

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Elektroniikkasuunnittelu

Kevät 2017

Roger Rukundo

LITIUMAKKUJEN LATAUS, PURKU JA LÄMPÖTILAKÄYTTÄYTYMINEN

OPINNÄYTETYÖ (AMK)

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma

Päiväys
Kevät 2017

Sivumäärä
41

Ohjaaja(t)
Timo Tolmunen

Tekijä(t)
Roger Rukundo

TYÖN NIMI
LI-AKKUJEN LATAUS, PURKU JA LÄMPÖTILAKÄYTTÄYTYMINEN

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia litiumakkujen tekniikkaa, latausta sekä purku- ja lämpötilakäyttäytymisistä. Opinnäytetyössä tarkastellaan lyhyesti erilaisia akkuteknologioita myös aikakaudelta ennen litiumioniakkujen yleistymistä ja litiumia alkuaineena. Tarkemmin työssä tutkitaan litiumakkujen lataus- ja purkuprosesseja, sekä erityisesti akkujen käyttäytymistä erilaisissa ääriämpötiloissa.

Testaus Li-akkujen latauksesta ja purkamisesta tehtiin Turun ammattikorkeakoulun elektroniikan laboratoriossa. Siinä selvitettiin ja arvioitiin, akkujen työturvallisuutta teoriassa ja käytännössä. Tuloksina saatiin LiFeP04-akkujen standardien mukaiset purku-,lataus- ja lämpötilakäyttäytymiset, mikä oli akun parametrien mukainen lopputulos.

ASIASANAT:

Li-akku, Li-Ion, Litium, akkujen lataus, akkujen purku

BACHELOR´S THESIS THESIS

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Program in Electronics

Completion year of the thesis
Spring, 2017

Total number of pages
41

Supervisor(s)
Timo Tolmunen

Author(s)
Roger Rukundo

TITLE OF THESIS

Charging, discharging and temperature behavior of the Li-battery-related batteries

Abstract

The purpose of this study was to investigate Li-ion battery technology, charging, discharging and measure its temperature behavior.

The thesis first introduces the different kind of battery technologies, including the technologies before the Li-ion batteries. After that, the thesis discusses the charge and discharge processes of Li-ion battery more precisely, especially the batteries' behavior in different temperatures.

The testing of the Li-ion battery was carried out at Electronics Lab of Turku University of Applied Sciences. The safety of the battery was studied both in theory and in practice. The results of the tests were conform to the standards of the LiFeP04 batteries, which was the desired result of the testing.

KEYWORDS:

Li-battery, Li-Ion, Lithium, battery charging, battery discharging

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 AKUT	7
2.1 Akkutyyppejä	8
2.2 Tiedot litiumista	8
2.3 Litiumioniakkujen historia	9
2.3.1 Käyttö	10
2.4 Litium-rautafosfaattiakku (LiFePO ₄ , LFP)	11
2.5 Litiumpolymeeri (Lipol)	11
2.6 Litium ion (Li-ion)	12
3 LI- AKKUJEN LATAUS JA PURKU	14
3.1 Yleisesti	14
3.2 Purku	15
3.3 Lataus	16
4 LI-AKKUJEN LATAUS- JA PURKAUSTESTIT	18
4.1 Projektissa käytetyt tarvikkeet	18
4.1.1 LiFeP04 High power cell (3.2/20Ah)	18
4.1.1 BMS123Smart –Complete set (4 Cells) with Bluetooth4.0	20
4.2 Akun asetaminen ajoneuvoon	21
4.2.1 Purkaminen ja menetelmä	23
4.2.2 LiFeP04-lataukseen ja menetelmä	25
4.2.3 Lämpötila käyttäytyminen	28
YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

BMS	Akustojen valvontajärjestelmä (Battery Management System)
Li-Ion	Litiumioniakut (Li-Ion)
LiFePO ₄ , LFP	Litium-rautafosfaattiakku
LiPo	Litiumpolymeeri
NiCd	Nikkelikadiumiakku
Ni-MH	Nikkelimetallihybridiaakku
Pb	Lyijyakku

1 JOHDANTO

Litiumakut ovat nykypäivänä yksi yleisimmistä akkutyypeistä, joita on kehitetty jo 1980-luvulla ja niitä on alettu myymään 1990-luvun alusta alkaen. Ne ovat yleistyneet yleisessä käytössä oleviksi akuiksi niiden hyvän kestävyuden, lämpötilakäyttäytymisen ja uudelleenlatausominaisuuksien vuoksi. Litiumakut ovat esimerkiksi autoissa pääsääntöisesti käytössä. [10]

Opinnäytetyön aiheena on litiumakkujen lataus, purku ja lämpötilakäyttäytyminen. Turun Ammattikorkeakoulun elektroniikkalaboratorio tilasi litiumakkuja työtäni varten, jonka tarkoituksena oli tutkia erilaisten litiumakkujen tekniikkaa.

