

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka, Tuotekehitys

2021

Roope Ollonqvist

LADATTAVAN MATKA-AKUN SUUNNITTELUTYÖ



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka, tuotekehitys

2021 | 29 sivua

Roope Ollonqvist

Ladattavan matka-akun suunnittelutyö

Opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuutta ottaa ladattava ja kannettava matka-akku osaksi yrityksen vihersiirtymää. Tehtävänä oli selvittää, onko mahdollista tehdä taloudellisesti ja tuotannollisesti valmistettava akkupaketti. Työn aikana suoritettiin suppea kysely siitä, paljonko veneilyssä tarvitaan vuorokauden aikana kapasiteettia, minkä kokoinen akku tarvitaan ja millä keinolla tämä määrä saataisiin ylläpidettyä, jotta tähän tarpeeseen pystytään vastaamaan. Aurinkovoimalla ladattavan akun ylläpitoajan selvittämiseksi pitää selvittää, paljonko tietyllä määrällä paneeleja saadaan virtaa.

Työ suoritettiin toimeksiantona Wallas-Marin Oy:lle. Yrityksen tämänhetkinen toiminta perustuu uusiutuvilla ja uusiutumattomilla polttonesteillä toimivien vene- ja mökkilämmittimien valmistukseen. Jatkuvasti yleistyvään sähkölämmitykseen ei ole tällä hetkellä vielä olemassa yrityksen myyntivalikoimassa tuotteita ja tähän tarpeeseen selvitettiin mahdollisuutta tarjota helposti kuljetettavia sähkönvarastointiyksiköitä, joilla voidaan tarjota tilapäinen ratkaisu veneellä tai mökillä tarvittavien sähkölaitteiden käyttöön.

Lopputuloksena Wallas-Marin Oy:n ei ole kannattavaa aloittaa kannettavien matka-akkujen kehitystä ja valmistusta. Valmistuksen aloittamista varten tarvittaisi lisää tiloja ja tuotekehityksessä mukana pysymiseen vaadittaisi huomattavia alkupääomia. Yrityksellä ei myöskään tällä hetkellä ole riittävää osaamista tältä alueelta, jolloin pitäisi perustaa kokonaan uusi yksikkö pelkkään akkutuotantoon- ja kehitykseen.

Asiasanat:

Suunnittelu, tuotekehitys, akkuteknologia,

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering, Product Development

2021 | 29 Pages

Roope Ollonqvist

Rechargeable power station design

The objective of this thesis was to find out how to make rechargeable and portable battery packs and if it is financially reasonable to start manufacturing them at Wallas-Marin Oy. The main target group is boaters, but it should also be usable for camping and cottage life. The main theme was financial, but before knowing how much it would cost to make power stations, it was important to know what was needed to make one.

The thesis begins with an explanation of the formulas required to calculate the properties of a power station. The thesis also explains when batteries were first invented and how lithium-ion batteries have been developed and how they work. Before determining the battery prices, it was necessary to know how much capacity is required. For this purpose, an inquiry was made of a medium-sized sailboat and how much energy it needs for a 24-hour period. After this, it was possible to start determining the number of batteries that would be needed and what other equipment the batteries needed to work properly.

Part of the thesis was to determine the parts that are used in building a portable battery pack. It is necessary to know how solar power works to be able to determine what components are needed in the battery pack for it to be able to charge from solar panels.

The results of the thesis were that it is not currently reasonable to start developing a new battery pack. Wallas-Marin Oy does not currently have enough facilities to start a battery pack factory. There is also a considerable number of similar products on the market at the moment, and to make something different, it would take a large amount of product development.

Keywords:

Planning, product development, battery technology,

Sisältö

1 Johdanto	1
1.1 Tavoite ja tausta	1
1.2 Toteutus	1
2 Sähkötekniikan perusteet	3
2.1 PUIMURI-sääntö	3
2.2 Kapasiteetin laskeminen	3
2.3 Laitteen tehon ja energiantarpeen laskeminen	5
2.4 Johdon paksuus	6
2.5 Veden keittäminen	7
2.6 Litiumioniakun toiminta	10
2.7 Litiumioniakun rakenne	11
3 Akkujen purkautuminen ja latautuminen	13
3.1 Akun purkautuminen	13
3.2 Akun latautuminen	14
3.3 Aurinkopaneelilataussäädin	14
3.4 200Wh akun teoreettinen latausaika 300 W aurinkopaneeleilla	16
4 Työssä selvitettävät kysymykset	20
4.1 Veneen keskimääräinen virrankulutus	20
4.2 MPPT-yksikön valinta	21
4.3 BMS-yksikön valinta	21
4.4 Akkujen hintavertailu	22
4.5 Tarkoitukseen parhaiten sopiva akkutyypä	23
4.5.1 18650 Li-ion	24
4.5.2 50Ah prismaattinen kenno Li-ion	24
4.5.3 18650 LiFePO4	24
4.5.4 50Ah prismaattinen kenno LiFePO4	24
4.6 Liitäntöjen toimintajännitteet	25
4.7 Tarvittavat osat	25

5 Yhteenveto ja päätelmät	26
----------------------------------	-----------

Lähteet	27
----------------	-----------

Laskukaavat

Kaava 1. $E = c * m * \Delta T$ Energian tarve nesteen lämmitykseen.	7
--	---

Kaava 2 $E = A * r * H * PR$ aurinkopaneelien lataustehon laskukaava.	17
---	----

Kuvat

Kuva 1. KytKentäohje.	4
-----------------------	---

Kuva 2. Ensimmäinen litiumioniakku (Liu 2019).	9
--	---

Kuva 3. Litiumioniakun sisältö.	11
---------------------------------	----

Kuva 4 Elektrolyyttivaihtoehtojen kemialliset ominaisuudet.	12
---	----

Kuva 5 Akussa purkautumisen aikana tapahtuva reaktio.	13
---	----

Kuva 6 Akussa latautumisen aikana tapahtuva reaktio.	14
--	----

Kuva 7. MPPT- ja PWN-lataustehon ero.	15
---------------------------------------	----

Kuva 8 Aurinkosäteilyn määrä (Globalsolaratlas 2021).	19
---	----

Kuva 9 Esimerkkiveneen sähkönkulutus.	20
---------------------------------------	----

Taulukot

Taulukko 1 RETScreen ohjelman tuloksia.	18
---	----

Taulukko 2 1688.com akkuvertailu.	22
-----------------------------------	----

Taulukko 3 Tukkurin hintoihin perustuva akkuvertailu.	23
---	----

Käytetyt lyhenteet

Anodi	Negatiivinen akun elektrodi
BMS	Battery Management System
DEC	Dietyylikarbonaatti
DMC	Dimetyylikarbonaatti
EC	Etyleenikarbonaatti
EMC	Etyylimetyylikarbonaatti
Katodi	Positiivinen akun elektrodi
LiC	Litium-grafiitti
LiCoO ₂	Litium-kobolttioksidi
LiFePO ₄	Litium-rauta-fosfaatti
LiMn ₂ O ₄	Litium-mangaanioksidi
LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄	Litium-nikkeli-mangaani-spinelli
LiNiCoAlO ₂	Litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi
LiNiCoMnO ₂	Litium-nikkeli-koboltti-mangaanioksidi
LTO	Litium-titaani
MPPT	Maximum Power Point Tracker
PC	Propyleenikarbonaatti
PWM	Pulse Width Modulation
W _p	Piikkiwattiteho

1 Johdanto

1.1 Tavoite ja tausta

Wallas-Marin Oy on vuonna 1972 perustettu osakeyhtiö. Yrityksen toiminta perustuu dieselillä ja valopetrolilla toimivien liesien ja lämmittimien valmistukseen ja myyntiin. Wallas-Marin Oy on yksi maailman suosituimmista venelämmitinmerkeistä. Yrityksen toimitilat sijaitsevat Kaarinassa ja jälleenmyyjä on ympäri maailmaa.

