvertterin yksinkertaistettu toimintaperiaate, jossa pienjännitteinen siniaalto-oskillaattori tuottaa halutun taajuista siniaaltoa (50 tai 60 Hz) ja vahvistin vahvistaa signaalin muuntajalle sopivaksi. (Invertteri).



Kuva 9. Siniaaltoinvertterin toimintaperiaate (Invertteri.)

Lopullinen ulostulojännite (115 V tai 230 V) muodostuu muuntajan muuntosuhteen mukaisesti (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2010, 127):

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (8)$$

, missä U_2 = muuntajan toisiojännite
 U_1 = muuntajan ensiojännite
 n_2 = muuntajan toisiokierrokset
 n_1 = muuntajan ensiökierrokset

Usein pienjännittelähteenä (U) käytetään akkua, joka syöttää tasavirtaa (I) oskillaattorille, vahvistimelle ja muuntajalle. Pienjännitteen tehonkulutus lasketaan (Mäkelä ym, 2010, 120):

$$P = U * I \quad (9)$$

Ulostulevan vaihtojännitteen teho lasketaan vastaavasti (Mäkelä ym, 2010, 126):

$$p = u * i * \cos \varphi \quad (10)$$

, jossa u = vaihtojännitteen tehollisarvo
 i = vaihtovirran tehollisarvo
 φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

Laskettaessa invertterin hyötysuhdetta, voidaan yksinkertaistetusti ajatella invertterin ulostuloa kuormitettavan puhtaasti resistiivisellä kuormalla ($\cos \varphi = 1$).

Ideaalisessa tapauksessa olisivat ensiö- ja toisiotehot yhtäsuuret ($P = p$), mutta häviöiden (elektroniikka, muuntaja) vuoksi on ensiöpuolen tehonkulutus toisiotehoa suurempi. (Invertteri.) Invertterin hyötysuhde lasketaan:

$$Eff [\%] = \frac{P_{toisio}}{P_{ensiö}} * 100\% \quad (11)$$

Hyvälaatuisen invertterin hyötysuhde on yli 90 % (Invertteri2).

7.6.2 Invertterin valinta ja tyyppi

Invertterin tuli muuttaa 24 V:n tasajännite 230 V/50 Hz:n vaihtojännitteeksi. Tehonkesto invertterillä tuli olla vähintään 200 W. Invertteriksi valittiin liitteessä 10.4 esitelty Studer AJ 350, jonka jatkuva teho on max. 300 VA ja max. hyötysuhde 94 %.

8 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN SÄHKÖINEN KYTKENTÄ

Aurinkopaneelijärjestelmän sähköinen kytkentä on esitetty liitteessä 10.5. Järjestelmä koostuu kolmesta aurinkopaneelista, lataussäätimestä, akustosta, invertteristä, kellokytkimestä sekä ylivirtasuojista että kaapeleista eri komponenttien välillä.

8.1 Kytkenän toiminta

Tehty kytkentä sekä lataa akustoa että purkaa sen varausta kuormaan. Sekä purkaus että lataus voivat tapahtua joko eri- tai samanaikaisesti, täysin toisistaan riippumatta.

8.1.1 Toiminta latauksen aikana

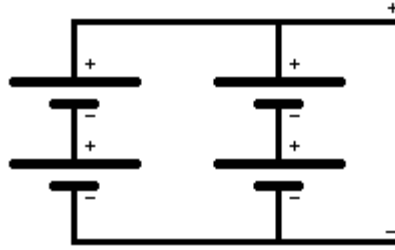
Kolme sarjaankytkettyä aurinkopaneelia muuntavat niihin kohdistuvan auringonsäteilyn tasasähkövirraksi, jonka suuruus on suoraan verrannollinen auringon intensiteettiin.

Kytkemällä aurinkopaneelit sarjaan, on niiltä saatava jännite suurempi, mutta virta pienempi. Tällöin myös jännitehäviöt aurinkopaneelien ja lataussäätimen välisissä johtimissa ovat pienemmät.

Aurinkopaneeleilta saatava tasajännite johdetaan 20 A:n ylivirtasuojakytkimen kautta noin kuuden metrin mittaisilla johtimilla lataussäätimelle. Ylivirtasuojan tehtävänä on suojata aurinkopaneeleja vahingoittavalta, suurelta oikosulkuvirralla, joka saattaa esiintyä, mikäli elektronisen lataussäätimen sisääntulossa tapahtuu oikosulku ja lataussäätimen oma suojaustoiminto ei toimi.

Lataussäädin tunnistaa automaattisesti ladattavan akuston napajännitteen ja säätää sekä latausjännitteen että virran ko. akkutyypille sopivaksi. Lataussäätimen lähtö on suojattu 40 A:n ylivirtasuojalla mahdollista akustossa tapahtuvaa oikosulkua vastaan. Myös tässä tapauksessa on haluttu suojauttaa lataussäätimessä tapahtuvaa vikatilannetta vastaan.

Akusto koostuu neljästä 12 V:n akusta, joista on muodostettu kaksi kahden akun paria. Molemmissa pareissa on akut kytketty sarjaan ja näin on muodostettu kaksi 24 V:n akkuparia. Tämä siksi, että suurempi jännite akustossa aikaansaa pienemmän virran, joka aiheuttaa pienempiä jännite- ja tehohäviöitä mm. johtimissa. Näin muodostetulle kahdelle 24 V:n akkuparille on vielä tehty rinnankytkentä, jolloin lopullisen akuston (Kuva 10.) sekä napajännite että virtakapasiteetti on kaksinkertaistunut yhteen akkuun verrattuna.



Kuva 10. Akkujen sähköinen kytkentä

8.1.2 Toiminta purettaessa akuston varausta

Akustolta johdetaan 24 V:n tasajännite 100 A:n ylivirtasuojan kautta invertterille, joka muuntaa 24 V:n tasajännitteen 230 V:n vaihtojännitteeksi.

Invertterin lähtöön on kytketty 2 A:n ylivirtasuojan sekä kellokytkin. Ylivirtasuojan tarkoituksena on suojata invertteriä sen kuormassa (= lamput) mahdollisesti tapahtuvalla ylikuormitukselta tai oikosululta.

Kellokytkin on mekaanisesti ohjelmoitava ja mahdollistaa invertterin lähtöön kytkettyjen lamppujen kytkemisen haluttuina aikoina päälle ja pois.

8.2 Valaisimien sijoitus

Valaisimet tuli asentaa sekä polun varrelle että autojen paikoitusalueelle. Liitteessä 10.1 on kuvattu punaisella värillä valaisimien ja niitä syöttävän sähkökaapelin sijainnit ROLE-foundationin Eco Park-alueella. Vihreällä värillä on kuvattu mahdollisesti myöhemmin valaistavan polun sijainti. Aluetta kuvaava kartta ei ole mittasuhteiltaan oikea, mutta antaa kuvan polkujen sijainnista tontilla.

Polun varrelle, jonka pituus oli 180 metriä tuli asentaa 15 valaisinta sekä paikoitusalueelle kolme valaisinta.

Koska polun pohja oli kokonaisuudessaan kalkkikiveä, ei sähkökaapelin maahan kaivaminen ollut taloudellisesti eikä työmäärällisesti järkevä vaihtoehto. Vaihtoehto, johon päädyttiin, oli pystyttää polun varrelle tolppia, jotka yhdistettiin toisiinsa kolmen millimetrin paksuisella teräslangalla, joka toimi siten sekä sähkökaapelin että valaisimien kannattimena.

Sähkökaapeli kierrettiin teräslangan ympärille ja ennalta valittuihin kohtiin kytkettiin valaisimet.

8.2.1 Kannatintolpat

Kannatintolppien, jotka sijaitsivat 5...10 metrin etäisyydellä toisistaan, ei tarvinnut kestää suurta mekaanista rasitusta, joten niiden valinnassa päädyttiin $1\frac{1}{4}'' * 3\text{ mm} * 6000\text{ mm}$:n galvanoituun teräsputkeen.

Kannatintolpat kaivettiin maahan keskimäärin 60...70 cm:n syvyydelle, tuettiin pienillä kivillä ja valettiin betoniin. Putkien yläpää tulpattiin varmuudeksi muovitulpalla, jottei sadevesi pääsisi putken sisään ja pitkällä aikavälillä ruostuttaisi sitä.

Jokaisen kannatintolpan ympärille, noin 3,5 metrin korkeudelle, kiinnitettiin u-muotoisella putkikiristimellä 15 cm pitkä putkimainen muovieriste. Lamppuja kannattava teräslanka kiersi muovieristimen, joka esti galvaanisen yhteyden lamppuja kannattavan teräslangan ja lampputolpan välillä. Putkikiristin esti samalla teräslankaa liukumasta alas.

