



Mikko Nieminen

AURINKOENERGIATEKNOLOGIASELVITYS

AURINKOENERGIATEKNOLOGIASELVITYS

Mikko Nieminen
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma, elektroniikkasuunnittelu ja -testaus

Tekijä: Mikko Nieminen

Opinnäytetyön nimi: Aurinkoenergiateknologiaselvitys

Työn ohjaaja: Ensio Sieppi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012

Sivumäärä: 36

Opinnäytetyön lähtökohtana oli vertailla akkuteknologioita, aurinkopaneeleita ja latauspiirejä sekä toteuttaa valitulla latauspiirillä aurinkoenergiaa hyödyntävän laturin prototyyppi. Työn lopputuloksena oli tarkoitus saada toimiva kokonaisuus valituista komponenteista.

Työn alussa käytiin läpi aiheeseen liittyvää teoriaa ja perehdyttiin olemassa oleviin teknologioihin kustakin osa-alueesta. Parhaiten soveltuvat teknologiat valittiin yhdessä yrityksen edustajan kanssa. Prototyyppilaturin piirilevy suunniteltiin Cadsoft Eagle 5.0 -ohjelmistolla.

Työn tuloksena saatiin koottua valituista komponenteista toimiva toteutus. Toteutukselle päästiin tekemään alustavia testejä ja testausta jatkettaneen yrityksessä.

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkopaneelit, akkuteknologia, latauspiirit

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Information Technology and Telecommunications, Electronics Design and
Testing

Author(s): Mikko Nieminen

Title of thesis: Solar energy technology report

Supervisor: Ensio Sieppi

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012 Pages: 36

The purpose of this thesis was to compare battery technologies, solar panels and charging circuits and put into practice the prototype of solar charger. The idea was to create a functional entity.

At the beginning of the work went through the relevant theory and were familiarized the existing technologies of each section. The most appropriate technologies were chosen together with company representative. Prototype charger printed circuit board was designed with Cadsoft Eagle 5.0 software.

As a result of this project we got assembled a functional system with chosen components. We were able to do preliminary tests and testing might be continued by a company.

Keywords: solar energy, solar panel, battery technology, charging circuit

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 AKKUTEKNOLOGIA	8
2.1 Lyijyakut	8
2.2 Nikkeliperustaiset akut	9
2.3 Litiumperustaiset akut	10
2.4 Lämpötilan vaikutus akkujen varaustilaan ja virranantokykyyn	11
3 AURINKOPANEELITEKNOLOGIA	13
3.1 Toimintaperiaate	13
3.2 Valmistusmateriaalit	14
3.3 Asennuskulman ja vuorokaudenajan vaikutus	16
3.4 Lämpötilan vaikutus	16
4 LATAUSPIIRITEKNOLOGIA	19
4.1 Yksinkertainen lataus	19
4.2 Matalavirtainen lataus	20
4.3 Kolmivaiheinen lataus	20
4.4 Maksimitehopisteen seuraaja	21
5 TEKNOLOGIOIDEN VALINTA	22
5.1 Akkuteknologia	22
5.2 Aurinkopaneeli	23
5.3 Latauspiiri	26
6 PROTOTYYPPILATURIN SUUNNITTELU	27
6.1 Piirikaavio	27
6.2 Layout-suunnittelu	28
7 TESTAUS	30
8 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34
LIITTEET	
LIITE 1: Vaatimusmäärittely (Vain yrityksen sisäiseen käyttöön)	

SANASTO

AGM	Absorbent Glass Mat, suljettu lyijyakkutyypin, jossa elektrolyytti imeytetty lasikuitumattoon
CC	Constant current, vakiovirta. Lataustilanteessa käytettävä menetelmä, jossa virta pidetään vakiona
CV	Constant voltage, vakiojännite. Lataustilanteessa käytettävä menetelmä, jossa jännite pidetään vakiona
DOD	Depth of discharge, purkausaste. Kuvaa kuinka suuri osa akun kapasiteetista on käytetty
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor, graafinen piirilevyeditori
I ² C	Sarjamuotoinen väylä, joka kuljettaa dataa kahdella datalinjalla, sen lisäksi vaaditaan käyttöjännite- ja maalinja
MPPT	Maximum Power Point Tracking, maksimitehopisteen seuraaja
NOC	Normal conditions, normaaliolosuhteet
SOC	State of charge, varaustila
STC	Standard test conditions, standardin mukaiset testausolosuhteet
VRLA	Valve Regulated Lead Acid, suljettu lyijyakku

1 JOHDANTO

Aurinkoenergiateknologiaselvityksen lähtökohtana on vertailla akkuteknologioita, aurinkopaneeleita ja latauspiirejä sekä toteuttaa valitulla latauspiirillä aurinkoenergiaa hyödyntävän laturin prototyyppi. Selvityksessä vertaillaan ja valitaan vaatimusmäärittelyiden (liite 1, vain yrityksen käytössä) mukaan työhön parhaiten soveltuvat teknologiat sekä mitoitetaan valitut komponentit tarpeiden mukaan toimivan kokonaisuuden saamiseksi.

Työ toteutettiin siten, että aluksi käytiin läpi aiheeseen liittyvää teoriaa ja perehdyttiin olemassa oleviin teknologioihin kustakin osa-alueesta. Selvityksessä huomioitiin erityisesti teknologian soveltuvuus tämän työn toteutukseen. Parhaiten soveltuvat teknologiat valittiin yhdessä yrityksen edustajan kanssa, jonka jälkeen komponentit mitoitettiin tarpeiden mukaan.

Latauspiirille tehtävä piirilevy suunniteltiin Cadsoft Eagle 5.0 -ohjelmistolla (Easily Applicable Graphical Layout Editor). Yrityksen kanssa tehdyn salassapitosopimuksen mukaan osa työn tiedoista on luottamuksellista eikä kaikkea voida näin ollen julkisesti raportoida.

2 AKKUTEKNOLOGIA

Akkuteknologioiden kehitys on ollut viime aikoina nopeaa ja sen seurauksena uusia teknologioita on tullut markkinoille. Uusimpia teknologioita ovat erilaiset litiumperustaiset akut, kuten litiumrautafosfaatti (LiFePO_4) ja litiumtitanaatti, jotka kilpailevat erityisesti pitkällä käyttöiällä. Tarkkoja yleisiä ominaisuuksia eri teknologioista on mahdoton esittää, sillä kustakin teknologiasta on tehty sovelluksia eri käyttötarkoitusten mukaan. Tämän vuoksi akkuteknologioita esitellään vain yleisellä tasolla yleiskuvan saamiseksi kunkin teknologian ominaisuuksista ja käyttökohteista.

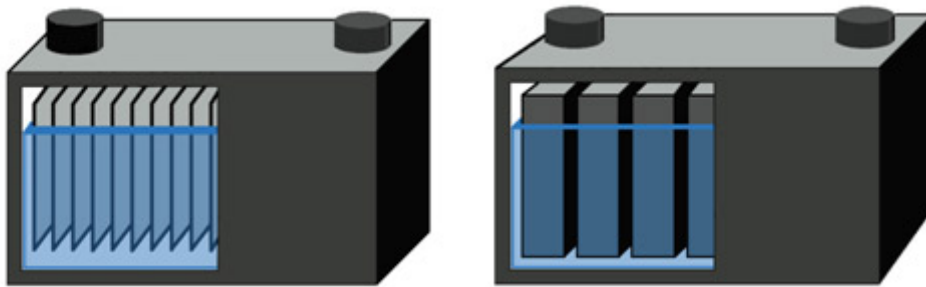
2.1 Lyijyakut

Lyijyakku on ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tullut akkutyyppe. Se on säilyttänyt suosionsa, sillä se on markkinoilta löytyvistä akuista edullisin. Nykyään lyijyakut jaetaan kahteen ryhmään: avoimet lyijyakut ja suljetut lyijyakut eli VRLA-akut (Valve Regulated Lead Acid). Ero näiden välillä on, että avoimen lyijyakun elektrolyytti on nestemäisessä muodossa ja VRLA-akun elektrolyytti on joko geelimäisessä muodossa tai imeytetty lasikuitumattoon. (1.)

Avoimia lyijyakkuja käytetään lähinnä käynnistysakkuina tai suurien järjestelmien teholähteenä. Käynnistysakut on suunniteltu antamaan nopeasti paljon virtaa ja niitä myös ladataan suurella virralla. (1.) Avoimeen lyijyakkuun tarvitsee myös aika ajoin lisätä elektrolyyttinä käytettävää vettä. Aurinkopaneelista ei saada kerralla suuria virtoja eikä tässä työssä käytettävä kuorma tarvitse suuria virtapiikkejä. Lisäksi tässä työssä käytettävän akun tulisi olla huoltovapaa, joten avointa lyijyakkua ei voi tässä toteutuksessa käyttää.

VRLA-akut ovat huoltovapaita lyijyakkuja, joista on kahdenlaisia sovelluksia: geeliakkuja (Gel Cell) ja AGM-akkuja (Absorbent Glass Mat). AGM-akuissa elektrolyytti on imeytetty lasikuitumattoon. Niiden etuina geeliakkuihin verrattuna on halvempi hinta ja parempi virranantokyky lyhyillä purkauksilla. Putkirakenteiset geeliakut kestävätkin hyvin pitkäaikaista purkausta. Geeliakkujen etuna on pidempi sykli-ikä eli enemmän lataus-purkausjaksoja kuin AGM-akuilla. (1.)