Opinnäytetyössä tehdään selvitys kannettavien ja ladattavien matka-akkujen valmistus, ja jälleenmyyntimahdollisuuksista. Tarkoitus on laajentaa yrityksen toimintaa sähköllä toimivien laitteiden osalta. Akkupakettien suunniteltu käyttökohde on veneet, joissa on erilaisia sähkökäyttöisiä mukavuuslaitteita, kuten liesi, jääkaappi ja kahvinkeitin. Muita käyttökohteita on esimerkiksi matkailuautot ja vaunut, sekä mökit.

Lopputuloksen tavoitteena on tehdä riittävän kattava selvitys kannettavien ja ladattavien matka-akkujen valmistuksen kustannuksista, että yrityksellä on parempi pohja päättää, onko niiden tuotekehitystä järkevää tämänhetkisten resursien puitteissa aloittaa.

1.2 Toteutus

Työssä täytyy ymmärtää sähkötekniikan lisäksi akkujen kehitys tähän asti, joka selvitetään tutkimalla akkujen historia lyhyesti. Olemassa on useita erilaisia akkutekniikoita ja -kemioita, joten tutkitaan, mikä on helposti mukana kuljetettavaan ja nopeasti ladattavaan akkupakettiin sopivin vaihtoehto. Akkupaketin täytyy olla myös jollain muulla keinolla, kun pistokkeesta ladattava, sillä tarkoitus on ottaa se mukaan esimerkiksi veneilemään, jossa ei ole mahdollista ladata normaalilla pistokkeella. Tähän tarkoitukseen selvitetään aurinkoenergian käytettävyyttä.

Tarvittavia tietoja ennen paketin suunnittelemista ovat sen käyttökohteet. Keski-vertoveneilijän vuorokauden sähköntarve täytyy tietää, jotta siihen pystyy vastaamaan. Tätä varten täytyy tehdä selvitys. Akkupaketin sisältö täytyy myös tuntea, jotta sellaisen valmistuskustannuksia pystyy laskemaan. Työhön sisältyy myös käännteissuunnittelua, jossa ostetaan valmis paketti ja tutkitaan sen sisältöä, sekä pohditaan mitä siitä täytyy muuttaa, jotta se vastaa tarpeeseen. Akkupaketin osien kustannusten lisäksi täytyy selvittää, onko yrityksellä riittävät tilat ja henkilöstö tuotantoon.

2 Sähkötekniikan perusteet

2.1 PUIMURI-sääntö

PUIMURI-sääntö on tässä työssä erittäin kätevä työkalu, koska tärkeimmät laskut koskevat nimenomaan tehoa, virtaa, jännitettä sekä resistanssia. Tällä säännöllä tarkoitetaan $P=U \cdot I$ ja $U=R \cdot I$ laskuja.

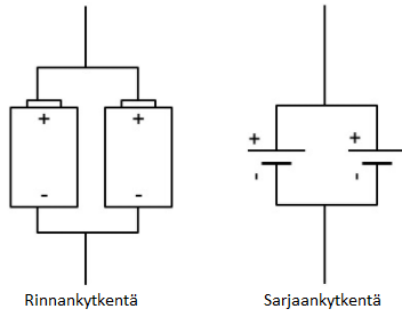
- P = teho (W, watti),
- U = jännite (V, voltti),
- I = virta (A, ampeeri),
- R = resistanssi (Ω , ohmi).

Kun tiedetään kaksi arvoa kummasta tahansa lausekkeesta, loput saadaan helposti laskettua näitä kaavoja seuraamalla.

2.2 Kapasiteetin laskeminen

Asentamalla akkusoluja sarjaan saadaan kasvatettua akun kokonaisjännitettä ja asentamalla rinnan saadaan kasvatettua kokonaiskapasiteettia.

Akun kapasiteetin selvittämiseksi täytyy laskuihin lisätä aika. Kapasiteetti ilmoitetaan wattitunteina tai kilowattitunteina. Kilowattitunnit saadaan laskettua lisäämällä käytettävään tehoon aika. Esimerkiksi 1000 W tehoisen laitteen tunnin käytön energiantarve on 1000 Wh eli 1 kWh. (Kotkansaaren koulu 2021.)



Kuva 1. KytKentäohje.

Esimerkiksi, jos rakennetaan hypoteettinen akku 3,7V 3000mAh soluista ja asennetaan neljä kappaletta sarjaan, saadaan

$$3,7V * 4 = 14,8 V \text{ jännitettä.}$$

Jos asennetaan 3000 mAh soluja rinnan viisi kappaletta, saadaan

$$5 * 3000 \text{ mAh} = 15000 \text{ mAh kapasiteettia.}$$

Muuttamalla milliampeeritunnit ampeeritunneiksi saadaan laskettavat yksiköt suoraan wattitunneiksi. Tämä helpottaa käytettävien laitteiden tarvitseman energiamäärän vertaamista.

Kun lasketaan tämä 14,8 V ja 15 Ah yhteen, saadaan 222 Wh, josta on jo helppo laskea, kauanko jotain tiettyä laitetta pystytään käyttämään.

2.3 Laitteen tehon ja energiantarpeen laskeminen

Laitteen teho lasketaan watteina. Esimerkiksi keskiverto hiustenkuivaajan teho on noin 1500 W. Jos sitä käytetään kuusi minuuttia, sen energian tarve on 150 Wh. Tämä saadaan muuntamalla ensin minuutit tunneiksi ja sen jälkeen yhdistetään teho ja aika.

$$6\text{min}=0,1\text{ h}$$

$$0,1\text{ h} * 1500\text{ W} = 150\text{ Wh}$$

Tehon määrää ei yleensä tarvitse laskea, koska se on valmistajan toimesta laskettu ja ilmoitettu. Mikäli tehdään ja käytetään jotain omatekoisia laitteita, tarvitaan laskuja niistä. Energiantarpeen laskuja tarvitaan akkupaketin kokonaiskapasiteetin tarpeen selvittämiseksi.

2.4 Johdon paksuus

Johdotusta ajatellen on kannattavaa tehdä suurella jännitteellä ja pienellä virralla varustettu paketti. Tällöin voidaan tehdä johdotukset huomattavasti ohuemmasta johdosta.