Putkikiristimet kiinnitettiin tolppiin noin 3,5 metrin korkeudelle, jotta teräslangassa riippuvat valaisimet eivät roikkuisi kannatintolppien välillä missään kohtaa kolmea metriä lähempänä maanpintaa.

8.3 Valaisimien valinta ja rakenne

Valaisinten rakenteen tuli olla kevyt, valoa alaspäin suurehkolla kulmalla suuntaava, kiinnitykseltään vakaa sekä edullinen. Valinnassa päädyttiin valaisimeen, johon yhdistettiin IP44-luokiteltu kojerasia sähköiseen kytkentään.

Valaisimien kiinnityksessä teräslankaan käytettiin muovisia nippusiteitä, joita kiinnitettiin kojerasian molemmin puolin sähkökaapelin ja teräslangan ympärille.

8.4 Eri lampputyypit

Valaisimiin liitettävien lamppujen tuli olla edullisia ja omata hyvä hyötysuhde. Tämän vuoksi vertailu kohdistui edulliseen hehkulamppuun, edulliseen ja energiaystävälliseen halogeenilamppuun sekä pienitehoisiin led- ja energiansäästölamppuihin.

Hehkulamppu

Hehkulampuissa käytetään valon tuottamiseen usein hyvin ohutta ja spiraaliksi kierrettyä volframilankaa (W). Hyvin lämpöä kestäväällä volframilla on metalleista korkein sulamispiste (3410 °C), joten se sopii hehkulangaksi erinomaisesti. (Oph.)

Lampun valo saadaan aikaan johtamalla sähkövirta sen hehkulankaan. Lampun synnyttämän valon laatuun voidaan vaikuttaa lisäämällä hehkulangan metalliseokseen muita metalleja, esimerkiksi neodyymiä (Nd). (Oph.)

Langan ollessa hyvin ohut ja pitkä, sen resistanssi on suurehko. Siksi lanka on kierretty spiraalin muotoon. Wolframilanka kuumenee sähkövirran kulkiessa sen läpi ja se alkaa hehkua. Tällöin hehkulangan metalliatomien lämpöliike voimistuu ja wolframiatomit virittyvät. Wolframilangan ollessa tarpeeksi kuuma, alkaa wolframiatomien viritystila purkautua, jolloin alkaa syntyä valokvantteja. Kemiallinen reaktio hehkulamputissa vältetään estämällä hapen pääsy hehkulankaan ja täyttämällä lampun lasikupu reagoimattomalla jalokaasulla, argonilla (Ar). (Oph.)

Syötetystä sähköenergiasta vain noin viisi prosenttia tuottaa valoa, lopun sähköenergian muuttuessa lämmöksi (Hehkulamppu).

EU-alueella hehkulamppuja ei enää vuoden 2012 syyskuun jälkeen ole valmistettu eikä maahantuotu, koska tarkoitus oli siirtyä pysyvästi energiatehokkaampiin lamppuihin (Noortrade).

8.4.1 Halogeenilamppu

Halogeenilamppu on täytetty halogeenikaasulla wolframilangan palamisen estämiseksi. Normaalikäyttöolosuhteissa wolframilangan lämpötila on n. 3200K ja toiminta-aika jopa kymmeniä tuhansia tunteja. Lampun tehon kasvassa myös sen toiminta-aika lyhenee. (Halogeenilamppu.)

Halogeenilampun tekniikka, ulkonäkö ja ominaisuudet ovat hyvin samantyyppiset kuin hehkulamput, mutta ne kuluttavat sähköä noin 30 % vähemmän kuin hehkulamput. Perinteiseen hehkulamppuun verrattuna niiden elinikä on noin kaksinkertainen. (Lampputieto.)

Kierrekantaisilla halogeenilampuilla eli halogeenihehkulamputta voidaan korvata hehkulamput käyttökohteissa, joihin energiansäästölamput tai ledit eivät sovellu. (Lampputieto.)

8.4.2 Led-lamppu

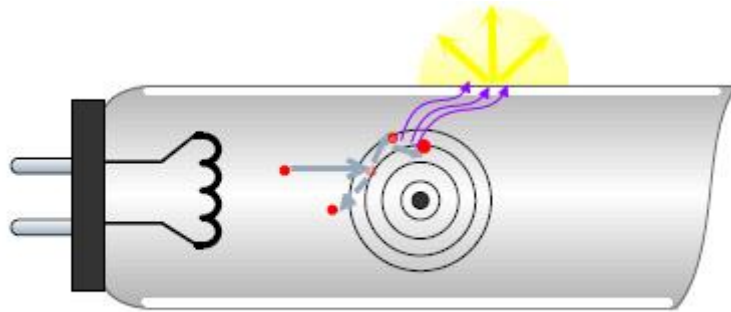
Nykyisin sekä kohde- ja korostusvalaistukseen että ulkovalaistukseen sopivia LED-lamppuja on saatavana useimpiin valaisinten kantatyyppeihin. (Led-lamppu.)

LED-lampuilla saavutetaan paras energiansäästö pienen energiankulutuksen ja erittäin pitkän käyttöikänsä ansiosta. LED-lamppujen polttoaika, n. 25 000 tuntia, on erittäin pitkä ja ne ovat hyvin energiatehokkaita. Ne sytyvät välittömästi, kestävät kymmeniätuhansia sytytyksiä eivätkä ne sisällä elohopeaa. (Led-lamppu.)

LED-lamppu on Balilla kalliimpi kuin loistelampputekniikkaan perustuva energiansäästölamppu (65 000 IDR vs. 28 000 IDR, 5/2014) tai halogeenilamppu, mutta käyttökustannuksiltaan se on edullisin, mikäli kustannuksia tarkastellaan ajanjaksolla joka kattaa lampun koko käyttöikänsä. (Led-lamppu.)

8.4.3 Loistelamppu

Loistelampun toiminta perustuu lampun päissä olevien elektrodien välissä tapahtuvaan sähköpurkaukseen (Kuva 10). Lasiputken sisällä on pienipaineista elohopeahöyryä, jonka atomien elektronit virittyvät eri energiatasoon törmättyään hehkutetuista katodista irtoaviin elektroneihin. Palatessaan takaisin alempaan energiatasoon elektroni luovuttaa energiaa ultraviolettisäteilynä, joka muuttuu näkyväksi valoksi lampun kuvun sisäpinnan loisteainekerroksessa. (Ensto.)



Kuva 11. Loistelampun toimintaperiaate (Ensto).

Loistelampun toiminnan edellytyksenä ovat lampun fyysiset mitat. Putken halkaisijan tulee olla pieni ja purkausvälin melko pitkä. (Ensto.)

Valontuottoon vaikuttaa sekä höyrystyneen elohopean määrä että lampun lämpötila. Tästä johtuen loistelampun valontuotto vaihtelee lampun lämpötilan mukaan. Tavallisessa loistelamputta paras valontuotto savutetaan n. 20 – 30 °C:een lämpötilassa. (Ensto.)

Rakenteensa perusteella loistelamput jaetaan

- suoriin, kaksikantaisiin putkiin
- yksikantaisiin pienoisloistelamppuihin
- kierrekantaisiin energiansäästölamppuihin.

Loistelamppu edellyttää toimiakseen sekä sytyttimen että virtaa rajoittavan kuristimen. Lisäksi kytkennässä on usein erillinen kompensointikondensaattori, jolla rajoitetaan virtapiirissä olevan kuristimen aiheuttamaa loisivirtaa. Elektronisessa liitäntälaitteessa kaikki em. komponentit ovat yhdistettynä. Energiansäästölamputta samat liitäntälaitteet ovat sijoitettuna lampun kantaan. (Ensto.)

Energiansäästölamput kestävät noin 10 kertaa pidempään kuin hehkulamput, kuluttavat 75 - 80 % vähemmän sähköä kuin hehkulamput, omaavat erittäin hyvän valotehokkuuden sekä sietävät jännitevaihteluita. (Energiansäästölamputta.)

Energiansäästölamput ovat parhaimmillaan yleisvalaistuksessa ja paljon valoa tarvitsevilla käyttökohteilla. Niitä ei pidä käyttää kohteilla, joissa

valoa joudutaan sytyttämään ja sammuttamaan lyhyellä aikavälillä. Energiansäästön kannalta energiansäästölamput ovat ulkovalaistuksessa parhaimmillaan. (Energiansäästölamppu.)

8.5 Lamppujen valinta

Lamppujen valinnassa huomio keskittyi käytännössä vain led-lamppuun sekä E27-kantaiseen loistelamppuun eli energiansäästölamppuun.