Lisäksi erityisesti pieniin aurinko- ja tuulisähköjärjestelmiin on suunniteltu niin sanottuja syväpurkausakkuja (Deep Cycle). Syväpurkausakut ovat suljettuja lyijyakkuja. Syväpurkausakuissa käytetään paksumpia lyijylevyjä kuin esimerkiksi käynnistysakuissa (kuva 1). Paksummilla levyillä saavutetaan paremmat sykliominaisuudet, jonka seurauksena syväpurkausakut kestävät hyvin toistuvaa syväpurkautumista. Sen lisäksi syväpurkausakut ovat pitkäikäisiä ja huoltovapaita. Mikäli toteutukseen valittaisiin lyijyakku, tulisi sen olla Deep Cycle -akku. (1.)



KUVA 1. Vasemmalla käynnistysakku ja oikealla syväpurkausakku (1)

2.2 Nikkeliperustaiset akut

Nikkeli-kadmiumakkuja (NiCd) on käytetty useimmiten käsityökaluissa ja vastaavissa pienikokoisissa laitteissa. NiCd-akut ovat pitkäikäisiä ja kestävät hyvin ylivarausta sekä suuria varaus- ja purkuvirtoja. Myöskään lämpötilavaihteluille NiCd-akut eivät ole niin alttiita kuin monet muut akkutyypit. (1.) Tässä toteutuksessa ei kuitenkaan tarvita suuria hetkellisiä varaus- ja purkuvirtoja. Lisäksi NiCd-akkuja ei ole saanut direktiivin 2006/66/EY mukaan käyttää kuluttajatuotteissa EU:n alueella vuoden 2009 jälkeen kadmiumin myrkyllisyyden takia (2).

Nikkeli-metallihybridiaikut (NiMH) ovat korvanneet NiCd-akut ja siksi niitä usein verrataan NiCd-akkuihin. NiMH-akulla on suurempi kapasiteetti, mutta lyhyempi kestoikä kuin NiCd-akulla. NiMH-akut ovat myös alttiimpia lämpötilan vaikutuksille. Erityisesti latauksen kanssa tulee olla huolellinen. NiMH-akut sietävät huonosti ylilatausta, jolloin kennojen sisäinen lämpötila ja paine voi

nousta haitallisesti. NiMH-akkuja käytetään muun muassa kameroissa, mutta niitä käytetään myös sähköautoissa. Kuluttajamarkkinoilla on saatavilla vain pienen kapasiteetin NiMH-akkuja ja suurempiin järjestelmiin, kuten sähköautoihin, tarkoitetut NiMH-akut ovat erikseen tarvittavan lisenssin takana. Sopivan kokoisen akun voisi kuitenkin koota itse akkukennoista. (3.)

2.3 Litiumperustaiset akut

Litium on materiaalina kevyttä, sillä on suuri sähkökemiallinen jännite ja täten suuri energiatiheys. Myös hyötysuhde on litiumakuilla aivan omaa luokkaansa verrattuna muihin akkutyyppeihin. Huonona puolena litiumakuilla on ollut käytöstä riippumaton ikääntyminen ja reaktioherkkyyden takia vaadittava suojapiiri. Kehitystyö on vienyt enemmän aikaa reagoitiherkkyden takia. Uusissa sovelluksissa kuitenkin vaikuttaa siltä, että reagoitiherkkyden ongelma on onnistuttu poistamaan. Litiumperustaisia akkuja kehitetään jatkuvasti, jotta niistä saataisiin turvallisempia ja hinnasta alhaisempi. Niitä myös kehitetään aurinkosähköjärjestelmiin sopiviksi, jotta aurinkosähköä voitaisiin hyödyntää paremmin. (4.)

Litiumioniakkuja (Li-ion) käytetään muun muassa kannettavien tietokoneiden ja matkapuhelimien akkuina. Li-ion-akun ikä on kuitenkin rajallinen: akku vanhenee normaalisti kahdessa tai kolmessa vuodessa, vaikkei sitä käytettäisikään. Li-ion-akut eivät siedä ylilatausta, vaan muuttuvat epävakaaksi ja kehittävät lämpöä ja painetta. Tästä johtuen myöskään ylläpitolatausta ei suositella litiumioniakuille. (4.)

Myös litiumpolymeeriakun ikä on rajallinen. Akku vanhenee noin kolmessa vuodessa, vaikkakin sykli-ikä eli lataus-purkausjaksojen määrä on jopa yli tuhat sykliä. Litiumpolymeeriakkujen valmistuksessa käytetään joko litiumkobalttioksidia tai litiummangaanioksidia. Litiumpolymeeriakut voidaan valmistaa halutun muotoisina kohtuullisilla valmistuskustannuksilla. Tätä akkuteknologiaa löytyy muun muassa radio-ohjattavien autojen ja mp3-soittimien akuista. Myös sähköautoihin on suunniteltu litiumpolymeeriakkuja. Kuten litiumioniakut niin myös litiumpolymeeriakut täytyy ladata huolellisesti, eikä ylläpitolatausta tulisi suorittaa. (5.)

Litiumrautafosfaattiakku on litiumperustainen akku, joka on tullut haastamaan perinteisiä akkuteknologioita. LiFePO_4 -teknologian vahvuuksia on jopa tuhansien lataus-purkausjaksojen elinikä. Lisäksi litiumrautafosfaattiakku on perinteisiä litiumakkutekniikoita turvallisempi. (5.) Tätä teknologiaa käytetään jo Black and Deckerin DeWalt-sarjan tuotteissa sekä joidenkin sähköautojen akuissa, muun muassa suomalaisvalmisteisessa Fisker Karmassa (6). Litiumrautafosfaattiakku on varteenotettava vaihtoehto käytettäväksi tähän toteutukseen.

Litiumtitanaattiakku on uusi, kestävä ja turvallinen litiumperustainen akkutyyppe. Se on nopeampi ladata kuin muut litiumperustaiset akut. Litiumtitanaattiakut ovat tehokkuudeltaan hieman heikompia kuin muut litiumperustaiset akut. Tosin tämä teknologia on vasta oman kehityskaarensa alussa ja sen uskotaan tulevan laajalti käyttöön sähköautoihin. Litiumtitanaattiakut ovat tällä hetkellä vielä kustannuksiltaan kalliita ja saatavuus heikkoa. Ne tulevat kilpailemaan litiumrautafosfaattiakkujen kanssa ainakin sähköautomarkkinoilla. (5.)

2.4 Lämpötilan vaikutus akkujen varaustilaan ja virranantokykyyn

Lämpötilalla voi olla suuri vaikutus akun suorituskykyyn. Liian kylmässä, kuumassa tai kosteassa akku menettää ominaisuuksiaan. Alhaisissa lämpötiloissa akun sisäinen resistanssi kasvaa, mikä heikentää akun varaustilaa. Korkeissa lämpötiloissa resistanssin pieneneminen voi aiheuttaa aktiivisten aineiden hajoamisen ja tehdä akusta käyttökelvottoman. Äärimmäisten olojen muita vaikutuksia voivat olla akun sulaminen, savuaminen ja liekehtiminen, jotka usein myös aiheuttavat tuhoa käytettävässä laitteessa. (7.)

Akkujen optimilämpötila on noin 20 °C. Useilla akkuteknologioilla suositeltu korkein käyttölämpötila on noin 60 °C. Tätä kuumemmat lämpötilat voivat aiheuttaa vaaratilanteita tai jopa akun tuhoutumisen. Lataukseen suositeltavat lämpötilat eroavat yleensä hieman käyttölämpötiloista. Kylmyys ei niinkään ole vaarallista akulle, akun teho vain heikkenee lämpötilan laskiessa. Tehon heikkeneminen on lineaarista lämpötilan suhteen. Tietyissä lämpötilassa akun varaustila on tippunut niin alas, että akku ei enää anna virtaa. Tyypillisesti akun

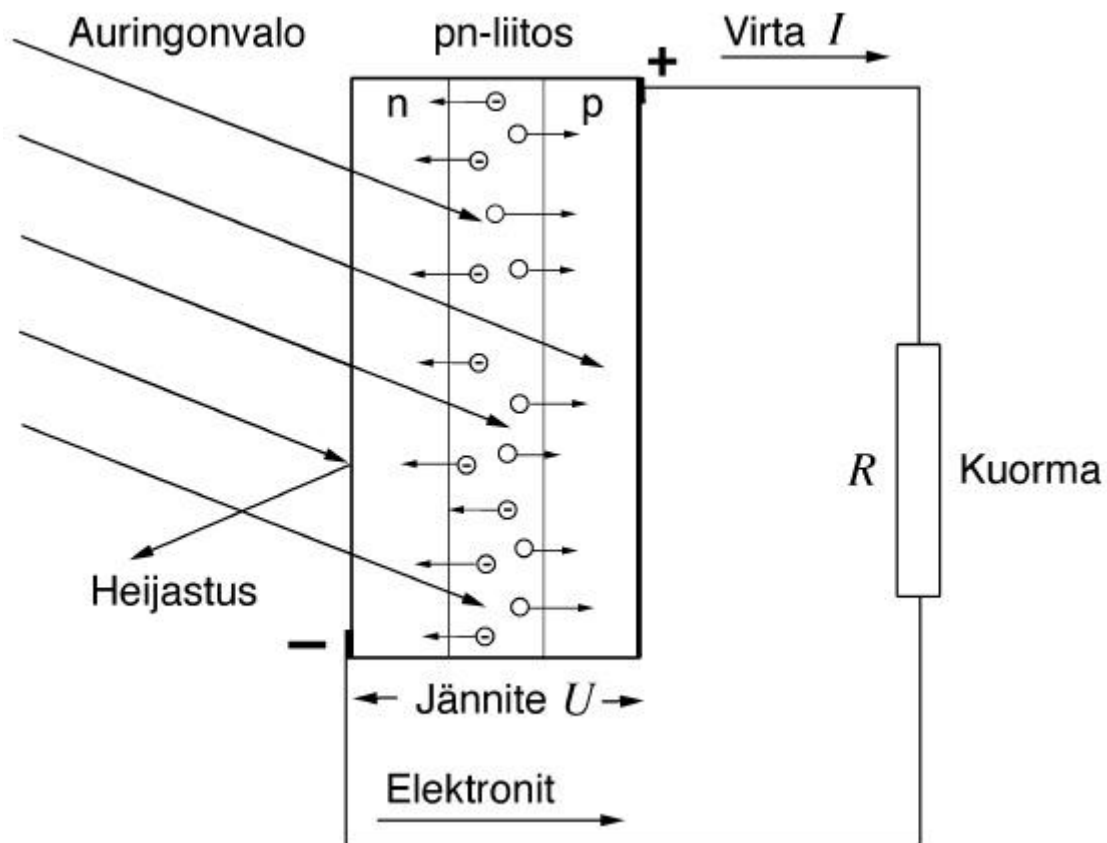
varaustila on tippunut 50 prosenttiin, kun lämpötila alittaa kymmenen pakkasasteen. (7.)