Opinnäytetyössä käydään aluksi lyhyesti läpi akkuteknologiaa yleisesti ja akkuteknologiaa ennen litium-ioniakkujen yleistymistä. Seuraavaksi verrataan erilaisten Li-ion akkujen ominaisuuksia, kuten materiaaleja, turvallisuutta ja kestävyyttä. Lopuksi käydään läpi akkujen käyttäytymistä erilaisissa lämpötiloissa, sekä purku- ja latauskäyttäytymistä.

2 AKUT

Akku on laite, joka varastoi sähköenergiaa sähkökemiallisessa muodossa. Ladattaessa akku muuttaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi ja käyttäessä taas sähköenergiaksi takaisin.

Kemiallisessa sähköparissa jännitesarjan mukaan vähemmän jalo metalli syöpyy liuokseen jalomman pelkistyessä levyllä. Esimerkiksi tyhjän lyijyakun molemmat lyijylevyt ovat peittyneet lyijysulfaatilla ja ladattaessa akun positiivinen napa hapettuu lyijyoksidiksi ja negatiivinen napa pelkistyy lyijymetalliksi.

Ensimmäiset akut kehitettiin jo 1890-luvulla, jolloin kehitettiin nikkelikadmiumiakku, joka tunnetaan lyhenteellä NiCd. NiCd-akun jälkeen akkuteknologia kehittyi edelleen ja nikkelikadmiumia seurasi nikkelimetallihydridiakku (Ni-MH), jota käytettiin yleisesti puhelimissa ennen litiumakkujen yleistymistä 2000-luvulla. [9]



Kuva 1 NiCd ja NiMH akkuja

NiCd- ja Ni-MH sisältävät ympäristölle haitallisia materiaaleja. Kadmium on erittäin haitallista ja nykyään NiCd-akut ovatkin kiellettyjä uusissa laitteissa. Ni-MH-akut taas sisältävät nikkeliä, jonka vuoksi NiMH-akut ovat ongelmajätettä. Ni-MH-akkuja käytetään kuitenkin edelleen esimerkiksi hybridautoissa. [10]

Litiumakut yleistyivät 1990-luvun lopulla ja niiden historiasta on kerrottu jäljempänä enemmän.

2.1 Akkutyyppejä

Akut voidaan jakaa karkeasti neljään päätyyppiin. Näistä löytyy sovelluksia jokapäiväisestä elämässä ja jokaisella akkutyypillä on erityisiä sovelluksia, etuja ja haittoja.

Olemassa olevia akkutyyppejä:

- Lyijyakku (Pb)
- Nikkeli-kadmium-akku (NiCd)
- Nikkelimetallihydridiakku (NiMH),
- Litiumioniakut (Li-Ion)

Yleensä puhekielessä Li-Ion akkuja kutsutaan litiumakuiksi. Markkinoilla on myös ollut varsinainen litiumakku 1970-luvulla, joka ei ollut uudelleenladattava. Lisäksi materiaali havaittiin epävakaaksi.

Markkinoille kuitenkin keksittiin litiumioniakku, jossa käytetään metallisen litiumin sijasta litiumyhdisteitä, jotka vastaanottavat ja vapauttavat litiumioneja. Jäljempänä litiumakuista puhuttaessa tarkoitetaan nimenomaan litiumioniakkuja. [10]

2.2 Tiedot litiumista

Litium on metalleihin kuuluva alkuaine. Alkuaineen järjestysnumero on kolme ja kemiallinen merkki Li. Litium on kaikista metalleista kevyin, jonka vuoksi sitä käytetään kaikenlaisissa metalliseoksissa, akuista lentokoneisiin.

Litium reagoi voimakkaasi muiden aineiden kanssa ja on herkästi syttyvää. Kuumennettaessa litium reagoi myös esimerkiksi voimakkaiden hapettimien ja happojen kanssa, mikä saattaa aiheuttaa tulipalon. Alkuaine reagoi myös jopa vedenkin kanssa muodostaen litiumhydroksidia. Litiumia säilytetään yleensä öljyssä, koska se hapettuu helposti. [1] [10]

Taulukko 1 Litiumin kemiallisia tietoja [14]

Kemiallinen merkki	Li
Järjestysluku	3
Kategoria	Alkalimetallit
Ryhmä	1
Jakso	2
Lohko	S
Moolimassa	6,941 g/mol
Elektronia kuorilla	2,1
Olomuoto (NTP)	Kiinteä
Tiheys	0,534 kg/l
Sulamispiste	453,69 K (180,54°C, 356,97°F)
Kiehumispiste	1615 K (1342°C, 2448°F)

Litium on nykyaikana erittäin yleinen akkuteknologiassa ja akkuteknologian kehittymistä käydään läpi seuraavassa kappaleessa.