Molemmissa lamppuissa oli pieni tehonkulutus, joskin led-lampun etuina energiansäästölamppuun nähden olivat pidempi käyttöikä (45 000 h vs. 8 000 h) sekä samantehoista energiansäästölamppua suurempi valon määrä (300 lumen vs. 240 lumen).

Led-lampun ainoana negatiivisena seikkana oli sen hankintahinta (65 000 IDR vs. 28 000 IDR), joka tässä tapauksessa oli riittävä, koska siten valinta kohdistui energiansäästölamppuun.

8.6 Kaapelit

Määrittäessä kaapelin sisältämien johtimien aiheuttaman tehohäviön P_{johdin} suhdetta johtimien kautta siirrettyyn kokonaistehoon $P_{kok.teho}$, saadaan prosentuaalinen arvo laskettua yhtälöstä:

$$Tehohäviö_{johdin}[\%] = \frac{P_{johdin}}{P_{kok.teho}} * 100 \% \quad (12)$$

Teho $P_{kok.teho}$ voidaan laskea yhtälöstä (Mäkelä ym, 2010, 120):

$$P = U * I_{johdin} \therefore I = \frac{P}{U} \quad (13)$$

Tällöin jännitteen U arvo on sama kuin kytkennän jännite. Laskettaessa johtimen tehohäviötä $P_{johdinhäviö}$, tarvitaan tiedot johtimen kautta kulkevan virran ja johtimessa tapahtuvan jännitehäviön suuruuksista:

$$P_{johdinhäviö} = U_{johdinhäviö} * I_{johdin} \quad (14)$$

Johtimen jännitehäviöön $U_{johdinhäviö}$ pääsemme käsiksi, kun tunnemme johtimessa siirrettävän virran ja johtimen resistanssin suuruudet (Mäkelä ym, 2010, 120):

$$U_{johdinhäviö} = R_{johdin} * I_{johdin} \quad (15)$$

Yhdistettäessä em. yhtälö johtimen tehohäviön yhtälöön, saamme:

$$P_{johdinhäviö} = R_{johdin} * I_{johdin} * I_{johdin} = I_{johdin}^2 * R_{johdin} \quad (16)$$

Koska

$$I_{johdin}^2 = \left(\frac{P_{kok.teho}}{U} \right)^2 \quad (17)$$

niin

$$P_{johdinhäviö} = \left(\frac{P_{kok.teho}}{U} \right)^2 * R_{johdin} \quad (18)$$

Johtimen resistanssi R_{johdin} lasketaan yhtälöstä (Mäkelä ym, 2010, 120):

$$R = (\rho_0 * l / A) * (1 + \alpha * (T - T_0)) \quad (19)$$

, jossa

R = johtimen resistanssi [Ω]

ρ_0 = johdinmateriaalin ominaisresistiivisyys [Ωm]

l = johtimen pituus [m]

A = johtimen poikkipinta-ala [m^2]

α = lämpötilakerroin [1/K]

T_0 = lämpötila, jossa johdinmateriaalin ominaisresistiivisyys on määritetty [K]

T = lämpötila, jossa johtimen resistanssi määritetään

Edellä olevista yhtälöistä voidaan johtaa johtimen poikkipinta-alan A määrittävä yhtälö:

$$A = \frac{\rho_0 * 2 * l * \left(\frac{P_{kok.teho}}{U} \right)^2 * (1 + \alpha * (T - T_0) K)}{P_{kok.teho} * Tehohäviö_{johdin} [\%] / 100 \%} \quad (20)$$

Yhtälössä johtimen tehohäviö ilmoitetaan prosentteina, kerroin 2 johtuu kaapelin kahdesta johtimesta, vaihe- ja nollajohtimista ja lämpötila ilmaistaan Kelvin-asteina. Lämpötilaero voidaan ilmaista ja laskea myös Celsius-asteina, koska lämpötilaero on sama molemmassa asteikoissa.

8.6.1 Kaapelit aurinkopaneelilta lataussäätimelle

Laskettaessa kaapelin minimipoikkipinta-alaa, käytetään kaapelissa siirrettävän sähkötehon arvona paneelilta saatavan maksimitehon arvoa ja vastaavasti jännitteenä paneelien sarjaankytkennän suurinta arvoa.

Kaapeleiden pituus on latausjärjestelmän kokonaiskaapelipituuteen verrattuna pitkä ja jännite korkeahko jolloin tehohäviön maksimiarvoksi asetetaan 2 %.

$$A = \frac{1,68 * 10^{-8} \Omega m * 2 * 7 m * \left(\frac{750 W}{115 V}\right)^2 * (1 + 0.0039 \frac{1}{^\circ C} * (323 - 293) K)}{750 W * 2 \% / 100 \%} \quad (21)$$

Yhtälöstä saadaan kaapelin minimipoikkipinta-alaksi $0,7 \text{ mm}^2$. Laitteisto-toimittajan toimittama kaapeli ko. kohteeseen oli 6 mm^2 .

8.6.2 Kaapelit lataussäätimeltä akustoon

Lataussäädin sijaitsee tuuletetussa kotelossa ja kaapelit akustoon kulkevat galvanoidun teräspylvään sivua pitkin. Tällöin voi pylvään ja samalla kaapelin lämpötila päivän aikana nousta korkeaksi ja pysyä pitkään korkealla auringonlaskun jälkeenkin, päiväaikaan teräkseen varastoituneen lämpöenergian vaikutuksesta.

Lataussäätimen ja akuston välinen kaapelin mitoituksessa on huomioitava, että käytettäessä MPPT-lataussäädintä voi säädin ladata akkuja aurinkopaneeleista saatavalla maksimiteholla.

Latausjännite on AGM-akkujen osalta suurimmillaan noin 28 V.

Kaapeleiden pituus on kokonaiskaapelipituuteen verrattuna lyhyt ja jännite matala, joten tehohäviön maksimiarvoksi asetetaan 1 %.

$$A = \frac{1,68 * 10^{-8} \Omega m * 2 * 2 m * \left(\frac{750 W}{28 V}\right)^2 * (1 + 0.0039 \frac{1}{^\circ C} * (313 - 293) K)}{750 W * 1 \% / 100 \%} \quad (22)$$

Kaapelin poikkipinta-alaksi saadaan yhtälöstä $7,4 \text{ mm}^2$. Laitteistotoimittajan toimittama kaapeli ko. kohteeseen oli 16 mm^2 .

8.6.3 Kaapelit akustolta invertterille

Akustolta otettava sähköteho sisältää lamppujen, lamppujen välisen kaapeloinnin sekä invertterin tehohäviöt ja niistä muodostuu $P_{\text{akku}} = 225 \text{ W}$.

Kaapeleiden pituus on kokonaiskaapelipituuteen verrattuna lyhyt ja jännite matala jolloin tehohäviön maksimiarvoksi asetetaan 1 %.

$$A = \frac{1,68 * 10^{-8} \Omega m * 2 * 2 m * \left(\frac{225 W}{24 V}\right)^2 * (1 + 0.0039 \frac{1}{^\circ C} * (313 - 293) K)}{200 W * 1 \% / 100 \%} \quad (23)$$

Kaapelin poikkipinta-alaksi saadaan yhtälöstä $3,2 \text{ mm}^2$. Laitteistotoimittajan toimittama kaapeli ko. kohteeseen oli 32 mm^2 .

8.6.4 Kaapelit invertteriltä kuormaan

Mitoitettaessa kaapelia invertteriltä lamppuille, on kaikkien lamppujen ajateltu sijaitsevan kaapelin toisessa päässä, invertterin sijaitessa vastaavasti toisessa. Tosiasiassa näin ei ole, vaan lamput on kytketty kaapeliin epämääräisten välimatkojen päähän toisistaan ja näin ollen virta kaapelin alkupäässä on suurempi kuin loppupäässä.

Koska koko kaapelointi tehdään käytännössä kuitenkin samalla kaapelikoolla, antaa mitoitus tulos kaapelin poikkipinta-alan suurimman mahdollisen kuormituksen mukaan.

Kaapeleiden pituus on kokonaiskaapelipituuteen verrattuna hyvin pitkä, vaikka jännite on korkea, jolloin tehohäviön maksimiarvoksi asetetaan 5 %.

$$A = \frac{1,68 * 10^{-8} \Omega m * 2 * 100 m * \left(\frac{200 W}{230 V}\right)^2 * (1 + 0.0039 \frac{1}{K} * (293 - 293) K)}{200 W * 5 \% / 100 \%} \quad (24)$$

Johtimen poikkipinta-alan tulokseksi saatiin $0,25 \text{ mm}^2$.