Akkujen teho siis heikkenee alhaisissa lämpötiloissa ja liian korkeat lämpötilat voivat tuhota akun kokonaan. Tästä johtuen valmistajan antamia suosituksia lämpötilojen suhteen tulisi noudattaa.

3 AURINKOPANEELITEKNOLOGIA

3.1 Toimintaperiaate

Aurinkopaneeli koostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Aurinkokenno muuttaa valosähköistä ilmiötä hyödyntäen valohiukkasten eli fotonien energian sähköenergiaksi. Fotonin iskeytyessä kennon pintamateriaaliin irtoaa pinnasta elektroni, joka johdetaan varastoitavaksi akkuun. (8.) Aurinkopaneelin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (9)

Aurinkokenno muodostuu p- ja n-tyyppin puolijohdemateriaaleista. Auringonvalon kohdistuessa kennoon fotonit läpäisevät ohuen pintakerroksen, pääsevät pn-liitokseen ja muodostavat elektroni-aukkopareja. Elektroni-aukkopareista elektronit kulkeutuvat n-tyyppin puolelle ja aukot p-tyyppin puolelle. Rajapintaan

muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain ulkoisen johtimen kautta p-tyyppin puolijohteeseen. P-tyyppin puolijohteessa elektronit voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on siten jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, ja liitos toimii jännitelähteenä. (9.)

Aurinkopaneelien tuottamaa aurinkosähköä pidetään kalliina verrattuna tavanomaiseen sähköntuotantoon. Aurinkoenergian ympäristöystävällisyys on viime aikoina kuitenkin tehostanut aurinkokennojen kehitystä. Aurinkopaneelit kehittyvät tällä hetkellä kovaa vauhtia. Hyötysuhteissa rikotaan jatkuvasti uusia ennätyksiä ja tuotantotekniikat kehittyvät. Paneelien hyötysuhteessa on syytä odottaa merkittävää kehitystä lyhyen ajan sisällä. Kun yleisesti tällä hetkellä paneelien hyötysuhde liikkuu 10–20 prosentin tienoilla, on laboratorioolosuhteissa saavutettu jo yli 40 prosentin hyötysuhteita. (8.)








3.2 Valmistusmateriaalit

Aurinkokennoja voidaan valmistaa useista eri materiaaleista. Aurinkokennoja tuotetaan useimmiten käyttäen joko yksikiteistä piitä, monikiteistä piitä tai ohutkalvotekniikkaa.

Aurinkopaneelimarkkinoita ovat pitkään hallinneet piipohjaiset valmistusmateriaalit, kuten monikiteinen pii, yksikiteinen pii ja amorfinen pii. Yksi- ja monikiteisestä piistä valmistetut paneelit eroavat toisistaan melko vähän. Yksikiteisestä piistä valmistetut kennot valmistetaan leikkaamalla neliön malliset piipalat yhtenäisestä pyöreästä sauvasta, jolloin osa materiaalista menee hukkaan. Yksikiteisestä piistä valmistetut kennot ovat hieman tehokkaampia kuin monikiteisestä piistä valmistetut kennot, mutta myös hieman kalliimpia. Monikiteiset kennot valmistetaan valamalla piimassasta kennon muotoinen yhtenäinen piikerros, jolloin kiderakenne ei ole yhtä tarkasti määritelty ja valmistuskustannukset jäävät pienemmiksi. Monikiteisten kennojen teoreettinen hyötysuhde on alhaisempi kuin yksikiteisten kennojen, mutta käytännössä lukemat ovat kuitenkin melko lähellä toisiaan ja vaihtelevat noin 10 prosentista 20 prosenttiin (kuva 3). Pienempien valmistuskustannusten takia monikiteisestä piistä valmistetut kennot ovat tällä hetkellä yleisimpiä.

Suurempaa tehoa kaipaavat päätyvät kuitenkin yleensä yksikiteisestä piistä valmistettuihin paneeleihin. (10, s. 132.)

Uudemman tekniikan aurinkokennot eli ohutkalvotekniikan avulla valmistetut kennot säästävät materiaalikustannuksissa, sillä niiden toiminnallisen osan paksuus on vain 1–10 mikrometriä (vrt. piipohjaisten 100–300 mikrometriä). Tämän vuoksi ohutkalvotekniikalla valmistetuista kennoista voidaan myös tehdä taipuisia. Ohuutensa ansiosta kerroksia voi olla useita, jolloin kennojen teho kasvaa. Monikerroksisilla ohutkalvopaneeleilla on laboratorio-oloissa saavutettu jopa yli 40 prosentin hyötysuhteita. Ohutkalvotekniikalla valmistetuissa paneeleissa jäädyän käytännössä kuitenkin vielä noin 7–10 prosentin hyötysuhdelukemiin (kuva 3). Ohutkalvopaneelit valmistetaan joko kadmiumtelluridistä (CdTe), kupari-indiumgalliumdiselenidistä (CIGS), galliumarsenidistä (GaAs) tai amorfisesta piistä (a-Si). Lisäksi kehitteillä on orgaanisia ja polymeerisistä rakenteista tehtyjä ohutkalvopaneeleja, joita voi käyttää esimerkiksi ikkunoissa tai kankaissa. (11.) Kuvassa 3 on vertailtu eri paneeliteknologioiden hyötysuhteita.

Commercial Module Efficiency							
Technology	Thin Film					Crystalline Silicon	
	(a-Si)	(CdTe)	Cl(G)S	a-Si/ μ c-Si	Dye s. cells	Mono	Multi
							
Cell efficiency							
Module efficiency	4-8%	10-11%	7-11%	7-9%	2-4% (LAB)	13-19%	11-15%
Area Needed per KW (for modules)	~ 15 m ²	~ 9m ²	~ 10m ²	~12m ²		~7m ²	~8m ²

Source: EPIA 2010. Photon international, March 2010, EPIA analysis
Efficiency based on Standard Test conditions.

KUVA 3. Aurinkopaneelien hyötysuhteet (12)

3.3 Asennuskulman ja vuorokaudenajan vaikutus

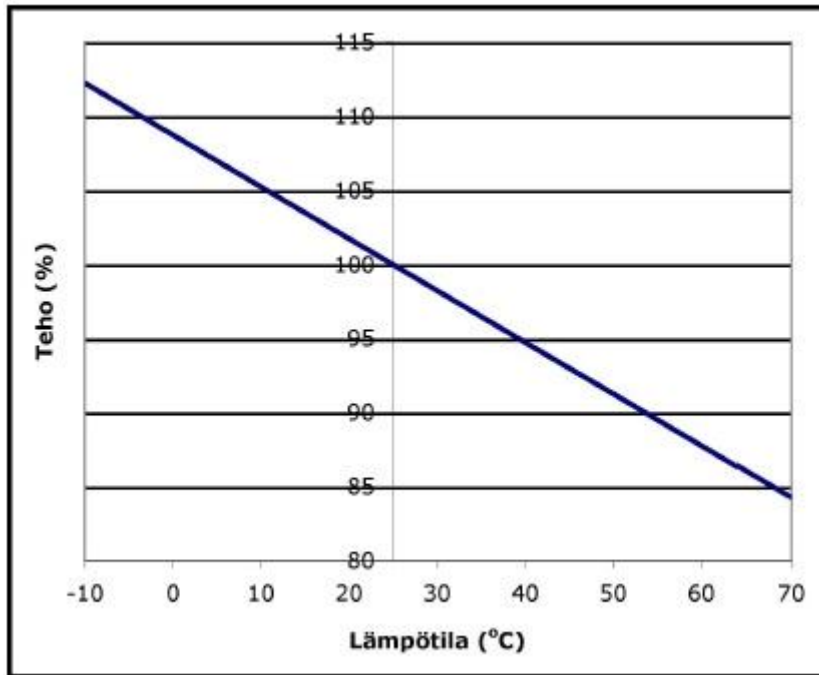
Aurinkopaneelit tulee sijoittaa varjottomaan paikkaan, sillä koko paneelin tulisi saada tasaisesti säteilyä. Saadaksesen aurinkoenergiajärjestelmästä parhaan tehon irti on säteilyn tultava kohtisuoraan paneelin pintaa kohti. Tämä ei kuitenkaan ole kiinteästi asennettavilla järjestelmillä mahdollista, vaan asennuskulma optimoidaan tuoton kannalta parhaaksi. (10, s. 15.)