Käytettäessä 12 V järjestelmää tarvitaan 169 A virtaa, jotta saadaan 2,5 kW tehoa tuotettua. Tällöin tarvitaan 35 mm² poikkipinta-alaltaan olevaa johtoa, jotta se pystyy kuljettamaan tarvittavan virtamäärän ilman ylikuumenemista. 48 V järjestelmässä riittää 52 A virtaa, jolloin riittää 10 mm² kaapeli.

Tämän laskemiseen on olemassa laskuri.

<https://www.fabhabs.com/dc-cable-sizing-calculator>

2.5 Veden keittäminen

Yksi osa työtä on selvittää asiakkaille, mitä kaikkea paketilla pystyy käyttämään ja kuinka kauan, ja esimerkiksi paljonko tarvitaan tehoa esimerkiksi siihen, että keitetään pasta kypsäksi.

- E = energia
- c = ominaislämpökapasiteetti
- m = massa
- ΔT = lämpötilan muutos

Kaava 1. $E = c * m * \Delta T$ Energian tarve nesteen lämmitykseen.

Aluksi lasketaan yhden vesikilogramman lämmitys 20 asteesta 100 asteeseen

$$E = 4,19 \text{ kJ/kg} * ^\circ\text{C} * 1 \text{ kg} * 80^\circ\text{C} = 335,2 \text{ kJ} = 93,1 \text{ Wh}$$

2000 W induktiolieden hyötysuhde on noin 90 %, joten vettä täytyy pitää levyllä

$$93,1 \text{ Wh} / 2000 \text{ W} = 0,04655 \text{ h} \text{ eli noin } 2,8 \text{ minuuttia.}$$

Tämän lisäksi pasta kypsyy 8 minuuttia. Mikäli pidetään täydellä teholla, energiaa kuluu kypsymisvaiheeseen

$$2000 \text{ W} * 0,13 \text{ h} = 266,66 \text{ Wh.}$$

Kuitenkin arvioidaan, että 60 % teholla riittää eli 1200 W teholla.

$$1200 \text{ W} * 0,13 \text{ h} = 156 \text{ Wh}$$

$$\text{Koko projektiin kuluu siis } 93,1 \text{ Wh} + 156 \text{ Wh} = 249,1 \text{ Wh}$$

Tämä testattiin todellisuudessa. Veden kiehautukseen huoneenlämpöisestä 100-asteiseksi kesti 220 sekuntia 1800 W teholla, koska paketti ei enempää antanut. Kokeen mukaan vesi saadaan pidettyä kiehumislämpötilassa 1000 W teholla. Tästä saadaan laskettua käytetty teho ja kuinka suuri osa akusta menee vesilitran kiehauttamiseen. Veden saamiseen kiehumispisteeseen menee energiaa

$$1800 \text{ W} * 220 \text{ s} / 3600 \text{ s} = 110 \text{ Wh}$$

8 min keittämiseen meni energiaa

$$1000 \text{ W} * 480 \text{ s} / 3600 \text{ s} = 133,33 \text{ Wh}$$

Yhteensä pastan kypsymiseen meni

$$110 \text{ Wh} + 133,33 \text{ Wh} = 243,33 \text{ Wh}$$

Mikäli akkupaketin kokonaiskapasiteetti on 2 500 Wh, siitä kuluu

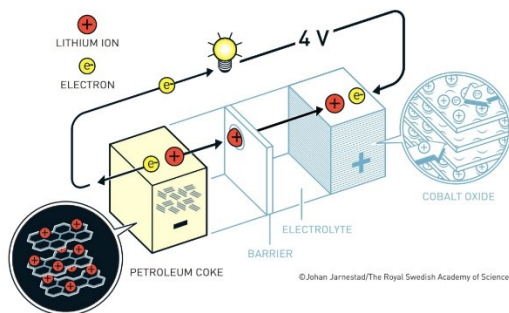
$$243,33 * 100 / 2500 = 9,73 \%$$

2500 Wh akulla saa tehtyä kymmenen pasta-annosta.

Akkujen historia

Akkuja on kehitetty 1700-luvun lopulta asti, kun italialainen fyysikko Alessandro Volta rakensi ensimmäisen akun. Ensimmäisen käyttökelpoisen akun Volta kehitti vuonna 1800, ja akku tunnetaan nykyään nimellä "voltan pylväs". Kyseinen pylväs koostui sinkki- ja hopealevyistä, jotka oli erotettu toisistaan joko natriumhydroksidiin tai suolaliuokseen kastetuilla paperi- tai kangasliuskoilla.

Ensimmäisen ladattavan lyijyakun kehitti ranskalainen Gaston Planté vuonna 1859. Ensimmäisen litiumioniakun tyyppisen akun kehitti 1970-luvulla Stanley Whittingham, minkä kehitys lopetettiin sen vaarallisuuden vuoksi. Vaaralliseksi sen teki sen kemia, jossa käytettiin litium-metallia anodina ja titaania katodina, joka yhdistelmänä oli turhan räjähdysherkkä. Uudelleen sen kehitti 1980-luvulla John.B. Goodenough, joka sai akun turvalliseksi vaihtamalla alkuperäisen titaanisen katodin litium-koboltti-oxidikatodiksi. Viisi vuotta myöhemmin japanilainen Akira Yoshino vaihtoi reaktiivisen litium-metallianodin litium-hiilipohjaiseksi, mikä muutti akun vakaammaksi. (Schumm 2020.)



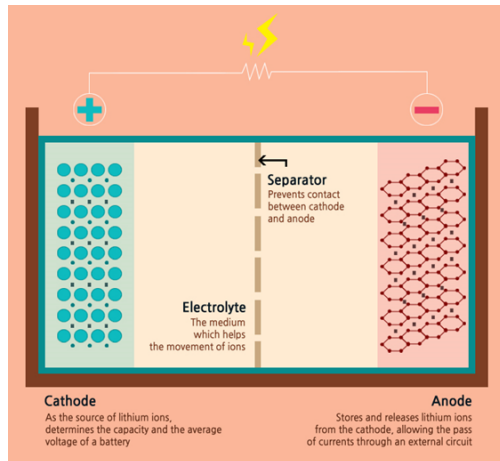
Kuva 2. Ensimmäinen litiumioniakku (Liu 2019).

2.6 Litiumioniakun toiminta

Litiumioniakussa on useita yksittäisiä soluja, jotka on yhdistetty toisiinsa. Jokainen solu koostuu neljästä osasta, jotka ovat katodi, anodi, erottaja ja elektrolyytti. Katodi on solun positiivinen elektrodi, jonka tarkoituksena on pystyä varastomaan mahdollisimman paljon elektroneja, muuttamatta kuitenkaan rakennettaan varautuessaan. Mikäli rakenne muuttuu, se saattaa haljeta ja lopettaa tällöin elektronien varastoimisen tehden akusta toimintakelvottoman.