Mitoituksessa haluttiin huomioida myös tulevaisuuden tarpeet, mikäli aurinkopaneelijärjestelmästä saatavan sähköenergian tehoa nostetaan ja käytetään myös muuhun tarkoitukseen kuin polkujen valaistukseen (esim. toimisto ja keittiö). Tällöin kulutus kasvaa, lämpötila johtimessa voi nousta helposti yli suunnitellun, käyttöajankohdan muuttuessa aiemmaksi.

Johtimen poikkipinta-alaksi valittiin $2,5 \text{ mm}^2$ ja kaapeliksi valittiin MSK 2*2,5 300V/500V.

8.7 Laitteiston kotelointi

Laitteisto, joka muodostui lataussäätimestä, invertteristä, ylivirtasuojista ja kellokytkimestä, sijoitettiin lukittavaan muovikoteloon. Muovikotelo sijaitsi aurinkopaneelitelineen teräsputkirungon kylkeen hitsatuissa kiinnitystangoissa.

Muovikotelo oli alkujaan vedenpitävä, kahdella solkilukolla suljettava ABS-muovikotelo. Koteloon pohjaan tehtiin tuulettimen kohdalle ilmanottoaukko ja molemmille sivuille ilmanpoistoaukot, jotka varustettiin alumiinisella vesilipalla, sadeveden sisäänvirtauksen estämiseksi.

Muovikotelo varustettiin lisäksi vaijerilukolla, estämään asiattomien henkilöiden pääsyn laitteistoon.

9 POHDINTAA

Aurinkoenergian suurimpina ongelmina voitaneen pitää sen jaksottaista lataustoimintaa (päivä), kaupallisten aurinkopaneelien alhaista hyötysuhdetta (n. 20 %) sekä kallista hankintahintaa.

9.1 Taloudellinen tarkastelu

Järjestelmän laitteiston ostohinta oli n. 3325 \$ \approx 33 250 000 IDR. Mikäli akusto korvattaisiin verkkoinvertterillä, jonka hankintahinta olisi ollut sama kuin akustolla, n. 1250 \$ \approx 12 500 000 IDR, olisi järjestelmän laitteiston ostohinta pysynyt alkuperäisenä (33 250 000 IDR).

Tarkasteltaessa taloudellisesti järjestelmän aiheuttamia kuluja ja mahdollisia säästöjä, ottaen huomioon mm. sähkön hintamuutokset ko. aikavälillä, päädytään laskennallisesti seuraavaan lopputulokseen; mikäli aurinkopaneelijärjestelmässä käytetään kuormana 40:ää energiansäästölamppua kuuden tunnin ajan vuorokaudessa, kukin teholtaan 5W, kuluu sähköenergiaa vuodessa:

$$E_{lampu} = 40 * 5 W * 6 \frac{h}{d} * 365 \frac{d}{a} = 438 kWh/a \quad (25)$$

Sähkön hintatason ollessa Balilla 200 000 IDR / 164,1 kWh (liite 10.6), tarkoittaa se käytännössä, että vuodessa ko. sähköenergiamäärään kului:

$$K_{lampu} = 438 \frac{kWh}{a} * \frac{200\,000 IDR}{164,1 kWh} = 533\,820 \frac{IDR}{a} \quad (26)$$

$$\approx 534\,000 \frac{IDR}{a}$$

Aika, joka kuluisi järjestelmän laitteiston hinnan (3325 \$ \approx 33 250 000 IDR) kuoletuksien, mikäli sähköenergian hinta pysyisi muuttumattomana:

$$T_{kuoletus} = \frac{33\,250\,000 IDR}{534\,000 IDR/a} = 62,3 a \quad (27)$$

Indonesian teollisuus- ja kotitaloussähkön hintojen nousu vaikuttaa oleellisesti aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaikaan. Indonesian teollisuudelle sähkön hinta on noussut vuosien 2004 ja 2014 välisenä aikana 121...179 %, tariffista riippuen (Ahk, 9). Myös kotitalouksien sähköenergian pitkäaikainen hintakehitys seuraa teollisuuden hintakehitystä, ollen vuosien 2001 ja 2008 välisenä aikana noin 140 % (Knoema). Kotitalouksien sähkön hinta kehittyy nykyisin hyvinkin nopeasti ja suurin harppauksin. Vuonna 2013 sähkön hinta nousi neljännesvuosittain 4,3 % (Indonesia Investments).

Vertailutietoina sähköenergian hintamuutostarkastelussa on käytetty sähköenergian hintatietoja EU:sta. Sähköenergian hinnan kehittyminen EU:n 27 jäsenvaltiossa (tarkasteluväli 2005 - 2014) on myös ollut kasvava.

Taulukko 3. Sähköenergian hinnan kehittyminen EU:n 27 jäsenvaltiossa vv. 2005 - 2014 (Eurostat).

Vuosi	Hinta [€/kWh]	Muutos edellisvuoteen [%]	Muutos vuodesta 2005 [%]
2005	0,1336		
2006	0,1397	4,57	4,57
2007	0,1530	9,52	14,52
2008	0,1586	3,66	18,71
2009	0,1643	3,59	22,98
2010	0,1677	2,07	25,52
2011	0,1801	7,39	34,81
2012	0,1886	4,72	41,17
2013	0,1998	5,94	49,55
2014	0,2053	2,75	53,67

Seuraavassa tarkastellaan, mitä oletettu kymmenen prosenttiyksikön vuotuinen kasvu (Korko, 7) valtion sähköverkosta ostetun sähköenergian hinnassa aiheuttaisi koko aurinkopaneelijärjestelmän oletetun 25 vuotisen elinkaaren aikana:

$$\sum_{n=1}^{25} ((1 + 0,10)^n * 534\,000 \text{ IDR}) = 57\,769\,063 \text{ IDR} \quad (28)$$

Määritettäessä samalla periaatteella järjestelmän takaisinmaksuaikaa, saadaan ajaksi (n) 20 vuotta. Mikäli sähköenergian vuotuinen hintatason nousu olisi viisitoista prosenttiyksikköä, saataisiin järjestelmän takaisinmaksuajaksi (n) vastaavasti 16 vuotta. Käytännössä liikuttaneen em. korkoprosenttien välillä.

Laskuissa on oletettu, että korjaus- ja huoltokustannuksia ei synny eikä sähköenergiaa osteta. Nämä ovat käytännössä täysin väärä olettamuksia, sillä vaikka itse latausjärjestelmä toimisikin ko. ajanjakson, täytyisi kallis akusto vaihtaa olosuhteista riippuen useasti. Lisäksi Balin ilmastossa esiintyy vuosittain noin kolmen kuukauden pituinen sadekausi joului-helmikuussa, jolloin aurinkotuntien määrä päivässä jää paljon keskimääräistä alhaisemmaksi. Tämä aiheuttaa aluksi järjestelmän vajaatoiminnan ja lopulta järjestelmän pysähtymisen johtuen akuston täydellisestä purkautumisesta.

Näinollen on selvää, että ko. järjestelmällä voidaan oikein mitoitettuna säästää kustannuksia. Etuna on lisäksi riippumattomuus valtion sähköverkosta ja sen ongelmista, aurinkoisina kuukausina.

Kun otetaan huomioon, että laskuissa käytetyt, kyseisen aurinkopaneelijärjestelmän hankintakustannukset ovat Balin todellisia kuluttajahintoja (n. 50 %) alhaisemmat, pitenee järjestelmän takaisinmaksuaika 10 %:n vuotuisella sähköenergian hinnannousulla 27 vuoteen ja 15 %:n hinnannousulla 21 vuoteen.

Takaisinmaksuajan pidentyessä tulee tarkoin laskea, onko aurinkopaneeli-järjestelmän hankinnalle taloudellisia perusteita, koska myöhemmin uusittavan akuston hinta nousee kokonaiskustannuksia. Mikäli aurinkopaneeli-järjestelmän hankintaan hyvin pitkällä takaisinmaksuajalla päädytään, ovat syyt tällöin enemmänkin eettiset kuin taloudelliset. Otettaessa lisäksi huomioon komponenttien tuotannossa syntyneet ympäristöpäästöt sekä tuotteiden elinkaaren lopussa syntyvä SER-jäte että vaarallinen jäte, saattaa eettisyyskin olla koetuksella.