Kiinteästi asennettava paneeli suunnataan yleensä kohti päiväntasaajaa. Parhaana kallistuskulmana pidetään asennuspaikan leveysastetta. Tällöin kohtisuora säteily osuu paneeliin keskipäivällä, jolloin laite antaa aina parhaan tehon. Tarvittaessa aurinkopaneeli voidaan suunnata myös aamu- tai iltaurinkoon, mutta rakennusten ja kasviston aiheuttama varjostus laskee hyötysuhdetta ja näin ollen paneelista saatavaa tehoa. (10, s. 15.)

3.4 Lämpötilan vaikutus

Paneelin ja kennon lämpötila vaikuttaa aurinkopaneelista saatavaan tehoon. Puolijohdemateriaalin ominaisuuksien takia paneelin jännite ja sen myötä teho laskevat noin 0,5 prosenttia astetta kohti, kun kennon lämpötila on yli 25 °C. Tämä tarkoittaa, että kennon lämpötilan ollessa 45 °C paneelin tuottama teho putoaa kymmenen prosenttia. Aurinkoisena päivänä kennon lämpötila voi hyvinkin olla 20–30 °C ulkoilman lämpötilaa korkeampi. (9.)

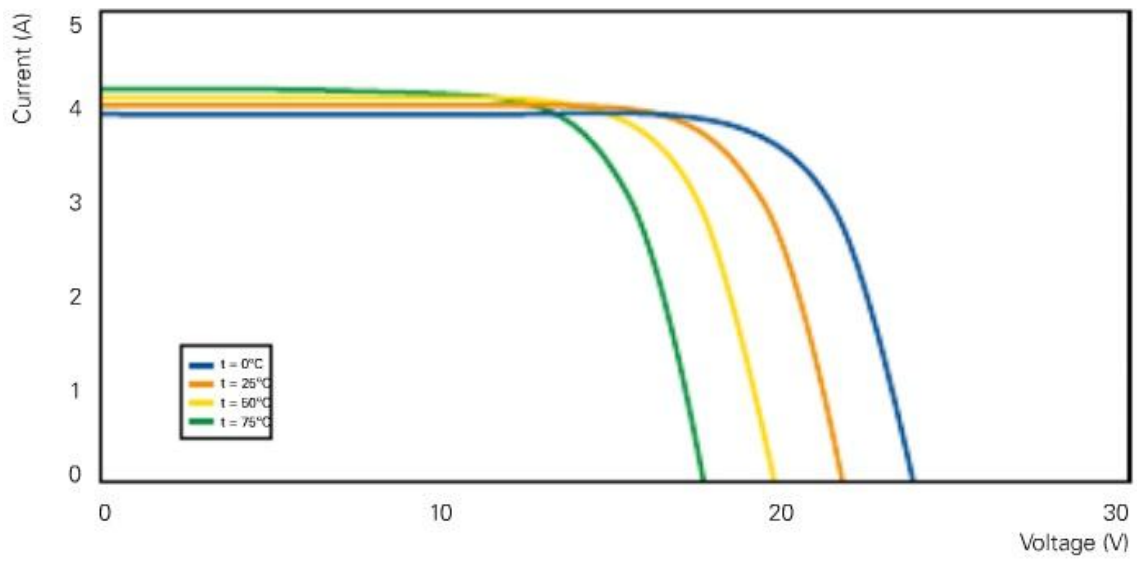
Alhainen kennolämpötila sitä vastoin parantaa hyötysuhdetta. Aurinkopaneelit toimivat siis hyvin myös lämpötilan ollessa pakkasella. Pakkasolosuhteiden haittapuolena on mahdollinen lumen kertyminen aurinkopaneelin päälle, jolloin lumi estää auringonsäteilyn pääsemisen kennon pinnalle. (9.) Kuvasta 4 nähdään lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin tehontuottoon.



KUVA 4. Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin tehontuottoon (9)

Aurinkopaneelin oikosulkuvirta ja avoimen piirin jännite muodostavat I/U-käyrän. Oikosulkuvirta on paneelin tuottama enimmäisvirta. Avoimen piirin jännite eli tyhjäkäyntijännite sitä vastoin on paneelin suurin jännite, joka saadaan, kun paneelin ei ole kytketty kuormaa. I/U-käyrä eli ominaiskäyrä ilmoittaa, millä virran ja jännitteen arvoilla se voi toimia. Kuvasta 5 nähdään, kuinka lämpötila vaikuttaa aurinkopaneelin tuottamaan maksimivirtaan ja tyhjäkäyntijännitteeseen. (9.)

Dependence of the temperature



KUVA 5. Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin ominaiskäyrään (13)

4 LATAUSPIIRITEKNOLOGIA

Akkujen lataaminen tapahtuu yhdessä tai useammassa vaiheessa. Yleisimmin käytössä oleva menetelmä on ladata akkua ensin vakiovirralla ja sen jälkeen vakiojännitteellä. Akun saavutettua täyden varaustilan voidaan latausta jatkaa niin sanotulla ylläpitolatauksella. Ylläpitolatauksella akkuun syötetään pienempää latausjännitettä pitämällä akun varaustila täynnä. Jokaisella akkuteknologialla on tyypillinen latausmenetelmä ja vääränlaisen menetelmän käyttäminen on yleensä akulle haitallista. (14.)

Latauslaitteen tehtävä on siirtää energia akkuun halutulla menetelmällä ja tunnistaa varaustilan taso. Täysi varaustila voidaan tunnistaa liitinjännitteestä, lämpötilamuutoksesta tai latausvirran pienenemisestä. Joissain tapauksissa lataaminen voidaan suorittaa myös ajastetusti. Latausjännitteen suuruus riippuu aina akun kennojen nimellisjännitteestä. Latausvirran suuruus riippuu muun muassa akun kapasiteetista, latauslaitteesta ja aurinkopaneelitekniikassa auringonpaisteesta. (15.)

Aurinkopaneelilatureina käytetään yleensä niin sanottuja älykkäitä latureita, jotta akkujen jännitettä voidaan valvoa. Tällä voidaan estää akkujen ylilatautuminen tai liiallinen purkaminen. Älykkäät laturit toteutetaan käyttämällä lämpötila- ja/tai jänniteseurantaa ja kontrolleria, joka säätää latausvirtaa. Älykkäitä latureita käytetään yhdessä Smart battery -tyyppisten akkujen kanssa, jotka antavat latauspiirille tietoja esimerkiksi varaustilastaan ja lämpötilastaan. Aurinkosähköjärjestelmän laturilla tulisi myös olla korkea lataushyötysuhde, jotta aurinkopaneelista saatava teho ei menisi hukkaan. (16.)

4.1 Yksinkertainen lataus

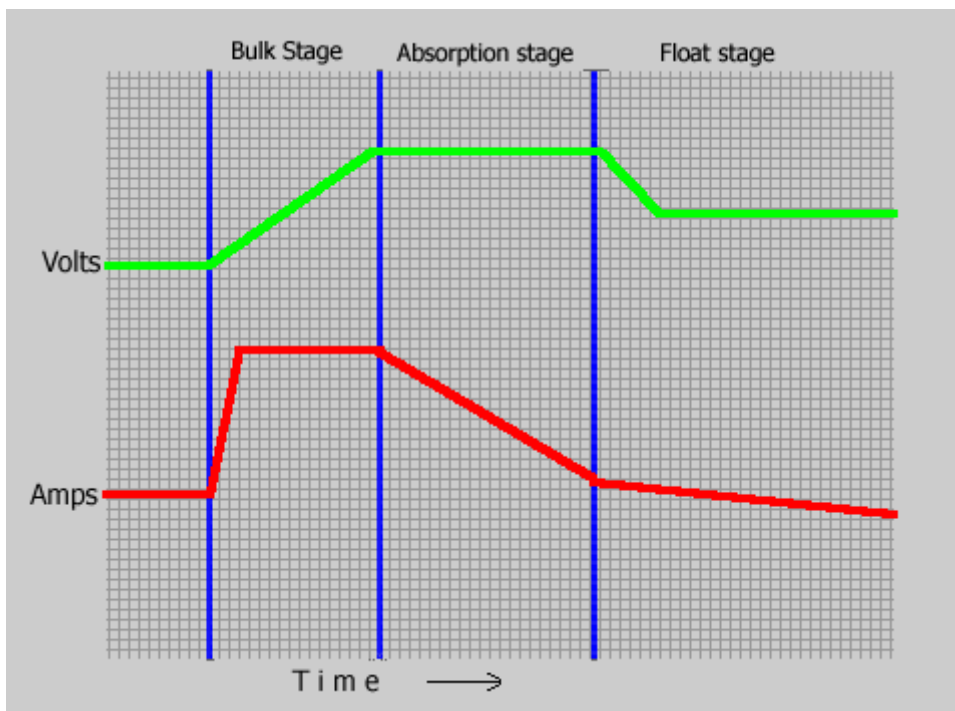
Yksinkertaisia latureita käytetään yleensä halvoissa tuotteissa. Yksinkertainen laturi tuottaa joko vakiovirtaa tai vakiojännitettä akulle. Se ei muuta tuottamaansa virtaa tai jännitettä ajan eikä akun varaustilan perusteella. Tyypillisesti yksinkertaisella laturilla lataaminen kestää pidemmän aikaa, koska latausvirta tai -jännite pidetään pienenä, jotta ylilatautumista ei tapahtuisi. (14.)