2.3 Litiumioniakkujen historia

Litiumakkujen kehitys alkoi jo 1970-luvulla. Teknologiasta kehitettiin jo tähän aikaan eri akkuprototyyppisiä, mutta kaupallisessa käytössä litiumakut alkoivat näkyä vasta 1990-luvulla.

Ensimmäinen kaupallinen litiumakku julkaistiinkin vasta 1991 Sonyn ja Asahi Kasein toimesta. Teknologia on siitä lähtien kehittynyt nopealla vauhdilla. Vuonna 1996 positiivisiksi elektrodimateriaaleiksi ehdotettiin rautafosfaattia.

Suorituskyky kehittyi 2000-luvulla huomattavasti, kun litiumin johtavuutta keksittiin parantaa alumiinilla ja zirkoniumilla. Lisäksi keksittiin hyödyntää rautafosfaattihiukkasia, joka kasvatti hiukkastiheyden satakertaiseksi. Tämä paransi akun suorituskykyä ja kapasiteettia.

Lopulta akku on kehittynyt litiumvanadiinifosfaattiakkuksi, joka lisää energiatehokkuutta molempiin suuntiin kulkevalla reaktiolla.

2.3.1 Käyttö

Litiumakkuteknologia on kehittynyt nopeasti 90-luvulta alkaen. Nykyään litiumakku on hallitseva toimija elektroniikkamarkkinoilla. Sen tärkeimmät edut ovat suuri ominaispinta-ala tilavuuteen suhteutettuna, minkä vuoksi sen energiatiheys on noin nelinkertainen esimerkiksi NiMH-akkuihin nähden. Itsepurkautuminen on erittäin matala verrattuna muihin akkuihin.

Parhaimman litiumakun kesto vaihtelee muutamasta kuukaudesta ja yli 1500 latauskerran välillä. Litiumakkujen hinnat vaihtelevat teknisten ominaisuuksien takia. [10]

Litiumin akkuteknologioita on monia ja jokaisella on oma merkitystä, omine etuineen ja haittoineen. Litiumia käytetään paljon elektroniikassa, esimerkiksi seuraavissa laitteissa

- Varavirtalähteet (UPS)
- Aurinkokennoissa
- Matkapuhelimissa
- Kannettavissa tietokoneissa
- Hälytyssesteemeissä, joissa ei ole verkkovirtaa tarjolla

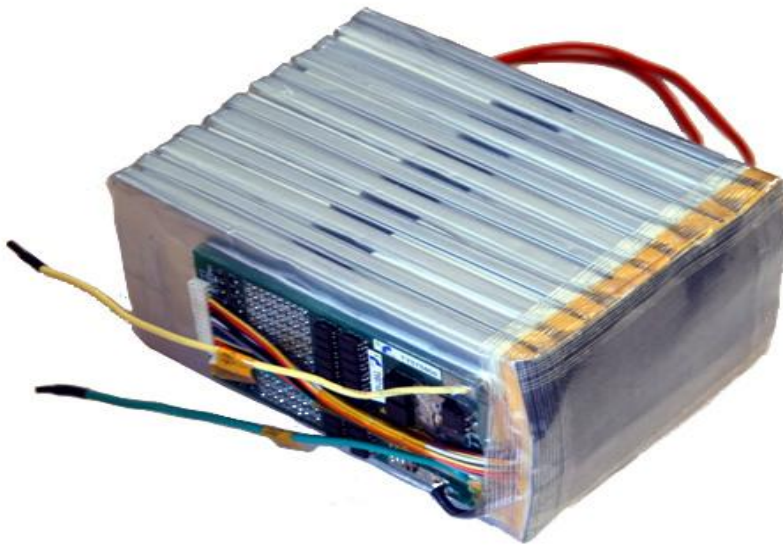
Taulukko 2 Akkujen ominaisuuksia [9]