9.2 Kohteen CO₂ – päästöjen tarkastelu

Valaisinjärjestelmän (teoreettisen) energiantarpeen ollessa em. 438 kWh/a, syntyisi fossiilisen polttoaineen käytöllä hiilidioksidia:

$$438 \frac{kWh}{a} * 755 \frac{g CO_2}{kWh} = 330\,690 \frac{g CO_2}{a} \approx 331 \frac{kg CO_2}{a}$$

Syntyneen hiilidioksidin määrä on suoraan verrannollinen käytettyyn energiamäärään, joten jokainen aurinkosähköenergialla tuotettu kWh vähentää ilmaston CO₂-kuormitusta 755 g. Määrä vaikuttaa yksittäisessä tapauksessa pieneltä, mutta kohteen ollessa esim. päiväaikaan toimivassa teollisuudessa, jossa aurinkosähköenergian tarve ja samalla tuotto ovat kymmeniä ja jopa satoja kertoja suurempia, kertautuvat vastaavasti myös CO₂-päästöjen alenemat.

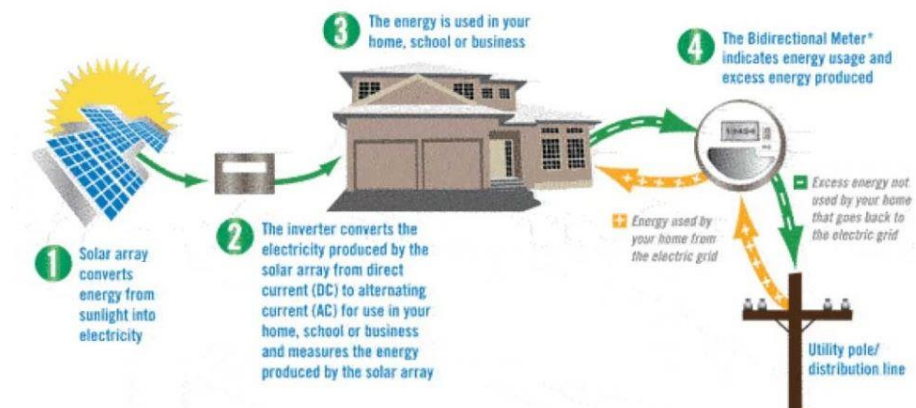
Balin sähköenergiasta suurin osa käytetään saaren eteläosassa, johon turismi on keskittynyt (Icrepq, 1). Kun lisäksi lähes puolet (n. 46 %) Balin nykyisestä sähkönkulutuksesta aiheutuu kaupallisesta toiminnasta, voidaan päätellä hotellien ja ostoskeskusten viilentävien ilmastointilaitteiden aiheuttavan suuren osan kulutuksesta (INO, 9). Tämä on luonnollinen seuraus yritysten kilpaillessa turisteista, mutta aiheuttaa samalla kestävämmän tilanteen maan alimitoitetulle sähköntuotannolle (JakartaPost. 2014; BaliDiscovery, 2010).

Balilla on käytettävissään valtavat resurssit uusiutuvan auringonsäteilyn suhteen. Siksi hallituksen yhtenä mahdollisuutena olisi tukea uusiutuvan aurinkoenergian käyttöä kohteissa, joissa sen käyttö olisi taloudellisesti ja määrällisesti kannattavaa. Ongelman muodostanee se, että myönnettyt tuet menisivät aurinkoenergiayhtiöille ja valtion omat tulot sähköenergiasta vastaavasti vähenisivät.

9.3 Muita aurinkosähkön käyttövaihtoehtoja

Etäällä sähköverkoista sijaitseviin tai muuten niihin kytkeytymättömiin kotitalouksiin sopii akustoon varaava aurinkopaneelijärjestelmä, koska normaali kotitalouksien sähköntarve ilmenee joko aikaisin aamulla tai myöhään iltapäivällä, jolloin auringon säteilyteho on luonnollisesti päiväaika huomattavasti alhaisempi.

Kotitalouksien toinen toimintamalli, mikäli niiden on mahdollista kytkeytyä sähköverkkoon, on kuvattu kuvassa 12. Periaatteena on myydä päiväaikaan tuotettua sähköenergiaa sähköverkkoon ja ostaa sitä illalla tarvittava määrä takaisin. Järjestelmän hyötysuhde on akkuja lataavaa järjestelmää parempi, koska kaikki ylimääräinen sähköenergia johdetaan sähköverkkoon, eikä sähköenergiaa jää käyttämättä, kuten täysien akkujen tapauksessa tapahtuu. Ostaminen ja myyminen toteutetaan kiinteistössä sijaitsevalla verkkoinvertterillä ja sähköenergiamittarilla, joka rekisteröi verkkoon johdetun ja verkosta otetun sähköenergian määrät. Toimintamalli on edullinen kotitalouksille, koska ne saavat ostaessaan suuremman sähköenergiamäärän käyttöönsä kuin ovat sähköverkkoon myydessään tuottaneet. Kuvatulla järjestelmällä kotitalouden on mahdollista olla sähköenergian suhteen nettomäärältään ”zero-energy-house”. (ContainedEnergy.)



Kuva 12. Aurinkosähkön suorakäyttömalli (ContainedEnergy).

Myös Balin teollisuudelle aurinkosähköenergian välitön käyttöönotto soveltuu hyvin. Tällöin tuotettu sähköenergia voidaan käyttää heti, ylijäämä myydä sähköverkkoon, ilman välivarastointia akustoon ja mahdollinen alijäämä ostaa sähköverkosta. Teollisuudelle em. toimintamalli maksaisi myös investoinnit nopeasti takaisin, koska suurten järjestelmien hinta /teho-suhde on pieniä järjestelmiä edullisempi.

Kotitalouksien kolmas toimintamalli on yhdistelmä kahdesta edellisestä. Siinä kotitalous sekä kytkeytyy sähköverkkoon että lataa omaa akustoaan. Tällöin saavutetaan (osittainen) riippumattomuus valtion sähköverkosta eikä aurinkopaneeleilla tuotettua sähköenergiaa jää käyttämättä.

9.4 Rakennetun järjestelmän kehittäminen

Sähköverkkoon kytkeytymisen eli sähkön myynnin ja oston lisäksi järjestelmän kehittämiseksi voidaan led- ja energiansäästölamppujen välisiä eroja vertaillen nähdä järkeväksi siirtyä vähitellen led-lamppuihin, johtuen niiden paremmista ominaisuuksista. Siirtyminen voisi tapahtua seuraavien lampunvaihtojen yhteydessä, jolloin led-lamppujen hankintahinta jakautuisi pidemmälle aikavälille.

Mielenkiintoista olisi tehdä koko aurinkopaneelijärjestelmän elinkaariarvio ja vertailla paljonko aurinkopaneelijärjestelmän komponenttien tuotannossa ja loppukäsittelyssä syntyy CO₂-päästöjä kuin syntyy normaalissa sähkön-tuotannossa samana ajanjaksona. Tällöin voitaisiin määritellä absoluuttisesti ympäristön kannalta minimi laitteistokoko, joka on kokonaisvaltaisesti laskettuna ympäristöä vähemmän kuormittava vaihtoehto kuin alueella normaalisti tuotettu sähköenergia vastaavana aikana.

LÄHTEET

Ahk

Viitattu 26.3.2015

http://indonesien.ahk.de/fileadmin/ahk_indonesien/Dokumente/PV_ongrid_2014/1_Rudolf_Rauch.pdf

Amonix

Viitattu 7.1.2015

<http://www.gizmag.com/amonix-solar-module-efficiency-record/24845/>

Aurinkopaneeli

Viitattu 24.5.2014

<http://www.aurinkopaneeli.org/aurinkopaneelin-toimintaperiaate/>

BaliDiscovery

Julkaistu 17.4.2010

Viitattu 28.2.2015

<http://www.balidiscovery.com/messages/message.asp?Id=5961>

Baliwise

Viitattu 25.5.2014

<http://www.baliwise.org/>

Batterystuff

Viitattu 8.7.2014

<http://www.batterystuff.com/kb/articles/battery-articles/gel-vs-agm.html>

Bhdcharger

Viitattu 8.7.2014

<http://bdchargers.com/batterytypes.php>

Boskalis

Viitattu 2.2.2015

http://www.boskalis.nl/uploads/media/Java-Bali_DEF.pdf

CO₂-raportti

Viitattu 5.2.2015

<http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>

ContainedEnergy

Viitattu 25.2.2015

<http://www.containedenergy.com/residential/pln-net-metering-indonesia/>

Differgroup

Viitattu 2.2.2015

http://www.differgroup.com/Portals/53/images/Indonesia_ove-rall_FINAL.pdf

Energia

Viitattu 24.5.2014

<http://www.ava.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>

Energiansäästölamppu

Viitattu 21.5.2014

<http://www.lamputieto.fi/lamput/lamputtyypit/energiansaastolamppu/>

Energiateollisuus

Viitattu 12.2.2015

http://energia.fi/sites/default/files/a_sahkontuotannon_kk_polttoaineet_joulukuu.pdf