Katodissa tapahtuu pelkistyminen, jolloin siinä käytetty materiaali yhdistyy litiumionien kanssa. Anodi on solun negatiivinen elektrodi, jossa puolestaan tapahtuu hapettuminen. Siinä litiumionit yhdistyvät hiilimolekyylien kanssa. Erottajan tehtävänä on erottaa anodi ja katodi toisistaan, estäen akun sisäisen oikosulun syntymisen. Elektrolyyttinä toimii jokin muu kuin vesipohjainen liuos, koska sen täytyy olla sähköä johtavaa. Akun purkautuessa, eli akkua käytettäessä positiivisesti varautuneet litiumionit liikkuvat anodista elektrolyytin läpi katodiin, jossa ne kiinnittyvät siinä käytettyyn materiaaliin. (Chapman 2019.)

Näiden lisäksi akkukennon toimintaan tarvitaan BMS yksikkö joka vahtii ja säätelee mm. yksittäisten solujen jännite-eroa, kapasiteettia ja lämpötilaa. Turvallisuuden näkökulmasta BMS on myös tarpeellinen, koska se pitää huolen, ettei akkua pysty ylilataamaan ja täten vahingoittamaan sitä, tai pahimmassa tapauksessa syttymään tuleen. BMS voi hallita myös akkujärjestelmässä olevia pumppuja, tuulettimia ja lämmittämiä, jotta akusto pysyy optimitoimintalämpötilassaan. (Pistoia 2009.)



Kuva 3. Litiumioniakun sisältö.

2.7 Litiumioniakun rakenne

Anodi

Anodivaihtoehtoja ei kovin montaa ole tällä hetkellä vielä olemassa, mutta vaihtoehtoina voidaan käyttää:

- Litium-titaani (LTO)
- litium-grafiitti (LiC)

Katodi

Katodivaihtoehtoja on hyvinkin useita mm:

- litium-nikkeli-koboltti-mangaaniodi (LiNiCoMnO_2)
- litium-rauta-fosfaatti (LiFePO_4)
- litium-nikkeli-mangaani-spinelli ($\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$)
- litium-nikkeli-koboltti-alumiiniodi (LiNiCoAlO_2)
- litium-mangaaniodi (LiMn_2O_4)
- litium-kobolttiodi (LiCoO_2)

Erottaja

Erottajana toimii usein polyolefiiniset materiaalit, eli polyeteeni- ja polypropyleenimuovit niiden olemattoman sähkönjohtavuuden vuoksi. Erottajan tehtävä on pitää anodi ja katodi irti toisistaan oikosulun välttämiseksi. (Li 2016.)

Elektrolyytti

Useimmiten elektrolyyttinä toimii jokin muu kuin vesipohjainen liuos, koska sen täytyy olla sähköä johtavaa. Esimerkiksi jokin seuraavista:

- Etyleenikarbonaatti (EC)
- propyleenikarbonaatti (PC)
- dimetyylikarbonaatti (DMC)
- etyylimetyylikarbonaatti (EMC)
- dietyylikarbonaatti (DEC)

(Li, 2016)

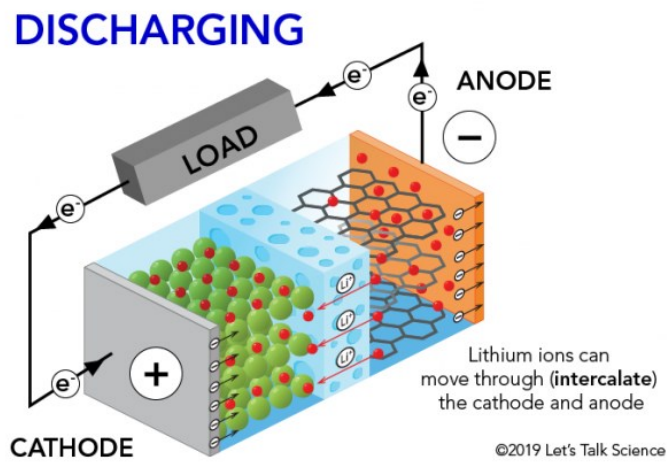
Solvent	FW	d , g cm ⁻³ (25 °C)	ϵ_r (25 °C)	η , mPa s (25 °C)	E_{homo} , eV	E_{lumo} , eV	mp, °C	bp, °C	fp, °C
Ethylene carbonate (EC)	88	1.32 (40 °C)	90 (40 °C)	1.9 (40 °C)	-12.86	1.51	36	238	143
Propylene carbonate (PC)	102	1.2	65	2.5	-12.72	1.52	-49	242	138
Dimethyl carbonate (DMC)	90	1.06	3.1	0.59	-12.85	1.88	5	90	17
Ethyl methyl carbonate (EMC)	104	1.01	3	0.65	-12.71	1.91	-53	108	23
Diethyl carbonate (DEC)	118	0.97	2.8	0.75	-12.59	1.93	-74	127	25

Kuva 4 Elektrolyyttivaihtoehtojen kemialliset ominaisuudet.

3 Akkujen purkautuminen ja latautuminen

3.1 Akun purkautuminen

Akun purkautuessa negatiivisesta anodista liikkuu positiivisesti varautuneita litiumioneja elektrolyyttiä pitkin kohti positiivista katodia. Kun ionit saavuttavat katodin, ne "imeytyvät" siihen. (Chapman 2019.)

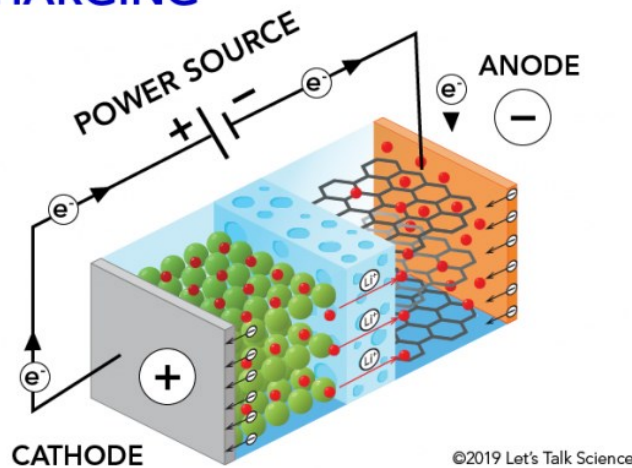


Kuva 5 Akussa purkautumisen aikana tapahtuva reaktio.

3.2 Akun latautuminen

Akun latautuessa tapahtuu päinvastainen reaktio. Kun laturi laitetaan päälle, litiumionit pakotetaan liikkumaan takaisin katodista kohti anodia. (Haro 2021).

CHARGING



Kuva 6 Akussa latautumisen aikana tapahtuva reaktio.