4.2 Matalavirtainen lataus

Matalavirtainen laturi (Trickle charge) tuottaa pientä virtaa, tyypillisesti 0,5–1,5 ampeeria. Tällaista laturia käytetään usein lataamaan pienikapasiteettisia akkuja tai ylläpitämään suurempien kapasiteettien akkuja. Tämän tyyppistä latausta käytetään yleensä monivaiheisten latureiden viimeisenä vaiheena eli niin sanottuna ylläpitolatausvaiheena. (14.)

4.3 Kolmivaiheinen lataus

Yleisimmin käytössä oleva latausmenetelmä on niin sanottu kolmivaiheinen lataus. Ensimmäisessä vaiheessa syötetään vakiovirtaa, kunnes saavutetaan esiasetettu jännitetaso. Ensimmäistä vaihetta kutsutaan niin sanotuksi Bulk-latausvaiheeksi (kuva 6). Toisessa vaiheessa jännitettä pidetään vakiona samassa esiasetetussa tasossa, kunnes latausvirta putoaa hyvin pieneen arvoon. Tässä vaiheessa akun täysi varaustila on saavutettu. Toista vaihetta kutsutaan ns. Absorption-latausvaiheeksi. Kolmannessa vaiheessa latausjännitettä vähennetään, jotta välttyttäisiin ylilatauksen riskiltä, samaan aikaan ylläpitäen varaustila sadassa prosentissa. Tätä vaihetta usein kutsutaan ns. ylläpitovaiheeksi (Float stage). (17.)



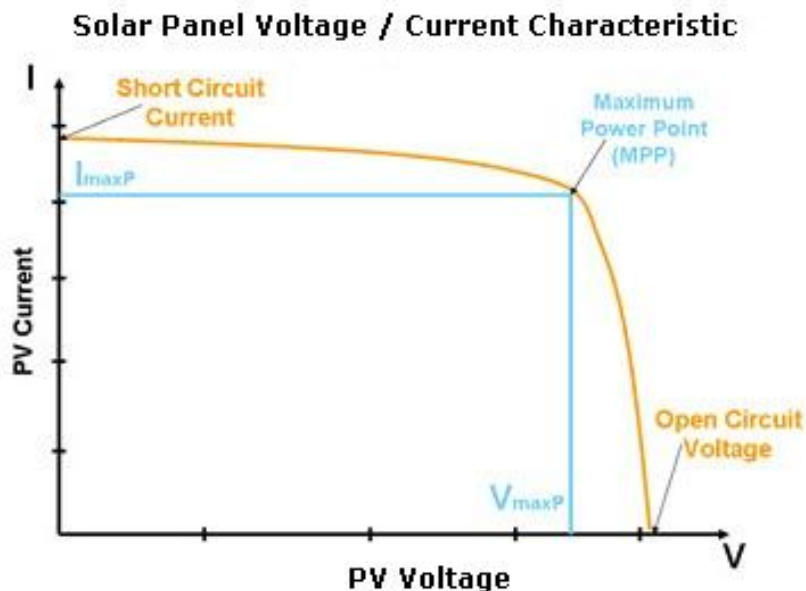
KUVA 6. Kolmivaiheinen latausmenetelmä (17)

4.4 Maksimitehopisteen seuraaja

Maksimitehopisteen seuraaja (Maximum Power Point Tracking, MPPT) on säätöyksikkö, joka säätää paneelin ulostulojännitteen toimimaan koko ajan maksimitehopisteessä. Aurinkopaneeli tuottaa parhaiten energiaa maksimitehopisteessä. (10, s. 141.)

Uusinta lataustekniikka edustava MPPT toimii lähes samalla tavalla kuin kolmivaiheinen laturi. Erona on, että MPPT hyödyntää vastaanotetun tehon paremmin kuin kolmivaiheinen laturi. Maksimitehopisteen seuraajaa käytetään paljon aurinkosähköjärjestelmissä, jotta järjestelmän hyötysuhde saataisiin mahdollisimman suureksi. Teoreettisesti maksimitehopisteen seuraajalla voitaisiin tuottaa jopa 50 prosenttia enemmän tehoa. Käytännössä luku on noin 20–30 prosenttia. (18.)

Kuvassa 7 nähdään aurinkopaneelin I/U-käyrä, josta nähdään myös maksimitehopiste. Maksimitehopisteellä tarkoitetaan niitä virran ja jännitteen arvoja, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho (9).



KUVA 7. Aurinkopaneelin ominaiskäyrä (19)

5 TEKNOLOGIOIDEN VALINTA

Selvityksen lähtökohtana oli vertailla akkuteknologioita, aurinkopaneeleita ja latauspiirejä sekä toteuttaa valitulla latauspiirillä aurinkoenergiaa hyödyntävän laturin prototyyppi. Työhön valittiin parhaiten soveltuvat teknologiat, ja mitoitus tehtiin vaatimusten mukaan toimivan kokonaisuuden saamiseksi.

Yrityksen kanssa tehdyn salassapitosopimuksen mukaan osa työn tiedoista on luottamuksellisia eikä kaikkea voida näin ollen julkisesti kertoa. Sallittuja tietoja teknologioiden ja komponenttien valinnasta voidaan kuitenkin kertoa, jotta dokumenttiin saataisiin jonkinlainen kuva työn toteutuksesta. Tarkemmat tiedot ovat yrityksen hallussa.

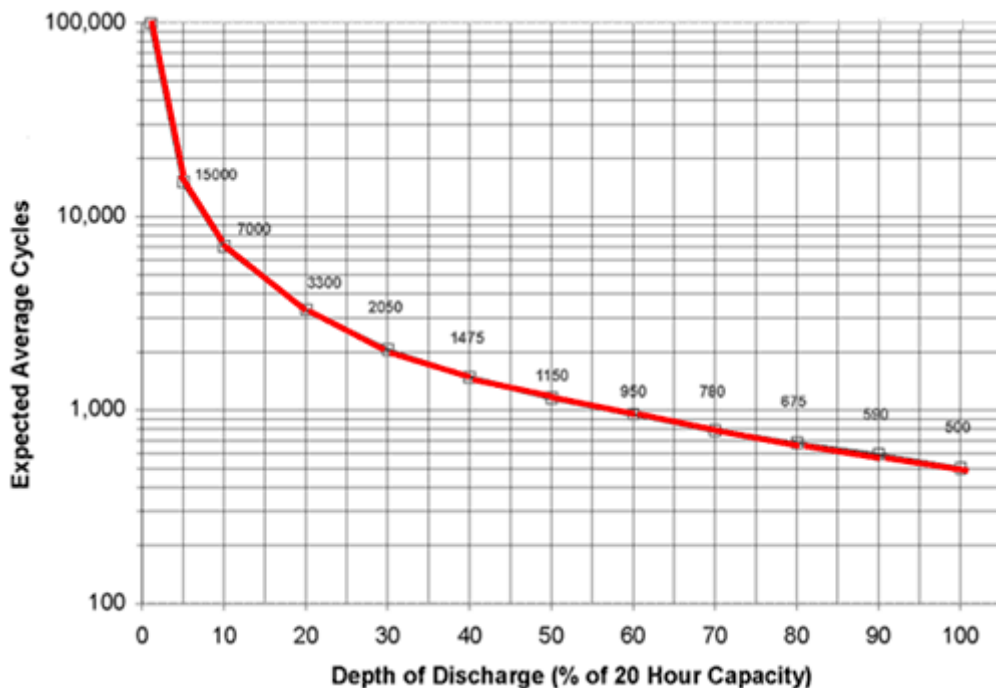
5.1 Akkuteknologia

Käytettävän akkuteknologian valinta tehtiin lopulta lyijyakun (Deep Cycle) ja litiumrautafosfaattiakun välillä. Työhön valittiin käytettäväksi litiumrautafosfaattiakku (LiFePO_4). Näitä kahta teknologiaa verrattaessa LiFePO_4 -teknologian etuna on pitkäikäisyys, sekä käyttöiässä että latauspurkausjaksojen määrässä. Jotta lyijyakulla olisi päästy samaan latauspurkausjaksojen määrään kuin LiFePO_4 -akulla, olisi akun kapasiteetin pitänyt olla lähes kolminkertainen. Muita valintaan johtaneita kriteerejä olivat keveydestä johtuva suuri energiatiheys ja ympäristöystävällisyys. LiFePO_4 -akku on suunniteltu kestävästi toistuvaa syväpurkautumista ja se on huoltovapaa. Lisäksi litiumrautafosfaattiakku on perinteisiä litiumakkuteknologioita turvallisempi.

LiFePO_4 -akkuja valmistetaan yleensä asiakkaan tarpeiden perusteella. Akkujen toimittajilla voi olla valmiina tietyn kokoihin järjestelmiin soveltuvia ratkaisuja tai akut voidaan suunnitella mittatilaustyönä. Halutun kokoisen akun voi myös itse koota akkukennoista. LiFePO_4 -akkuja valmistavat ja toimittavat muun muassa LiFePO_4 -teknologian pioneeri A123 Systems, Forzatec ja EEMB.