Ensto

Viitattu 21.5.2014

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387481543/1228396910117.html>

Eopllysolar

Viitattu 26.5.2014

<http://www.eopllysolar.com/monocrystalline-solar-cell.html>

Eurostat

Viitattu 9.1.2015

<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00117&plugin=1>

EverExceedAGM

Viitattu 20.3.2014

<http://www.netiks.rs/images/stories/kratke-vesti/EverExceed/EverExceed-High-Rate-VRLA-AGM-baterije.pdf>

EverExceedGel

Viitattu 20.3.2014

http://www.mer-link.co.cr:8084/search/EP_SEJ_EXA257.jsp?cartelNo=20130200139&cartelSeq=00&cartelCate=1&biddocUnikey=D2013031415213213771363296092841B&reAdjuCnt=0

Exide 2009

Viitattu 7.7.2014

http://exide.fi.loopiadns.com/wp/wp-content/uploads/2009/05/Exide_fi_Teknisk_info.PDF

Flinkenberg

Viitattu 8.7.2014

http://www.flinkenberg.fi/batteries/material/concorde/concorde_esite.pdf

Geo

Viitattu 4.2.2015

<http://www.geo.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/otsoni/kasvihuone.html>

Halogeenilamppu

Viitattu 21.5.2014

<http://www2.physics.utu.fi/projects/kurs-sit/FFYS4291/Optinen%20instrumentointi%202011.pdf>

Hehkulamppu

Viitattu 21.5.2014

<http://www.lamputieto.fi/lamput/lamputyypit/hehkulamppu/>

Icrepq

Viitattu 10.2.2015

<http://www.icrepq.com/icrepq%2713/584-giriantari.pdf>

IEA

Viitattu 2.2.2015

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2emissionsfromfuelcombustionhighlights2013.pdf>

Ilmasto

Viitattu 4.2.2015

<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos>

Ilmastonmuutos

Viitattu 5.2.2015

http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=5bc120e6-29a1-4400-af7f-43e0a205d173&groupId=30106

Ilmatieteenlaitos

Viitattu 4.2.2015

<http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-mittaus>

Independent 2011

Julkaistu 1.2.2011

Viitattu 7.1.2015

<http://www.independent.co.uk/environment/worlds-most-efficient-solar-cells-ready-for-use-in-the-uk-2200508.html>

Indonesia Investments

Viitattu 26.3.2015

<http://www.indonesia-investments.com/news/todays-headlines/indonesias-electricity-tariffs-raised-to-curb-energy-subsidy-spending/item1160>

Indonesiapower

Viitattu 2.2.2015

<http://www.indonesiapower.co.id/Documents/ANNUAL%20REPORT%20PT%20INDONESIA%20POWER%202012.pdf#page=408&zoom=auto,-101,427>

INO

Viitattu 2.2.2015

<http://www.adb.org/sites/default/files/project-document/73504/42362-013-ino-eia-draft.pdf>

Invertteri

Viitattu 8.7.2014

<http://www.solar-facts.com/inverters/how-inverters-work.php>

Invertteri2

Viitattu 8.7.2014

<http://www.solar-facts.com/inverters/inverter-efficiency.php>

JakartaPost

Julkaistu 14.8.2014

Viitattu 28.2.2015

<http://www.thejakartapost.com/news/2014/08/14/java-bali-face-power-crisis-soon.html>

Kasvihuonekaasut

Viitattu 5.2.2015

<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/kasvihuonekaasut>

Knoema

Viitattu 26.3.2015

<http://knoema.com/EIAIES2014Aug/international-energy-statistics-august-2014>

Korko

Viitattu 9.1.2015

<http://cc.oulu.fi/~tvedenju/talousmatematiikka/files/handouts/slides2.pdf>

Lampputieto

Viitattu 21.5.2014

<http://www.lampputieto.fi/lamput/lampputyypit/halogenilamppu/>

Led-lamppu

Viitattu 21.5.2014

<http://www.lampputieto.fi/lamput/lampputyypit/led-lamput/>

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S., Öistämö, J. 2010 lokakuu. Tekniikan kaavasto. 9. painos. Tammertekniikka. ISBN 978-952-5491-48-7

Navimare

Viitattu 7.7.2014

http://www.navimare.fi/product_catalog.php?c=91

Nicholas, John. President Director. PT. Solar Power Indonesia. Haastattelu 5.3.2014

Noortrade

Viitattu 21.5.2014

http://www.noortrade.fi/files/Lamppuopas_2012-13.pdf

Oph

Viitattu 21.5.2014

<http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kirjasto/lamppu.html>

Planeetta

Viitattu 5.2.2015

<https://planeetta.wordpress.com/2008/03/31/kasvihuonekaasut/>

Rakennusyrietykset

Viitattu 26.5.2014

<http://www.rakennusyrietykset.fi/artikkelit/energia-lammitys-ja-ilmastointi/sahko/aurinkopaneelit/>

Repit

Viitattu 2.2.2015

<https://repit.wordpress.com/provinces/bali/>

Reps

Viitattu 3.4.2014

<http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>

Role

Viitattu 21.1.2015

<http://www.rolefoundation.org/>

Role2

Viitattu 6.2.2015

<http://www.rolefoundation.org/about/founder-and-board-management-2/role-foundation-australia/>

Role3

Viitattu

<http://www.rolefoundation.org/about/what-we-do/>

SourceWatch

Viitattu 2.2.2015

http://www.sourcewatch.org/index.php?title=Bali_and_coal

Spektri

Viitattu 21.5.2014

<https://uc.99kk.eu.org/0/?url=Z3ZzLmlmX211cnRjZXBzX01FQTMlZ-WxpRi9pa2l3L2dyby5haWRlbWlraXcuc25vbW1vYy8vQTMlcHR0aA==>

Suntekno

Viitattu 20.5.2014

<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Säteily

Viitattu 27.5.2014

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>

Tekniikkatalous

Julkaistu 7.5.2012.

Viitattu 7.1.2015

<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/lapikuultavat+aurinkopaneelit+kiinni+lasiin+ndash+ja+ikkunat+tuottavat+sahkoa/a806058>

Tilastokeskus

Viitattu 12.2.2015

http://tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_alue.html

Utu

Viitattu 4.2.2015

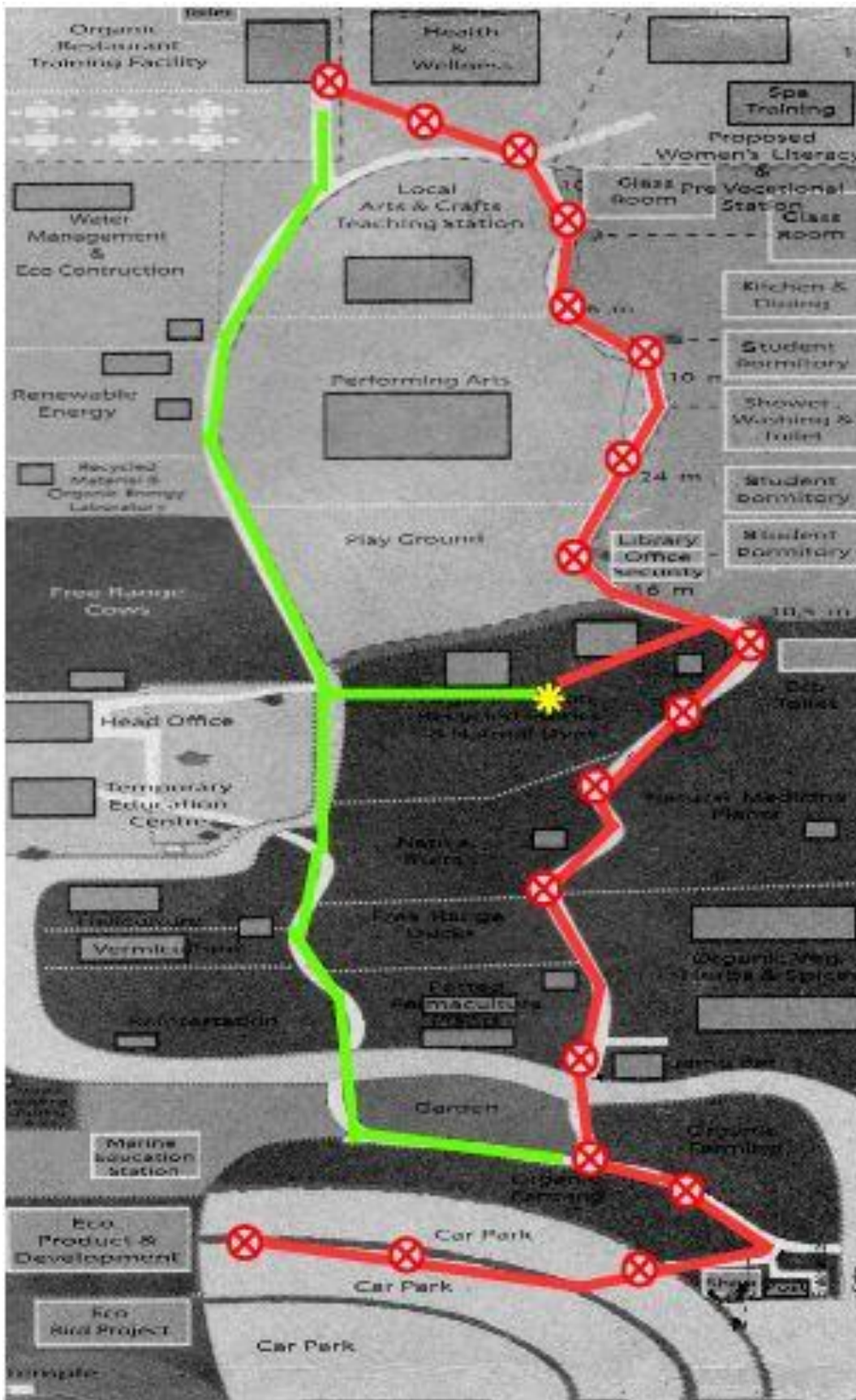
<http://www.astro.utu.fi/zubi/atmosph/greenh.htm>