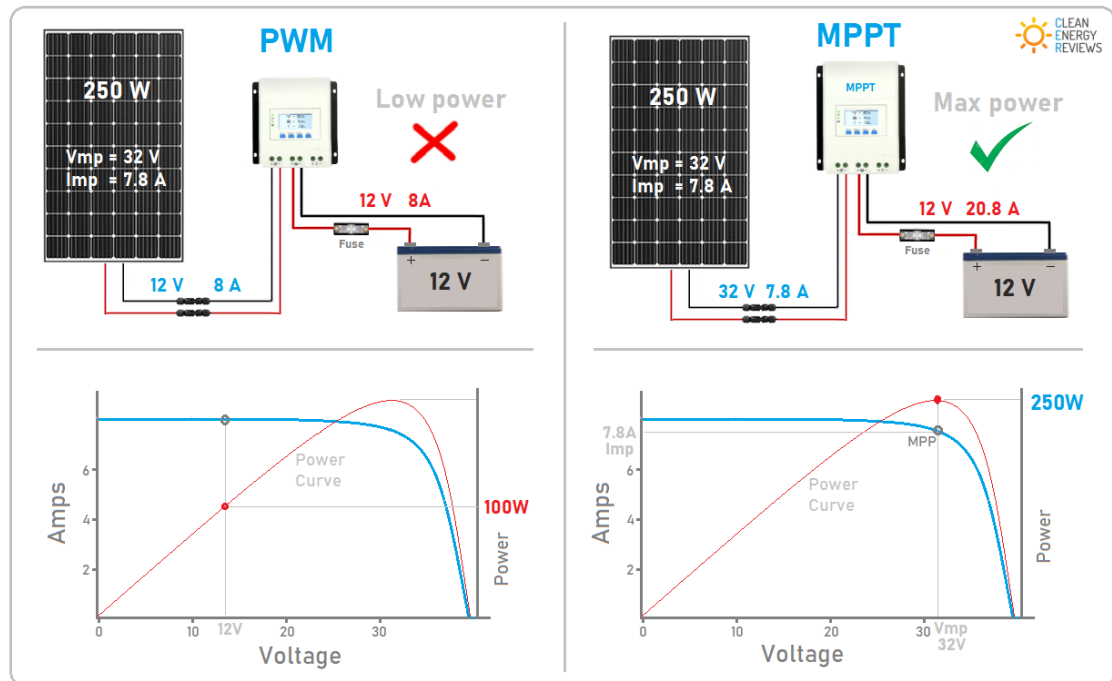
3.3 Aurinkopaneelilataussäädin

Laite, joka yhdistetään aurinkokennojen ja akun väliin. Sillä estetään akun yllätaaminen ja varmistetaan, että akku latautuu oikein. Aurinkopaneelilataussäätimet luokitellaan niiden maksimitulojännitteen ja maksimilatausvirran perusteella ja nämä määrittelevät sen, montako paneelia voidaan yhdistää yhteen säätimeen.

Käytössä on kahdenlaisia säätimiä. PWM- ja MPPT-säätimet. PWM-säätimen toiminta perustuu transistorin nopeaan aukaisemiseen ja sulkemiseen. Aluksi kytkin pysyy kokonaan auki, kunnes on saavutettu akun maksimilatausjännite. Tämän jälkeen transistori aukeaa ja sulkeutuu satoja kertoja sekunnissa pitäen näin jännitteen sopivana. Ongelmana tässä säätimessä on paneelin jännitteen merkittävä alentuminen akun jännitteelle sopivaksi. Latausteho ei ole optimaalinen, jos ei voida hyödyntää paneelien korkeampaa jännitettä.

MPPT säätimen toiminta perustuu jatkuvaan jännitteen ja virran seurantaan ja näiden parhaan hyötysuhteen löytämiseen, eli säädin hakee korkeimman saatavilla olevan paneelijännitteen ja virran leikkauspistettä. (Svarc 2020.)

Alla olevasta kuvasta selviää PWM- ja MPPT-säätimien oleellinen ero. PWM pitää jännitteen paljon alhaisempana, jolloin latausnopeus on hitaampi.



This comparison highlights the problem with using a higher voltage solar panel on a 12V battery without MPPT

Kuva 7. MPPT- ja PWN-lataustehon ero.

MPPT-säätimen valinnassa täytyy ottaa huomioon sen virranjakamisen maksimimäärä, koska vaikka paneelit olisivat kykenevät tuottamaan 80 A, mutta MPPT on kykenevä vain 40 A, latausvirta on silloin maksimissaan 40 A. Toinen huomioitava asia on ulostulojännite. Yleisimmät ovat 12 V ja 24 V, mutta voi olla myös suurempia. Kolmas asia on sisääntulojännite, joka on huomattavasti korkeampi, kuin ulostulojännite, koska MPPT säätää jännitteen sopivaksi latausta varten. Jos sisääntulojännite on 100 V, se kestää esimerkiksi 4kpl sarjaan asennettuja 25 V 100 W paneeleja, tai mitä vain alle 100 V jännitteen (Renogy 2019.)

Maksimimäärä virtaa liikahtaa, kun piiri menee oikosulkuun. Normaalisti tämä ei ole hyvä asia, mutta aurinkopaneeleissa usein testataan maksimi ulostulo sulke-
malla piiri. Tämä on mahdollista ainoastaan silloin, kun ei ole ollenkaan jännitettä,
joka käräyttäisi koko systeemin. MPPT kykenee tämän testauksen jälkeen hake-
maan sitä maksimivirran kohtaa, jossa piiri ei mene vielä oikosulkuun ja täten
löytämään optimaalisen lataustehon, kun se hakee samalla korkeinta jännitettä.

3.4 200Wh akun teoreettinen latausaika 300 W aurinkopaneeleilla

Aurinkopaneelin lataustehoon vaikuttavat

- paneelien hyötysuhde
- paneelien sijainti
- paneelien asento.

Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään jakamalla sen nimellisteho pinta-alalla
ja standardiolosuhteiden säteilymäärällä, joka on 1000 W/m^2 . Nimellisteholtaan
 100 W_p ja pinta-alaltaan $1,89 \text{ m}^2$:n aurinkopaneelin hyötysuhde voidaan laskea
seuraavasti (Bruce 2021.)

Laskussa käytetty satunnaista esimerkkipaneelia 100 W_p piikkiwattiteholtaan,
joita asennettu kolme kappaletta sarjaan 300 W saavuttamiseksi.

$$300 \text{ W} / (1,89 \text{ m}^2 * 1000 \text{ W/m}^2) = 0,159 \approx 16 \%$$

- E = energia
- A = paneelien kokonaispinta-ala
- r = paneelien hyötysuhde
- H = vuotuinen keskimääräinen aurinkosäteily kallistettuihin paneeleihin
(Current Results 2021).
- PR = yhteenlaskettu häviö ulkoisista muuttujista. Oletusarvo 75 %. Tä-
hän vaikuttavia asioita ovat invertterin häviö (4–10 %), lämpötilan muutos
(5–20 %), kaapelihäviöt (1–6 %), varjot (0–80 %), heikko säteilymäärä
(3–7 %), pöly tai lumi (2 %), jne. (Motiva 2021.)

Kaava 2 $E = A * r * H * PR$ aurinkopaneelien lataustehon laskukaava.

Kun lasketaan aikaisemmin käytetyillä arvoilla, saadaan

$$E = 1,89 \text{ m}^2 * 0,16 * 1272 \text{ kWh/m}^2 * 0,75 = 288,49 \text{ kWh vuodessa.}$$

Tämä lasku on vuositasolla, mutta veneiden käyttöaika on keskimäärin touku-kuun ja syyskuun välissä. Arvoa voidaan muuttaa siten, että saadaan keskiarvo touko-syyskuun ajalta. (Current Results 2021.)