Akkukapasiteetin mitoitus tehtiin vaatimusmäärittelyiden mukaisilla tiedoilla. Akun kapasiteetin määrittämisessä keskeinen tekijä on Depth of discharge (DOD), joka kuvaa akun varaustilan purkautumisastetta, tai vastaavasti State of

charge (SOC), joka kuvaa akun varaustilaa. LiFePO₄-akku voidaan purkaa jopa täysin tyhjäksi, jonka jälkeen se saadaan vielä ladattua täysin toimintakuntoiseksi. Toisaalta akun elinikä määräytyy myös purkautumisasteen perusteella. LiFePO₄-akkuja markkinoitaessa annetaan yleensä 80 prosentin purkautumisasteen käytöstä riippuva sykli-ikä. Akun elinikä pitenee purkautumisasteen pienenemisen mukaan (kuva 8). Kuvasta 8 voidaan nähdä, että esimerkiksi 50 prosentin purkautumisasteella akun elinikä on 1 150 lataus-purkausjaksoa, kun 20 prosentin purkautumisasteella lataus-purkausjaksojen määrä on 3 300. Vaatimusmäärittelyiden perusteella kuorman käyttäjän kokonaisvirrankulutukseksi saadaan 24 ampeerituntia. Ottaen huomioon suunnitellun käyttöiän järjestelmään sopiva akkukapasiteetti olisi noin 30–50 ampeerituntia. 30 ampeerituntia on kuitenkin minimivaatimus.



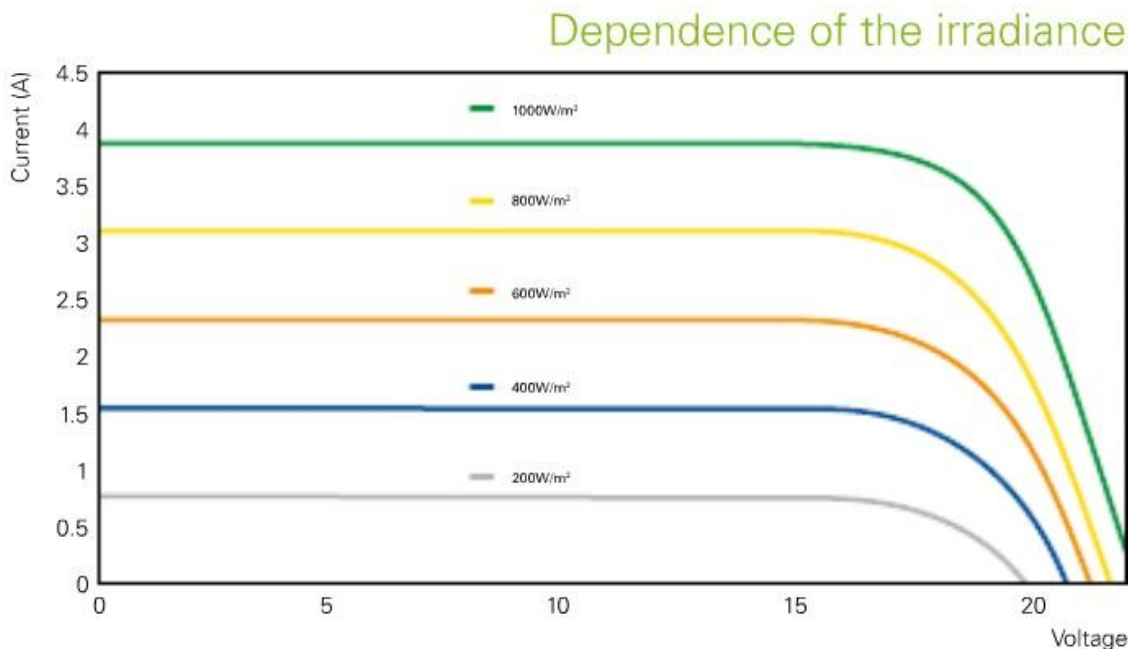
KUVA 8. Purkautumisasteen vaikutus akun sykli-ikään (20)

5.2 Aurinkopaneeli

Yhden kennon tuottama jännite on 0,5–0,6 voltia. Käyttötarpeen mukaan kennoja kytketään sarjaan paneeleiksi. Yleensä käytetään 36 kennon paneeleja, jolloin saadaan riittävä jännite esimerkiksi 12 voltin akkujen

lataamiseen. (7.) Aurinkokennosta saatu sähkövirta riippuu kennon pinta-alasta, hyötysuhteesta ja auringon säteilyn voimakkuudesta.

Aurinkokennojen teknisissä tiedoissa annetaan yleensä testiolosuhteissa (STC) saavutetut tulokset. Testiolosuhteet vastaavat keskipäivän kirkasta auringonsäteilyä, jolloin auringonsäteilyn intensiteetti on noin 1000 W/m^2 ja ilman lämpötila $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Normaaliolosuhteissa (NOC) intensiteetti on noin 800 W/m^2 . Normaaliolosuhteissa paneelin tuottama teho on siis noin 80 prosenttia siitä, mitä valmistajat ilmoittavat. Tämä tulisi huomioida paneelia mitoitettaessa. Kuvasta 9 nähdään auringonsäteilyn voimakkuuden vaikutus latausvirtaan.



KUVA 9. Säteilyn voimakkuuden vaikutus latausvirtaan (13)

Yksikiteisestä piistä valmistetut aurinkopaneelit ovat hyötysuhteeltaan tällä hetkellä markkinoiden tehokkaimpia aurinkopaneeleita. Sen perusteella työhön parhaiten sopivaksi aurinkopaneeliksi valittiin yksikiteisestä piistä valmistettu aurinkopaneeli. Aurinkopaneeleita vertailtaessa huomioitiin erityisesti paneelin koko, sen tuottama maksimivirta sekä virrantuotto suhteessa paneelin kokoon. Samassa teholuokassa olevat eri valmistajien valmistamat aurinkopaneelit

eroavat toisistaan yleisesti hyvin vähän. Suurimmat erot tulevat paneelien koosta ja hinnoittelusta.

Suurempaan aurinkopaneeliin osuu luonnollisesti enemmän säteilyä. Mitä suurempi aurinkopaneeli valitaan, sitä enemmän siihen osuu säteilyä ja sitä enemmän paneeli tuottaa tehoa. 60 watin aurinkopaneelit tuottavat testiolosuhteissa virtaa noin 3,5 ampeeria ja 100 watin aurinkopaneelit vajaat 6 ampeeria. Akun lataamiseen käytettävä aika riippuu aurinkopaneelin tehosta, jolloin on tehtävä kompromisseja paneelin tehon ja koon suhteen. Kuvassa 10 nähdään käyttöön valittu yksikiteisestä piistä valmistettu aurinkopaneeli.



KUVA 10. Käyttöön valittu aurinkopaneeli

5.3 Latauspiiri

Valmiita latauspiirejä on markkinoilla useita erilaisista sovelluksista ja akkuteknologioista johtuen. Valmista latauspiiriä käytettäessä oheiskomponenttien arvoja muuttamalla saadaan asetettua haluttu latausjännite ja -virta. Niin sanotuissa älykkäissä latauspiireissä piiri voidaan ohjelmoida ulkoisesti tuottamaan haluttua latausjännitettä ja -virtaa. Älykkäitä latauspiirejä käytetään usein lataamaan Smart battery -tyyppisiä akkuja, jotka antavat latauspiirille tietoja esimerkiksi varaustilastaan ja lämpötilastaan.

Tässä järjestelmässä halutaan saada akun varaustilan tieto, latauspiirin tulojännitteen tieto, latauksen tilatieto ja vikailmoitukset erilliselle ohjauskortille. Koska markkinoilta löytyvillä latauspiireillä ei pystytä tekemään näitä kaikkia, otetaan toteutukseen mukaan myös mikrokontrolleri. Mikrokontrollerin avulla voidaan tehdä erinäisiä mittauksia ja välittää tieto eteenpäin ohjauskortille I²C-väylän kautta.

Latauspiirin valinnassa huomioitiin käytettävä jännitealue, maksimilatausvirta, soveltuva akkuteknologia ja piirin kotelotyyppi. Lisäksi latauspiirillä tuli olla suojaukset tulon ja lähdön ylijännitteitä, akun oikosulkua ja ylikämpöä vastaan.

Toteutukseen valittiin käytettäväksi latauspiiri, joka on nimenomaan suunniteltu aurinkosähköjärjestelmiin. Mikrokontrollerin toteutus jää tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

6 PROTOTYYPPILATURIN SUUNNITTELU

Prototyyppilaturi suunniteltiin käyttäen Eagle 5.0 -ohjelmistoa. Prototyyppilaturin suunnittelussa piti ottaa huomioon yhteensopivuus valittujen komponenttien ja yrityksen komponenttien kanssa. Piirilevyn suunnittelussa hyödynnettiin valitun latauspiirin datalehden ohjeita, joiden avulla saatiin mitoitetta piirilevyn muut elektroniikkakomponentit. Piirilevyllä käytettävien komponenttien mitoituksella asetettiin halutut latausjännitteet ja -virrat kohdilleen.

Mitoituksen jälkeen toteutuksessa käytettävät komponentit valittiin vaatimusten mukaan. Komponentit valittiin markkinoilla olevista komponenteista sillä periaatteella, että valmistajia olisi useita eikä toimitus jäisi yhden toimittajan varaan. Mahdollisuuksien mukaan käytettiin myös yrityksen hallusta löytyviä komponentteja.