Chemistry	Voltage	Energy Density	Working Temp.	Cycle Life	Safety	Environmental	Cost based on cycle life x wh of SLA
LiFePO ₄	3.2V	>120 wh/kg	-20-60 °C	>2000(0.2C rate, IEC Standard)	Safe	Good	0.15-0.25 lower than SLA
Lead acid	2.0V	> 35wh/kg	-20 - 40°C	>200	Safe	Not good	1
NiCd	1.2V	> 40wh/kg	-20 - 50 °C	>1000	Safe	Bad	0.7
NiMH	1.2V	>80 wh/kg	-20 - 50 °C	>500	Safe	Good	1.2-1.4
LiMn _x Ni _y Co _z O ₂	3.7V	>160 wh/kg	-20 - 40 °C	>500	better than LiCo	OK	1.5-2.0
LiCoO ₂	3.7V	>200 wh/kg	-20 - 60 °C	> 500	Unsafe w/o PCM	OK	1.5-2.0

2.3.2 Litium-rautafosfaattiakku (LiFePO₄, LFP)

Litium rautafosfaattiakku lyhennetään LiFePO₄.

LiFePO₄-akku käytetään pääsääntöisesti ajoneuvoissa sen kestävyden vuoksi. Akku kestää hyvin eri lämpötiloja sekä useita lataus- ja purkukertoja.



Kuva 2 LiFePO₄-akku [15]

Akku on tyypillisiä litiumakkuja turvallisempi kemiallisen vakauden ja eri lämpötilojen sietämisen vuoksi. Akku on myös myrkytön. Akun kapasiteetti ei myöskään kärsi yhtä nopeasti latauskertojen jälkeen muihin litiumakkuihin verrattuna. [9]

Haittapuoli LiFePO₄-akuissa on niiden materiaalin korkea hinta.

2.4 Litiumpolymeeri (Lipol)

Litiumpolymeeriakku on ei-nestemäinen akkutyyppi, jossa elektrolyytti on korvattu polymeerisellä elektrolyytillä. Kiinteä polymeerielektrolyytti voidaan valmistaa eri materiaaleista, kuten esimerkiksi polyetylenioksidista, polyakryliiniriilistä ja polymetyylimetakrylaatista.



kuva 3 LiPol-akku [4]

Litiumpolymeeriakun hyötyjä ovat akun turvallisuus. Elektrolyytin vuotovaaraa ei ole ja akku kestää korkeaakin räsitusta ja korkeita lämpötiloja, jopa +60 °C:een asti. Tämän vuoksi akkuavoidaan käyttää kuumissakin ilmastoissa. [4]

Akun ongelmana on kuitenkin huono sähkönjohtavuus (conductivity), huono varaustaso ja materiaalin korkea hinta, koska polymeeri on vielä kehitystasolla. Li-Po-akkuja kuitenkin käytetään useissa matkapuhelimissa, koska materiaali on hyvin kevyttä.

2.5 Litium ion (Li-ion)

Litiumioniakku (Li-ion) on yleisin nykyaikaisista litiumakuista. Akulla on suuri sähkökemiallinen jännite ja suuri energiatiheys. Akun ominaisuudet riippuvat kuitenkin pitkälti akussa käytetyistä kemiallisista aineista. Akkua käytetään kannettavissa laitteissa, kuten tietokoneissa ja älypuhelimissa akun pienen ja kevyen rakenteen vuoksi.

Akku purkautuu jotakin prosentteja kuukaudessa, vaikei sitä käytettäisi.

Purkautumisnopeus riippuu materiaaleista ja lämpötilasta. [6]

Akun hyviä puolia on sen hyvä kapasiteetti, akun keveys ja virranantokyky. Li-ion-akku on suunniteltu toimimaan huoneenlämmössä. Jos akkua käyttää alle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n tai yli $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa, sen käyttöikä voi heikentyä.

Kuumassa lämpötilassa akulla on vaikeuksia varastoida energiaa ja lämpö voi pysyvästi vaikuttaa kapasiteettiin. Kylmässä akku ei taas saata toimia täydellä teholla ja jos kylmää akkua lataa, akun elektrodin rakenne rikkoutuu ja akun suorituskyky laskee.