Touko, - kesä, - heinä, - elo, - syyskuussa on noin 60 % vuoden auringonpisteestä Suomessa, joten arvioimme sen mukaan vuorokauden latausmahdollisuuden. Kaaviosta näkee kuukausikohtaisen säteilyn, mutta annettu säteily on suoraa säteilyä ilman atmosfäärin vaikutusta, joten taulukosta ei voi ottaa suoraan säteilyarvoja, vaan pelkän prosenttiluvun laskua varten.

Horizontal radiation		Percent of yearly radiation
Turku		
	0,34	1,03 %
	1,07	3,24 %
	2,45	7,42 %
	3,99	12,08 %
	5,49	16,62 %
	5,67	17,17 %
	5,35	16,20 %
	4,12	12,47 %
	2,65	8,02 %
	1,2	3,63 %
	0,5	1,51 %
	0,2	0,61 %
Total	33,03	100,00 %
Average	2,7525	
touko-syys avg	4,656	62,46 %

Taulukko 1 RETScreen ohjelman tuloksia.

$$288,49 \text{ kWh} * 0,6 = 172,8 \text{ kWh}$$

Jaetaan energian määrä päivillä.

$$173 \text{ kWh} / 123 \text{ vrk} = 1,4 \text{ kWh/vrk}$$

Jaetaan energian määrä vielä tunneille, jolloin auringonpaistetta on. Aurinkoista keliä on heinäkuussa keskimäärin 8,5 tuntia päivässä. (Current Results 2021).

$$1,4 \text{ kW per vuorokausi} / 8,5 = 0,175 \text{ kW per tunti lataustehoa.}$$

Lataustehoksi saatiin 1,4 kWh/vuorokausi optimaalisissa olosuhteissa. Ilman yhtään kulutusta saadaan ladattua vuorokauden aikana 2,5 kWh akkupakettia 56 % sen kokonaiskapasiteetista.

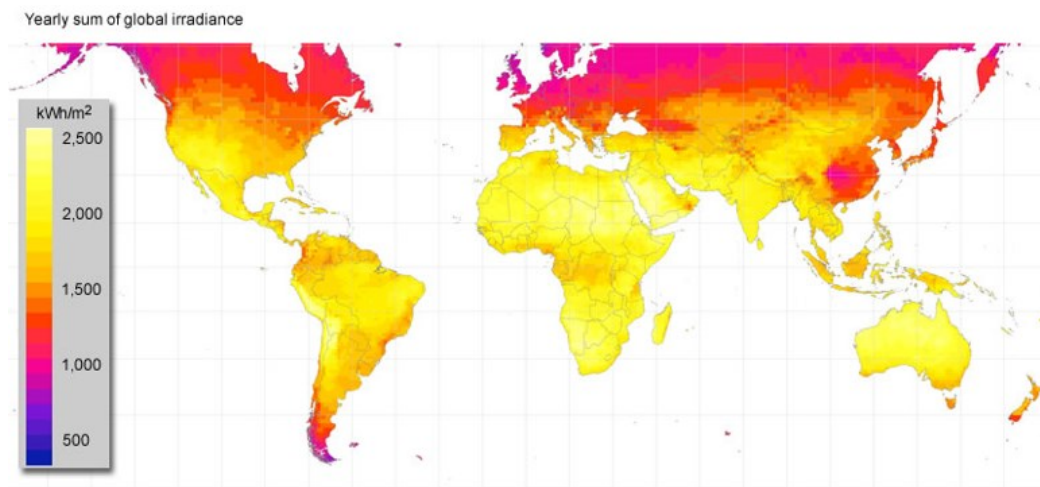
Esimerkkiveneen sähkönkulutus jaettuna vuorokauden tunneiksi saadaan 110 wattia tunnissa energian kulutusta. Tällä kulutuksella ja aurinkoisena päivänä aikaisemmin lasketulla latausteholla akku ei tyhjene ollenkaan, vaan latautuu 65 Wh tunnin aikana.

Auringonlaskun jälkeen purkautuminen jatkuu, mutta lataus keskeytyy. Jäljelle jäävän 15,5 tunnin aikana akku purkautuu 1,705 kWh, mutta ei lataudu. Kun aurinko alkaa taas paistaa, 8,5 tunnin aikana edellisen yön häviöstä saadaan palautettua 552,5 Wh. Toisena päivänä energiaa on käytettäväksi enää

$$2,5 \text{ kWh} - 1,705 \text{ kWh} + 0,5525 \text{ kWh} = 1,3475 \text{ kWh}.$$

Näillä laskuilla akku jostain on karsittava kuluja, jotta saa akun kestävämpään pidemmän, kuin kolmen päivän reissun.

Kuvasta näkee keskimääräisen vuosittaisen säteilyn jakautumisen planeetalla.



Kuva 8 Aurinkosäteilyn määrä (Globalsolaratlas 2021).

4 Työssä selvitettävät kysymykset

4.1 Veneen keskimääräinen virrankulutus

Anonyymisti annetussa selvityksessä 42 jalkaisen purjevereen sähkönkulutus, jota käytetään työssä sopivana kohteena. Jotta pystytään valitsemaan sopivan kokoinen akkupaketti veneeseen, täytyy ensin mitoittaa veneessä olevien sähkölaitteiden kulutus. Esimerkkiveneen keskimääräiseksi sähkönkulutukseksi on laskettu 2634,3 Wh vuorokaudessa.

Nro	LAITE	Kulutus/teho W	Käyttö h/vrk	Energiantarve vuorokaudessa Wh	Kriittisyys: 1=välttämätön, 2=tärkeä, 3=mukavuus	teakku	paraa-ajan akku	in maasähkö	220 AC	12 V	5V	Kiinteä asennus
1	Ankurivalo	1	8	8	1	x			x			x
2	GPS+Heading kompassi	1	24	24	1	x				x		x
3	Harmaavesipumppu	120	0,11	13,2	1	x				x		x
4	Kulkuvalot	7	0	0	1	x						x
5	Painevesipumppu	60	0,22	13,2	1	x				x		x
6	Navigointimittarit	20	10	200	1	x				x		x
7	Plotteri / PC	10	10	100	1	x				x		x
8	Sisävalaistus	10	1	10	1	x				x		x
9	WC pumppu	70	0,02	1,4	1	x				x		x
10	Äänitorvi	200	0	0	2	x				x		x
11	AIS transiever	3	10	30	2	x				x		x
12	Akkulaturi	400	0	0	2		x	x				x
13	Akkumonitori	0,5	24	12	2	x				x		x
14	Alusmonitori	2	24	48	2	x				x		x
15	Autopilotti	60	7	420	2	x				x		x
16	Invertteri	14	24	336	2	x				x		x
17	Jääkaappi	70	8	560	2	x	x					x
18	Kansivalot	25	0	0	2	x				x		x
19	Kiertovesipumppu	15	0	0	2	x				x		x
20	Diesellämmitin (vesikierto)	32	1	32	2	x				x		x
21	Pilssipumppu	10	0	0	2	x				x		x
22	Radio	2	2	4	2	x				x		x
23	Septin tyhennyspumppu	150	0	0	2	x				x		x
24	Tutka + vaaitustoimilaite	20	3	60	2	x				x		x
25	Vesikone	200	0	0	2	x				x		x
26	VHF	6	2	12	2	x				x		x
27	Ankuriketjulaskuri	0,5	24	12	3	x				x		x
28	Antennivahvistin	0,5	24	12	3	x				x		x
29	Avotilan valot	4	0	0	3	x				x		x
30	Hiustenkuivaaja	1000	0,05	50	3	x	x					
31	Hytti- ja WC tuulettimet	2	5	10	3	x				x		x
32	Kahvinkeitin	350	0,1	35	3	x		x				
33	Lämmitysvastus	1200	0	0	3		x	x				x
34	Liesituuletin	1	2	2	3	x				x		x
35	Mastokamera	1	1	1	3	x				x		x
36	Pakastin	40	8	320	3	x				x		x
37	Partakone	6	0	0	3	x	x		x			
38	Pesukone	2000	0	0	3			x	x			x
39	Pölynimuri	375	0,1	37,5	3	x	x					
40	Pöytätuuletin	100	0	0	3	x		x				
41	Puhallinpatteri	5	0	0	3	x			x			x
42	Sähköperämoottori	350	0,5	175	3	x				x		
43	Sähköperämoottorin laturi	200	0	0	3			x				
44	Tehosekoitin	200	0	0	3	x		x				
45	Tuullilasin pyyhin	30	0,1	3	3	x				x		x
46	TV	10	2	20	3	x		x				x
47	WIFI reititin	2	24	48	1	x				x		x
48	USB latauspistokkeet	25	1	25	3	x				x		x
				2634,3								