World Atlas

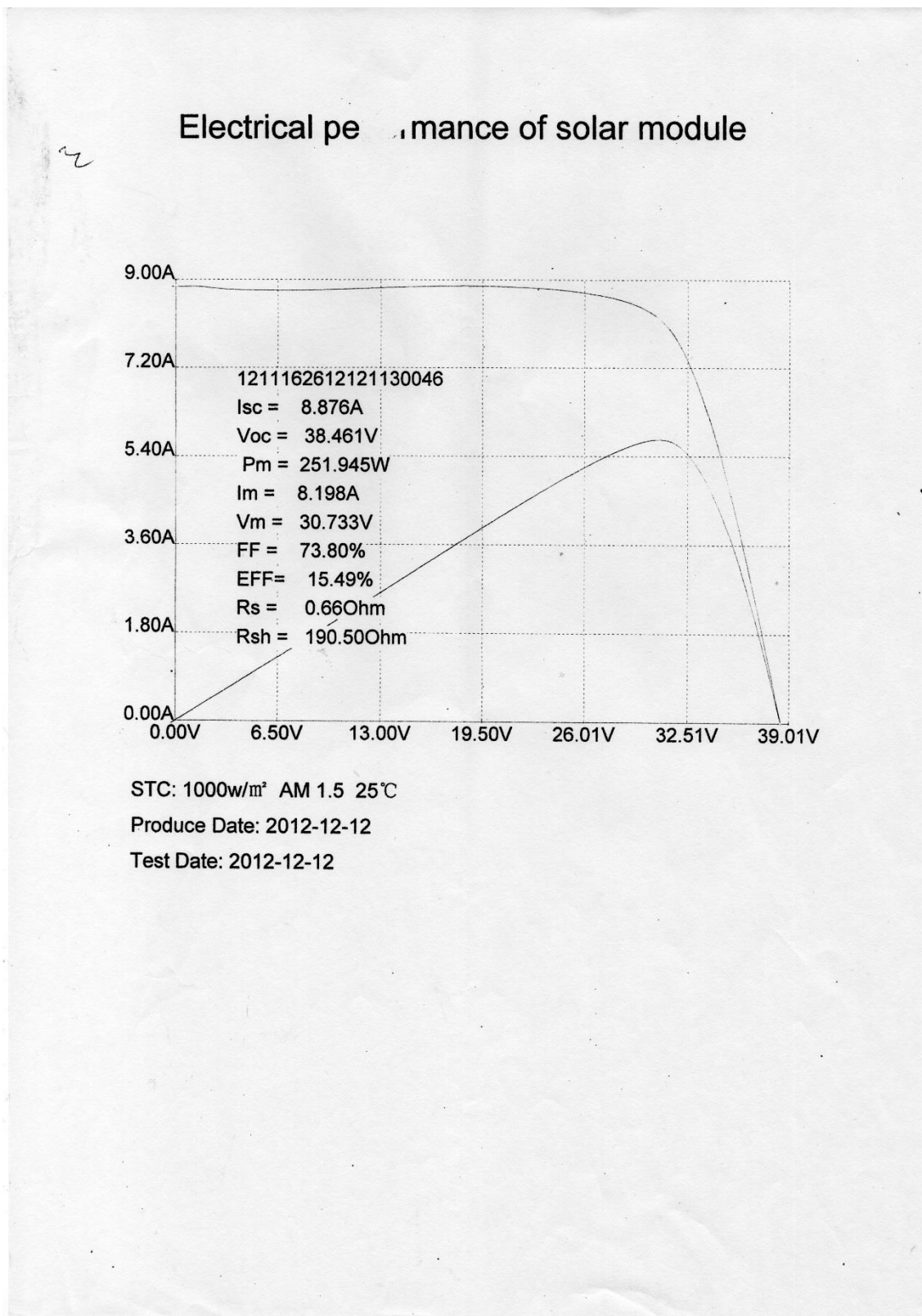
Viitattu 12.2.2015

<http://www.worldatlas.com/webimage/countrys/asia/bali.htm>

VALAISTAVAN POLUN KARTTA



AURINKOPANEELIN SÄHKÖISET OMINAISUUDET JA OMINAISKÄYRÄ



LATAUSSÄÄTIMEN TEKNISET JA SÄHKÖISET OMINAISUUDET

Efficient, Professional, Energy Saving

The charging voltage of battery type						
Battery Type	Bulk Voltage			Floating Voltage		
	12V	24V	48V	12V	24V	48V
Vented	14.2V	28.6V	57.2V	13.2V	26.4V	52.80V
Sealed	14.2V	28.6V	57.2V	13.4V	26.8V	53.60V
Gel	14.2V	28.6V	57.2V	13.7V	27.40V	54.80V
NiCd	14.2V	28.6V	57.2V	14.0V	28.0V	56.0V
Other	user-defined (Set by the microcomputer software)					

In the case battery type is not set , use the default battery type (Gel gel battery).

8. Technical Parameter

Model:I-P-MSC-DC12V/24V/48V-series		40A	50A	60A
Charge Mode	Maximum Power Point Tracking			
Method	3 stages: fast charge(MPPT),constant voltage, floating charge			
System Type	DC12V/24V/48V	Automatic recognition		
System Voltage	12V system	DC9V-DC15V		
	24V system	DC18V-DC30V		
	48Vsystem	DC36V-DC60V		
Soft Start Time	12V/24V/48Vsyste m	≤10S		
Dynamic Response Recovery Time	12V/24V/48Vsyste m	500us		
Conversion Efficiency	12V/24V/48Vsyste m	≥96.5%,≤99%		
PV Modules Utilization Rate	12V/24V/48Vsyste m	≥99%		
Input Characteristics				
MPPT Working Voltage and Range	12V system	DC18V-DC150V		
	24V system	DC34-DC150V		
	48V system	DC65-DC150V		
Low Voltage Input Protection Point	12V system	DC16V		
	24V system	DC30V		
	48V system	DC60V		

LATAUSSÄÄTIMEN TEKNISET JA SÄHKÖISET OMINAISUUDET

Efficient, Professional, Energy Saving

Low Voltage Input Recovery Point	12V system	DC22V		
	24V system	DC34V		
	48V system	DC65V		
Max DC Voltage	12V/24V/48V system	DC160V		
Input Overvoltage Protection Point	12V/24V/48V system	DC150		
Input Overvoltage Recovery Point	12V/24V/48V system	DC145V		
Max. PV Power	12V system	570W	700W	900W
	24V system	1130W	1400W	1700W
	48V system	2270W	2800W	3400W
Output Characteristics				
Selectable Battery Types (Default type is GEL battery)	12V/24V/48V system	Sealed lead acid, vented, Gel, NiCd battery (Other types of the batteries also can be defined)		
Constant Voltage	12V/24V/48V system	Please check the charge voltage according to the battery type form.		
Floating Charge Voltage	12V/24V/48V system			
Over Charge Protection Voltage	12V system	14.6V		
	24V system	29.2V		
	48V system	58.4V		
Rated Output Current	12V/24V/48V system	40A	50A	60A
Current-limiting Protection	12V/24V/48V system	44A	55A	66A
Temperature Factor	12V/24V/48V system	±0.02%/°C		
Temperature Compensation	12V/24V/48V system	14.2V-(The highest temperature-25°C)*0.3		
Output Ripples(peak)	12V/24V/48V system	200mV		
Output Voltage Stability Precision	12V/24V/48V system	≤±1.5%		
Display				
LCD display	Input, output parameter and output power etc (check the LCD display instruction)			
LED display	3 LEDs indicates: Fault indicate light, charge indicate light, power source indicate light(check the LED instruction)			