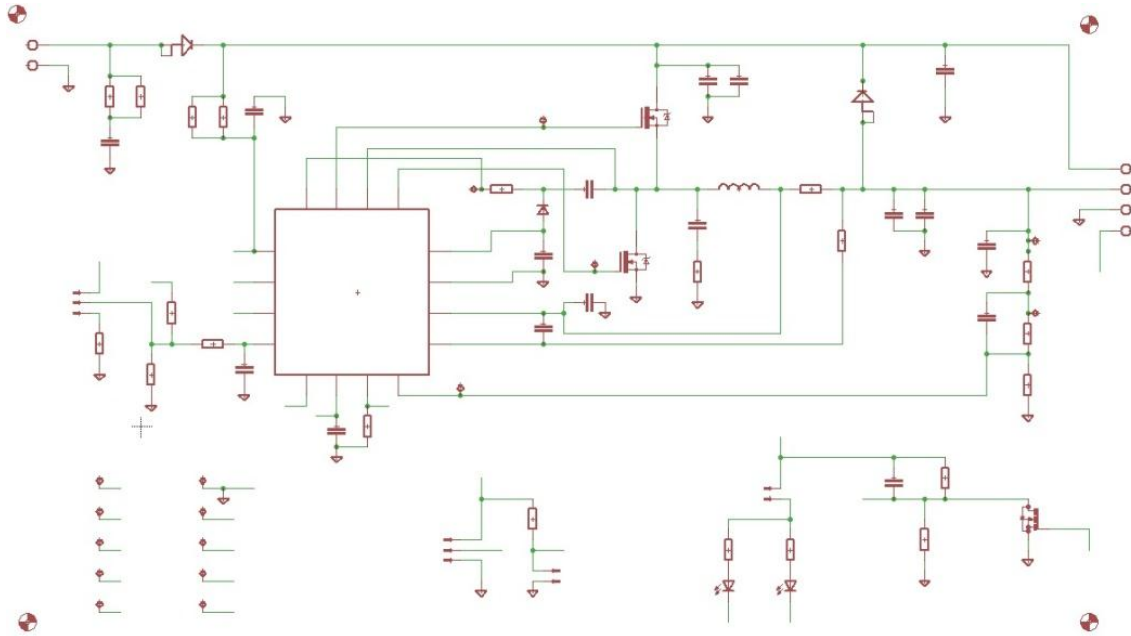
Prototyyppilaturin suunnittelussa hyödynnettiin piirin valmistajan latauspiirille suunnittelemaa testilevyä. Toteutuksessa olisi testausvaiheessa voitu käyttää valmista testilevyä, mutta piirilevy haluttiin kuitenkin suunnitella ja toteuttaa itse. Latauskytkennän hyötysuhdetavoite oli vähintään 95 prosenttia, jotta aurinkopaneelista saatava teho ei menisi hukkaan.

6.1 Piirikaavio

Prototyyppilaturin suunnittelu aloitettiin tekemällä laturista piirikaavio. Piirikaavioon lisättiin valitun latauspiirin lisäksi muut tarvittavat komponentit. Muita tarvittavia komponentteja olivat muun muassa erikokoiset vastukset, kondensaattorit, transistorit, diodit ja kela. Testausta helpottamaan kytkentään lisättiin myös testipisteitä sekä ledit, jotka osoittavat latauksen tilan.

Osalle komponenteista jouduttiin suunnittelemaan Eaglessä kirjastot itse, sillä kaikille piirikaaviossa käytettäville komponenteille ei löytynyt valmista kirjastoa. Kirjastossa määritetään muun muassa komponentin symboli, paketointi ja pinnijärjestys. Kirjaston suunnittelussa komponentille piirretään sen datalehden avulla symboli piirikaavioon sekä vaatimusten mukainen paikka piirilevyllä.

Piirikaavio suunniteltiin testilevyn mallin pohjalta. Piirikaavio on esitetty kuvassa 11.

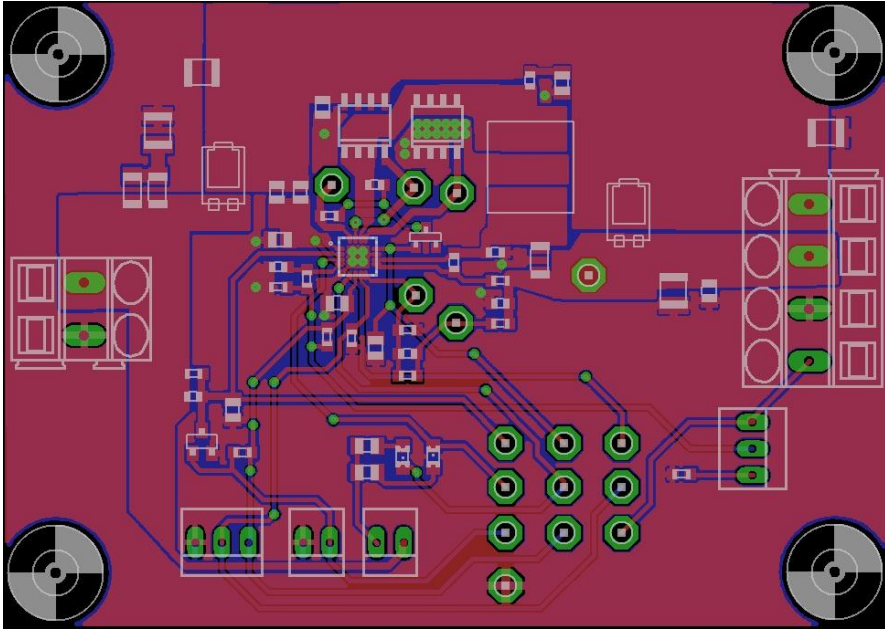


KUVA 11. Prototyypilaturin piirikaavio

6.2 Layout-suunnittelu

Piirikaavion suunnittelun jälkeen prototyypilaturille tehtiin layout-suunnittelu. Layout-suunnittelulla tarkoitetaan piirilevylle valmistettavan piirikuvion suunnittelua. Layout-suunnittelussa määritellään muun muassa komponenttien sijoittelu, johdinvedot sekä läpiviennit. Komponenttien pienen määrän vuoksi kaikki komponentit sijoitettiin piirilevyn TOP-puolelle helpottamaan ladontavaihetta. Sijoittamalla kaikki komponentit TOP-puolelle saatiin vähennettyä myös läpivientireikien määrää.

Kun layout-suunnittelu saatiin valmiiksi, piirilevyä varten luotiin piirilevytiedostot, joiden perusteella piirilevyn valmistaja valmistaa piirilevyn. Piirilevytiedostot tarkastettiin vielä GC-Prevue-ohjelmistolla. Kuvassa 12 on esitetty valmis layout-piirros.

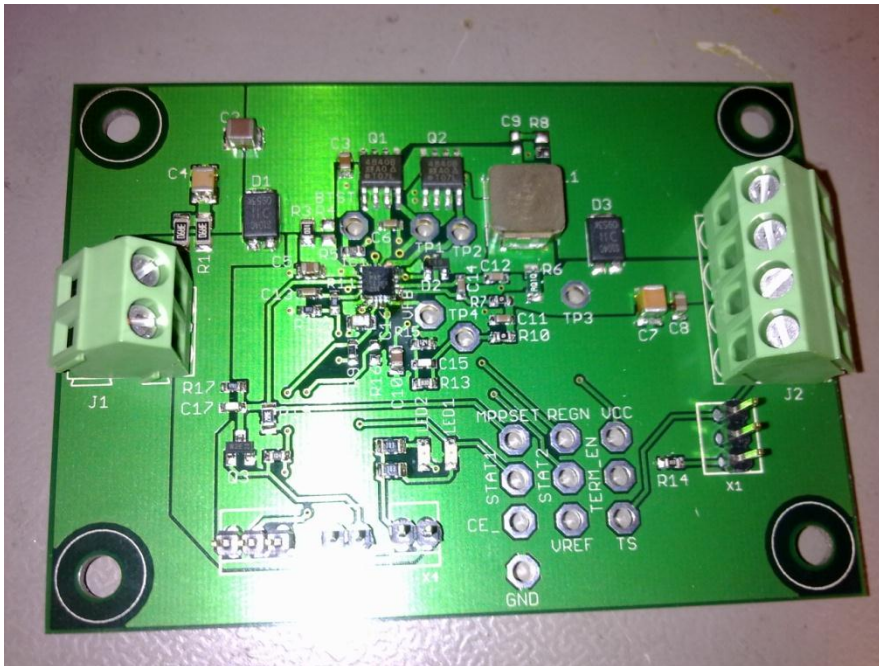


KUVA 12. Prototyypilaturin layout-piirros

7 TESTAUS

Valituista komponenteista koottiin toimiva kokonaisuus, jolle päästiin tekemään alustavia testejä. Alustavissa testeissä tarkasteltiin valitun aurinkopaneelin sekä suunnitellun prototyypilaturin toimintaa. Sääolosuhteiden ja aurinkoenergiamittarin toimituksen viivästymisen vuoksi aurinkopaneelin toimintaa ei päästy testaamaan normaaleissa käyttöolosuhteissa, joten sen testaamista jatkettaneen myöhemmin. Prototyypilaturin toimintaa tarkasteltiin lähemmin, sillä laturin hyötysuhteen tuli olla mahdollisimman hyvä. Hyötysuhdetavoite oli vähintään 95 prosenttia, jotta aurinkopaneelistä saatava teho ei menisi hukkaan.