Kuva 9 Esimerkkiveneen sähkönkulutus.

4.2 MPPT-yksikön valinta

Yksikön täytyy olla kykenevä antamaan 48 V ulostulojännitettä, jotta ei tarvita erikseen muuntajaa laturin ja MPPT:n väliin.

Avoin piirijännite on 100 watin paneelilla jotain 20 V ja 24 V välistä, joten 300 watin paneelisiin se pysyy alle 75 V, joten avoimen piirijännitteen ei tarvitse olla sitä suurempi. Mitä suuremman latausvirran näihin vaatimuksiin saa, sen parempi.

Victronin 75/10 MPPT yksikön maksimijännite on 75 V, eli siihen pystyy yhdistämään aurinkopaneeleja sen verran, että niiden yhteenlaskettu avoin piirijännite ylittää 75 V. Maksimi latausvirta on 10 A. Toimii vain 12- ja 24 V järjestelmiin eli ei käy tähän.

Victronin 100/20 MPPT yksikön maksimijännite on 100 V ja maksimi latausvirta 20 A. Toimii myös 48 V järjestelmään.

4.3 BMS-yksikön valinta

Invertteriksi valitaan 2,5 kW laite, jolloin akusta laitteelle syötettävä maksimiteho on 2,5 kW. Maksimivirta on $2500\text{W} / 48\text{ V} = 52,08\text{ A}$. Akun suojaamiseksi riittää 60 A BMS.

4.4 Akkujen hintavertailu

Erään kiinankauppaan erikoistuneen tukkurin selvittämänä maksoivat seuraavasti

- Li-ion 18650 2600 mAh maksaa 1,4 USD/kpl
- Li-ion 18650 3200 mAh maksaa 2.1 USD/kpl
- LiFePO4 18650 2000 mAh maksaa 1,2 USD/kpl
- LiFePO4 50 Ah kenno maksaa 31 USD/kpl

Näihin hintoihin ei sisälly muuta kuin itse tuotteen hinta.

Kiinalaisesta verkkokaupasta selattuna muutama esimerkki

1688.com	mAh	CNY ¥	USD \$	EUR €	mAh/EUR
LiFePO4					
18650	1500	7,50	1,13	0,98	1538,46
	1100	8,80	1,33	1,14	961,54
	1500	5,30	0,80	0,69	2177,07
	1100	8,20	1,24	1,07	1031,89
	1800	13,00	1,97	1,69	1065,09
1688.com	mAh	CNY ¥	USD \$	EUR €	mAh/EUR
Li-ion 18650	3000	1,40	0,21	0,18	16483,52
	5000	5,00	0,76	0,65	7692,31
	2600	6,80	1,03	0,88	2941,18
	5000	1,60	0,24	0,21	24038,46
	2500	6,20	0,94	0,81	3101,74

Taulukko 2 1688.com akkuvertailu.

4.5 Tarkoitukseen parhaiten sopiva akkutyyppe

Taulukosta näkee mikä on hyötysuhteeltaan paras. Jos halutaan mahdollisimman edullinen, mutta painolla ei ole merkitystä, näillä esimerkeillä 18650 Li-FePO₄ on paras. Tarkoituksena kuitenkin on tehdä mahdollisimman kompakti ja kevyt. Tähän tarkoitukseen parhaiten soveltuu 18650 Li-ion akku.

Solu	Jännite	Kapasiteetti	Energia	Massa	EUR
LiFePO ₄ 18650	3,2	2,00	6,40	42	1,03
Li-ion 18650	3,7	3,2	11,84	46	1,81
LiFePO ₄ Prismatic	3,2	50,00	160,00	1000	26,66

Kenno	Sarjaan kytkettynä	Jännite (V)	Rinnankytkettynä	Kapasiteetti (A)
LiFePO ₄ 18650	15kpl	48	26kpl	52
Li-ion 18650	13kpl	48,1	16kpl	51,2
LiFePO ₄ Prismatic	15kpl	48	1kpl	50

Akku	Kapasiteetti (Wh)	Soluja	Massa (kg)	Hinta (€)
LiFePO ₄ 18650	2496	390kpl	16,38	402,48
Li-ion 18650	2462,72	208kpl	9,568	375,65
LiFePO ₄ Prismatic	2400	15kpl	15	399,90

Hyötysuhteet	EUR/Ah	Wh/kg
LiFePO ₄ 18650	0,52	152,4
Li-ion 18650	0,56	257,4
LiFePO ₄ Prismatic	0,53	160,00

Taulukko 3 Tukkurin hintoihin perustuva akkuvertailu.