LATAUSSÄÄTIMEN TEKNISET JA SÄHKÖISET OMINAISUUDET

Efficient, Professional, Energy Saving

Software Control through PC(communication port)	RS232 (matching) or LAN(optional)
Protection	
Input Low Voltage Protection	Check the input characteristics
Input Overvoltage Protection	Check the input characteristics
Input Polarity Reversal Protection	yes
Output Overvoltage Protection	Check the output characteristics
Output Polarity Reversal Protection	yes
Short-circuit Protection	Recover after eliminating the Short-circuit fault, no problem for long term Short-circuit
Temperature Protection	95 °C
Temperature protection	Above 85 °C ,decrease the output power, decrease 3A per degree.
Other Parameters	
Noise	≤40dB
Thermal methods	Forced air cooling, fan speed rate regulated by temperature, when inner temperature is too low, fan ran slowly or stop; when controller stop working, fan also stop ran.
Components	World brand raw materials. Compliance with EU standards. All rated temperature of electrolytic capacitors not less than 105 °C
Smell	No peculiar smell and toxic substances.
Environment Protection	Meet the 2002/95/EC,no cadmium hydride and fluoride
Physical	
Measurement DxWxH (mm)	270*185*90
N.G(kg)	3
G.N(kg)	3.6
Color	Blue/Green (optional)
Safety	CE, RoHS, PSE,FCC
EMC	EN61000
Type of Mechanical Protection	IP21
Environment	
Humidity	0-90%RH (no condense)
Altitude	0-3000m
Operating Temperature	-20°C ~ +40 °C
Storage Temperature	-40°C ~ +75 °C
Atmospheric Pressure	70-106kPa

INVERTTERIN SÄHKÖISET OMINAISUUDET

STUDER Innotec**AJ****Technical data**

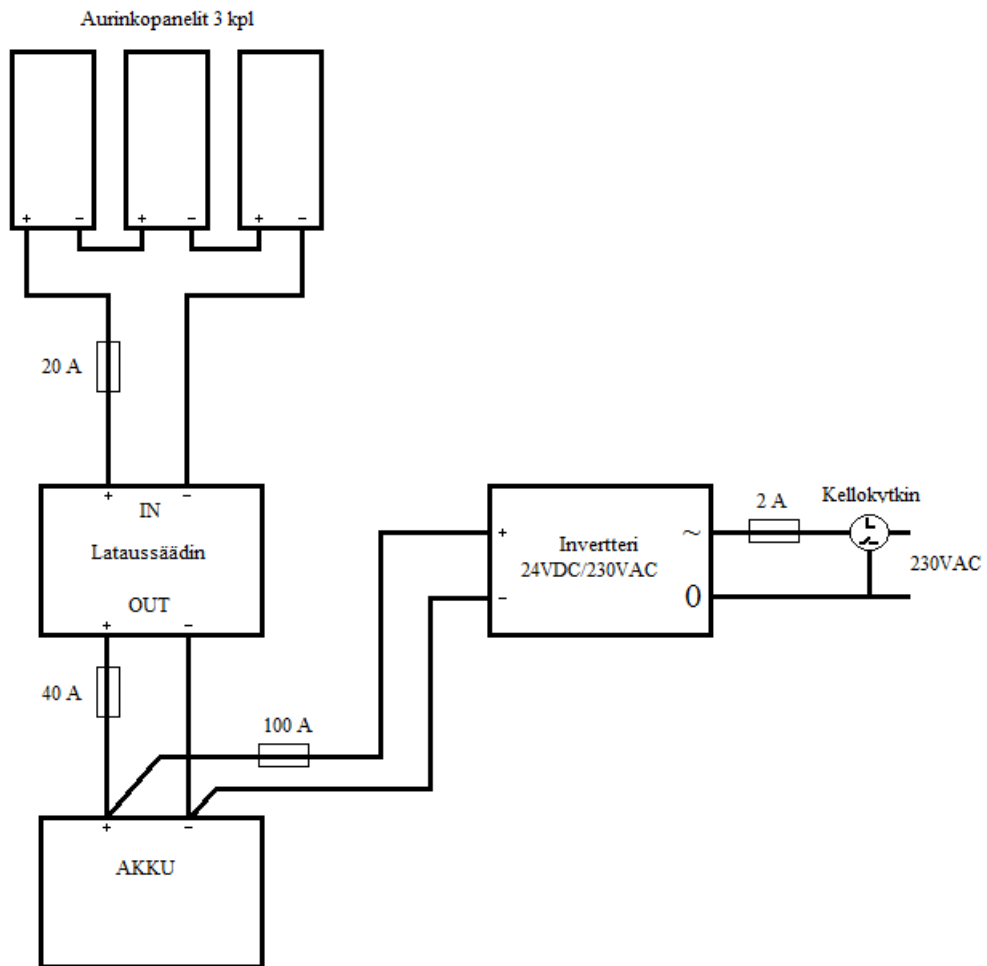
MODEL	AJ 275	AJ 350	AJ 400	AJ 500	AJ 600	AJ 700
Battery voltage (V)	12	24	48	12	24	48
Input voltage (V)	10.5 - 16	21 - 32	42 - 64	10.5 - 16	21 - 32	42 - 64
Continuous / 30' power (VA)	200/275	300/350	300/400	400/500	500/600	500/700
Stand-by / ON @ no load (W)	0.3*/1.9	0.3*/3.3	0.4*/5	0.3/3.8	0.4/8.5	1/10
Maximum efficiency (%)	93	94	94	93	94	94
Dim. 142 x 84 x L (mm) L=	163			252		
Weight (kg)	2.4	2.6	2.6	4.5		
Remote control plug (RCM-01)	Option			Option		
Load detect. (Stand-by) 1-20 W	with option S			V		
Solar charge controller (-S)	10A			15A		

MODEL	AJ 1000	AJ 1300	AJ 2100	AJ 2400
Battery voltage (V)	12	24	12	24
Input voltage (V)	10.5 - 16	21 - 32	10.5 - 16	21 - 32
Continuous / 30' power (VA)	800/1000	1000/1300	2000/2100	2000/2400
Stand-by / ON @ no load (W)	0.3 / 9	0.4 / 10	0.5 / 13	0.4 / 18
Maximum efficiency (%)	93	94	92	94
Dim. 142 x 84 x L (mm) L=	428		273 x 399 x 117	
Weight in kg. (approx.)	8.5		19	18
Remote control (JT8)	Option		Option	
Load detect. (Stand-by) 1-20 W	v		V	
Solar charge controller (-S)	25A		30A	

Output voltage	Sine wave 230V 0/-10% (115V 0/-10%)
Frequency	50 Hz +/- 0.05 % (60 Hz +/- 0.05%)
Ventilation	From 45° C
Overheating protection	v
Overload protection	v
Short circuit protection	v
IP protection index	IP 30 (AJ 2100-2400 = IP 20)
Cos φ	0.1-1
E norm (ECE-R 10)	All models in 12 and 24V are certified

* Stand-by supplied along with the option -S (solar charge controller)

AURINKOPANEELIEN SÄHKÖINEN KYTKENTÄ



SÄHKÖENERGIAN PRE-PAID-OSTOKUITTI

CALVIN CELL 9833805
Authorized PT POS INDONESIA (PERSERO)
Tanggal : 2014-06-24 07:33:33
No.Resi : 9833805-01/2014/000181 Petugas : 683380501

TANDA TERIMA
PLN PREPAID

STRUK PEMBELIAN LISTRIK PRABAYAR

NO METER : 14033104010
ID PEL : 551200944103
NAMA : I KETUT SUCITRA
TARIF/DAYA : R2/5500 VA
JKP REF : OPOS21D16CD57AC54541FAAC6C
ADMIN POS : Rp. 1.900
METERAI : Rp. 0,00
PPN : Rp. 0,00
PPJ : Rp. 9.434,00
ANGSURAN : Rp. 0,00
RP STROOM/TOKEN : Rp. 188.666,00
JML KWH : 164,1
RP BAYAR : Rp. 200.000

STROOM / TOKEN : 1969 5600 2608 1615 3473

Informasi Hubungi Call Center 123 Atau hubungi PLN Terdekat