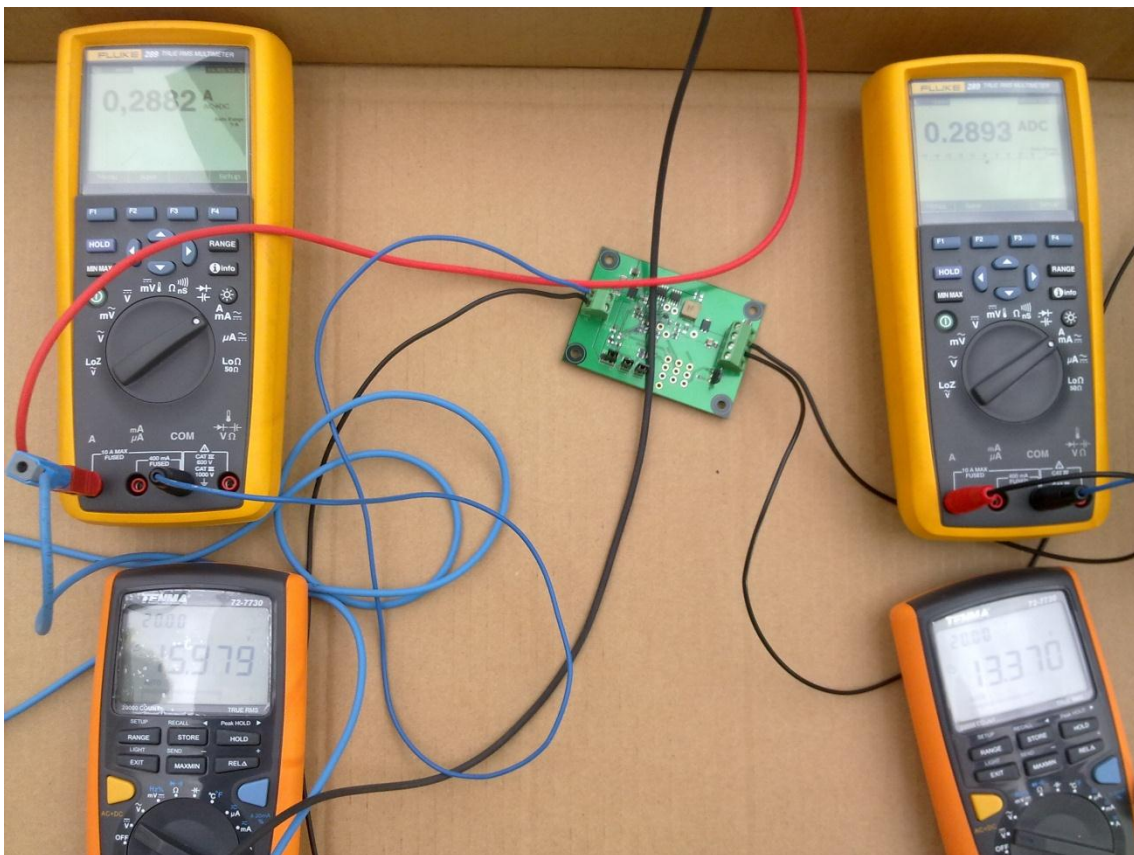
Laturin testauksessa käytettiin hyödyksi säädettävää teholähdettä, jonka avulla pystyttiin simuloimaan aurinkopaneelin tehontuottoa. Mittauksia tehtiin kahdelle eri laturille, jotta voitiin varmistua laturin toiminnasta. Laturi toimi odotetusti, ledit osoittivat latauksen tilan ja testipisteiden avulla pystyttiin tarkastelemaan laturin toimintaa. Valmis laturi on esitelty kuvassa 13.



KUVA 13. Prototyypilaturi

Mittauksista saaduilla tiedoilla laturin hyötysuhteeksi laskettiin noin 90 prosenttia, jolloin asetettuihin tavoitteisiin ei päästy. Kehitysideoita laturin hyötysuhteen parantamiseksi olisi muun muassa laturin tulopuolella tehoa kuluttavan diodin korvaaminen kanavatransistorilla eli fetillä sekä laturin piirilevyn optimointi. Testausta voisi tehdä myös piirin valmistajan suunnitteleman testilevyn, jolloin voitaisiin vertailla testituloksia prototyyppilaturin ja testilevyn välillä.

Kokonaisuutta testattiin pilvisellä ilmalla, mikä ei anna aurinkopaneelin toiminnasta oikeaa kuvaa. Kuten kuvasta 14 nähdään, aurinkopaneeli tuotti myös pilvisellä ilmalla pientä virtaa, jonka laturi käytti hyvin hyödykseen. Latauksen hyötysuhde jäi kumminkin reilusti alle 90 prosentin. Kuvassa vasemmanpuoleisilla yleismittareilla mitattiin aurinkopaneelin virran- ja jännitteentuotto (0,2882 ampeeria ja 15,979 voltia), oikeanpuoleisilla yleismittareilla latausvirta sekä -jännite (0,2893 ampeeria ja 13,370 voltia).



KUVA 14. Kokonaisuuden testaaminen

Aikataulullisista syistä testausta jatkettaneen opinnäytetyön ulkopuolella yrityksen omana työnä. Myöskään paranneltuja versioita laturista ei ollut tällä aikataululla mahdollista tehdä. Alustavat testit olivat kuitenkin onnistuneita ja niiden pohjalta kehitystyötä on hyvä jatkaa. Suomessa kesä on otollista aikaa aurinkopaneelijärjestelmien testaukseen. Jatkossa projektin kannalta keskeisessä roolissa on laturin hyötysuhteen parantaminen.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla akkuteknologioita, aurinkopaneeleita ja latauspiirejä sekä toteuttaa valitulla latauspiirillä aurinkoenergiaa hyödyntävän laturin prototyyppi. Selvityksessä vertailtiin olemassa olevia teknologioita ja valittiin yrityksen käyttöön parhaiten soveltuvat teknologiat. Valitut komponentit mitoitettiin tarpeiden mukaan toimivan kokonaisuuden saamiseksi.

Työ oli jaettu pääasiassa kahteen osaan, selvitystyöhön ja prototyyppilaturin suunnitteluun. Selvitystyössä käytiin läpi aiheeseen liittyvää teoriaa ja perehdyttiin olemassa oleviin teknologioihin kustakin osa-alueesta sekä valittiin yritykseen käyttöön tulevat teknologiat. Prototyyppilaturin suunnittelu toteutettiin Cadsoft Eagle 5.0 -ohjelmistolla. Ohjelmisto ei ollut ennestään tuttu, joten siihen tutustuminen ja käytön oppiminen veivät myös oman aikansa. Eaglen toiminnot tulivat kuitenkin melko nopeasti tutuksi, ja piirikaavio sekä layout saatiin valmiiksi ajallaan.

Koin opinnäytetyön aiheen erittäin mielenkiintoisena. Selvitystä tehdessä tuli perehdyttyä syvällisemmin aurinkoenergiaan ja sen tuomiin mahdollisuuksiin sekä prototyyppilaturia suunnitellessa pääsin tekemään opintoja vastaavia töitä ammattilaisen ohjauksessa.

Opinnäytetyö vaati paljon itsenäistä työskentelyä, jossa tiedonhaku oli keskeisessä roolissa. Myös opintojen kautta saadut pohjatiedot olivat tärkeitä asioiden ymmärtämisen kannalta. Opinnäytetyön aikana pääsin työskentelemään opintoja vastaavissa töissä alan ammattilaisen kanssa, jolta sain hyviä ohjeita ja neuvoja. Opinnäytetyön aikana opitut asiat ovat hyvänä lähtökohtana työelämää varten.

LÄHTEET

1. Lead-acid Batteries. 2012. Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries. Hakupäivä 17.4.2012.
2. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/66/EY. 2006. Paristoista ja akuista sekä käytetyistä paristoista ja akuista ja direktiivin 91/157/ETY kumoamisesta. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0066:FI:NO> T. Hakupäivä 17.4.2012.
3. Nickel-based Batteries. 2012. Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/Nickel_based_batteries. Hakupäivä 17.4.2012.
4. Lithium-based Batteris. 2012. Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries. Hakupäivä 17.4.2012.
5. Types of Lithium-ion. 2012. Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion. Hakupäivä 17.4.2012.
6. Lithium iron phosphate battery. 2012. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery. Hakupäivä 15.3.2012.
7. Discharging at High and Low Temperatures. 2012. Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/discharging_at_high_and_low_temperatures. Hakupäivä 17.4.2012.

8. Aurinkopaneeli. 2012. Saatavissa:
<http://www.aurinkoenergia.fi/Info/25/aurinkopaneeli>. Hakupäivä
 29.2.2012.
9. Aurinkopaneelit. 2012. Saatavissa:
<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>.
 Hakupäivä 3.4.2012.
10. Erat, Bruno – Erkkilä, Vesa – Löfgren, Timo – Nyman, Christer – Peltola, Seppo – Suokivi, Hannu 2001. Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Nurmijärvi: Kirjakas.
11. Aurinkosähköteknologiat. 2012. Saatavissa:
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>. Hakupäivä
 17.4.2012.
12. Energocredit. 2012. Saatavissa:
<http://www.energocredit.itnovations.ge/home>. Hakupäivä 24.3.2012.
13. BP Solar. 2012. Saatavissa: <http://www.bpsolar.us/>. Hakupäivä
 24.3.2012.
14. All about Chargers. 2012. Saatavissa:
http://batteryuniversity.com/learn/article/all_about_chargers. Hakupäivä
 17.4.2012.
15. How to Charge – When to Charge Table. 2012. Saatavissa:
http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_charge_when_to_charge_table. Hakupäivä 17.4.2012.
16. Battery Fuel Gauge. 2012. Saatavissa:
http://batteryuniversity.com/learn/article/the_battery_fuel_gauge.
 Hakupäivä 17.4.2012.

17. Free Sun Power. 2012. Saatavissa: <http://www.freesunpower.com/>.
Hakupäivä 27.3.2012.
18. Maximum Power Point Tracking Charge Controller. 2012. Saatavissa:
<http://www.windsun.com/ChargeControls/MPPT.htm>. Hakupäivä
24.4.2012.
19. Bryan Buckley. 2012. Saatavissa:
<http://bama.ua.edu/~bwbuckley/projects/mppt.html>. Hakupäivä
27.3.2012.
20. Battery Life. 2012. Saatavissa: <http://www.mpoweruk.com/life.htm>.
Hakupäivä 17.4.2012.