4.5.1

18650 Li-ion

Akkujen nominaalijännite on 3,7 V, joten akkuja tarvitaan 13 kappaletta sarjaan tarvittavan 48 voltin saamiseksi. Jos käytetään 3200 mAh kapasiteetilla olevia akkusoluja, niitä tarvitaan rinnan 16 kappaletta, joista saadaan yhteensä 51200 mAh kenno. Kokonaiskapasiteetti 13S16P akulle on tällöin 2462,72 Wh. Yhden solun ollessa 1,81 € kokonaishinnaksi tulee 375,65 €

4.5.2

50Ah prismaattinen kenno Li-ion

Näiden saatavuus on todella huono, joten ei otettu tutkintaan mukaan

4.5.3

18650 LiFePO4

Akkujen nominaalijännite on 3,2 V, joten akkuja tarvitaan 15S26P, eli 390 kpl, jotta saadaan 2496 Wh akku. Yksi kappale painaa 39–44 g, jolloin kokonaismassa on keskiarvolla 42 g laskettuna 16,38 kg. Jos yksi maksaa 1,03 € näiden kustannukseksi tulee 402,48 €

4.5.4

50Ah prismaattinen kenno LiFePO4

Nominaalijännite on sama kuin 18650 soluissa akkutekniikan ollessa sama, joten sarjaan tarvitaan 15 kpl. Kapasiteetin ollessa merkittävästi suurempi niitä ei tarvita rinnan kuin 1 kpl, eli yhteensä soluja tulee 15 kpl. Näin ei saada ihan täyttä 2500 Wh täyteen vaan ainoastaan 2400 Wh. Näiden kokonaismassa olisi 15 kg ja hinta-arvio 399,9 €

4.6 Liitöntöjen toimintajännitteet

USB-A ja USB-C portit, sekä 12 V pistoke toimivat 12 V jännitteellä, joka saadaan jännitteensäätimellä 48 V järjestelmästä.

230 V pistokkeet toimivat 230 V puolelta, joka saadaan aikaiseksi 2,5 kW siniaal-toinvertterillä.

4.7 Tarvittavat osat

- 208 kpl 3200 mAh Li-ion 18650 akkusoluja
- 13S 48 V 80 A BMS
- 48 V 10 A MPPT
- 48 V-12 V jännitteensäädin
- laturi
- lämmitysvastukset
- näyttö
- tuulettimia
- 2,5 kW 48 V invertteri
- USB-A portti
- USB-C portti
- 12 V pistoke
- 230 V pistokkeita

5 Yhteenveto ja päätelmät

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada aikaiseksi riittävän kattava selvitys akkupakettien tuotekehityksen ja valmistuksen kustannuksista, jotta yritykseen on helpompi päättää aloittaako kehityksen ja valmistuksen vai ei. Työssä selvitettiin akkupaketin toimintaperiaate, hinnat sekä tutkittiin erilaisten akkukemioiden ominaisuuksia.

Lopputuloksena todettiin, että tämänhetkisten tilojen ja henkilöstön puutteen vuoksi ei ole järkevää alkaa kehittää kokonaista akkupakettia. Markkinoilla on tällä hetkellä jo suuri määrä erilaisia paketteja, eikä ole järkevää sijoittaa huomattavaa alkupääomaa olemassa olevan tuotteen kehittämiseen. Akkuteknologian nopea kehittyminen vaatii paljon tuotekehitystä, jotta pystyy pysymään kilpailevien valmistajien tasolla. Akkujen hinnat ovat myös tasaantuneet melko alhaisiksi, joten markkinoilla on merkittävä määrä erilaisia paketteja. Tästä johtuen yksi vaihtoehto olisi, että ei tehdä valmiita akkupaketteja, jotka sisältävät kaiken laturista MPPT yksiköihin, vaan pelkästään yhteen niputettuja prismaattisia akkukennoja, jotka käyttäjän on helppo tarvittaessa itse vaihtaa uusiin. Jos valitaan akkutekniikaksi 50 Ah LiFePO₄, ne ovat myös erittäin paloturvallisia ja soveltuvat erinomaisesti veneilykäyttöön. Näistä on helpompi saada järkevän hintaisia, koska ei tarvita suuria tiloja akkujen testaamiseen ja valmistamiseen. Suurista prismaattisista kennoista saa myös tehtyä helpommin jokainen itselleen sopivan kokoisen, jolloin voi ottaa käyttöön sisätiloissa käytettävien sähkölaitteiden lisäksi, vaikka pienen sähköperämoottorin.

Alkuperäinen ajatus siitä, mitä akkupaketti pitää sisällään oli huomattavasti yksinkertaisempi kuin todellisuus osoitti. Mikäli halutaan pystyä kilpailemaan laadukkaissa akkupaketeissa, sen tulee pitää sisällään hyvin paljon tekniikkaa, jonka tuotekehitykseen uppoaa aikaa ja rahaa. Paketin saaminen kilpailukykyiseksi vaatii piirikorttisuunnittelua, ohjelmistokehitystä ja massiivista testausta. Joukosta erottumiseen tarvittaisi jokin uusi akkutekniikkaan liittyvä innovaatio, jolla pystyttäisi erottumaan kilpailijoista. Tämän saavuttaminen vaatii huomattavan taloudellisen panostuksen.

Lähteet

Aurinkopaneelin hyötysuhteen laskeminen. Viitattu 27.10.2021

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-man_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho

Aurinkopaneelin tuoton laskeminen. Viitattu 27.10.2021

<https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>

Becky Chapman 2019. How does a lithium-ion battery work? Viitattu 1.9.2021

<https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/how-does-a-lithium-ion-battery-work>

Brooke Schumm. Development of batteries. Viitattu 30.8.2021

<https://www.britannica.com/technology/battery-electronics/Development-of-batteries>

Gianfranco Pistoia, Vehicle applications 2009. Viitattu 2.9.2021

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/battery-management-system>

Heinäkuun keskimääräinen auringonpaiste. Viitattu 21.10.2021

<https://www.currentresults.com/Weather/Europe/Cities/sunshine-average-june.php>

Jason Svarc. MPPT solar charge controllers explained 2020. Viitattu 16.9.2021

<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>

Kotkansaaren koulun fysiikanaineisto. Viitattu 30.8.2021

<https://peda.net/kotka/perusopetus/kotkansaaren-koulu/kt/oppiaineet/fysiikka/jannen-ryhmat/s%C3%A4hk%C3%B6/s%C3%A4hk%C3%B6teho>

litiumioniakkujen hintakehitys. Viitattu 26.11.2021

<https://www.statista.com/chart/23807/lithium-ion-battery-prices/>

Marta Haro 2021. Silicon anode structure generates new potential for lithium-ion batteries. Viitattu 2.9.2021

<https://www.sciencedaily.com/releases/2021/02/210208145916.htm>

MPPT yksikön toiminta. Viitattu 21.10.2021

<https://diysolarshack.com/how-much-power-does-a-100w-solar-panel-produce/>

Muoviteollisuus RY sanasto. Viitattu 13.9.2021

<https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/?ltr=16>

Qi Li, Juner Chen 2016. Progress in electrolytes for rechargeable Li-based batteries and beyond. Viitattu 2.9.2021

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468025716300218>

Renogy company. Viitattu 28.9.2021

<https://www.renogy.com/blog/solar-charge-controller-sizing-and-how-to-choose-one-/>

Säteilyn määrää planeetalla. Viitattu 21.10.2021

<https://globalsolaratlas.info/map?s=59.931624,22.409363&m=site&c=60.06484,22.429962,9>

The four components on a Li-ion battery. Viitattu 1.9.2021

<https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html?list-Type=gallery>

Victron energy. Viitattu 27.9.2021

https://www.victronenergy.fi/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-75-10,-75-15,-100-15,-100-20_48V-EN.pdf

Zhao Liu 2019. The history of the lithium-ion battery. Viitattu 1.9.2021.

<https://www.thermofisher.com/blog/microscopy/the-history-of-the-lithium-ion-battery/>