3 LI- AKKUJEN LATAUS JA PURKU

3.1 Yleisesti

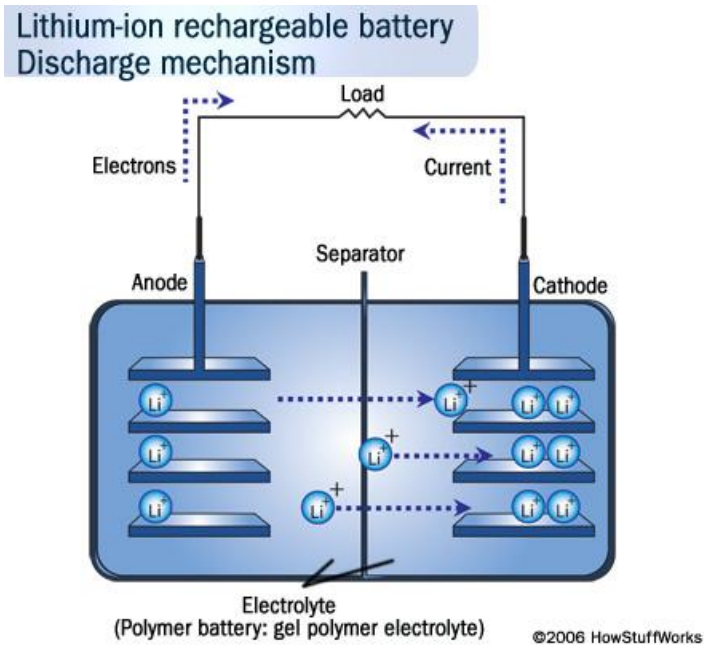
Toisin kuin vanhemmissa kuten esimerkiksi NiCd-akuissa, Li-Ion-akuissa ei esiinny ns. muisti-ilmiötä, jossa akku toimii vain tietyllä kapasiteettivälillä, jos sitä ei varausta ei pura kokonaan. Päinvastoin: litiumioniakussa on pieni itsepurkautuminen, jonka vuoksi akku saattaa säilyttää suurimman osan varauksestaan jopa vuosia.

Akku ei kuitenkaan siedä ylilatausta eikä akkua tulisi päästää tyhjenemään kokonaan. Ylilataaminen saattaa tuottaa akkuun kuumuutta ja painetta. Yliladattu akku on jopa turvallisuusriski räjähtämisvaaran vuoksi. [2]

Yleensä laitteissa, joissa on käytössä Li-ion-akku, on oma akunhallintajärjestelmä (battery management system eli BMS), joka suojaa akkua ylilatautumiselta katkaisemalla virransyötön akun latauksen ollessa täynnä ja suojaa myös akkua liialliselta alipurkaukselta havaitessaan yli- tai alijännitteen.

3.2 Purku

Purun aikana litium ionit johtavat sähkövirtaa negatiivisesta elektronista positiiviseen elektroniin.

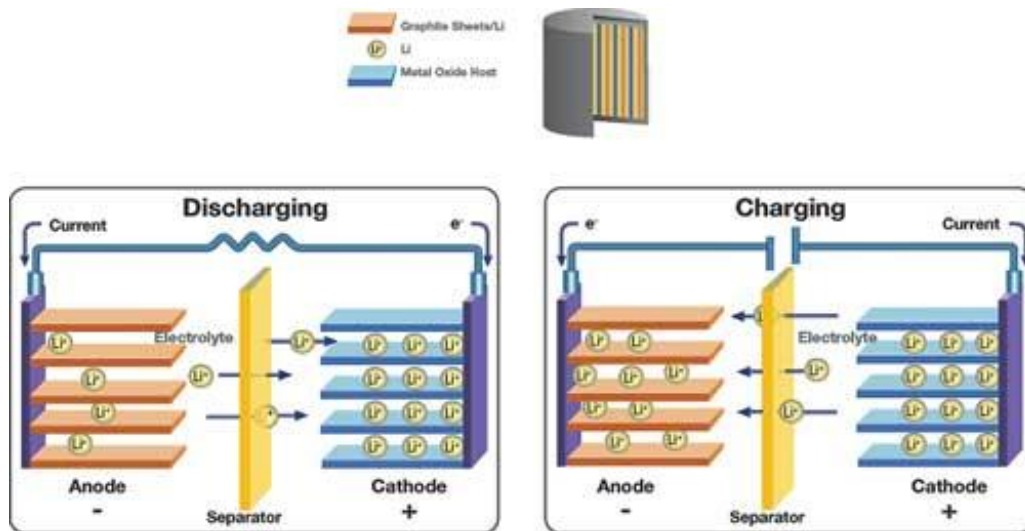


Kuva 4 Purkautumisprosessi

Akussa on erottaja, joka erottaa positiiviset ja negatiiviset elektrodit päästämällä kuitenkin ionit läpi. Positiivinen elektroni on tehty kobolttioksidista ja negatiivinen elektroni on tehty hiilestä. [10]

3.3 Lataus

Kun litiumakun kytkee laturiin, muuttuu sähkövirran suunta akun sisällä niin, että virta kulkee positiivisesta elektronista negatiiviseen elektroniin.



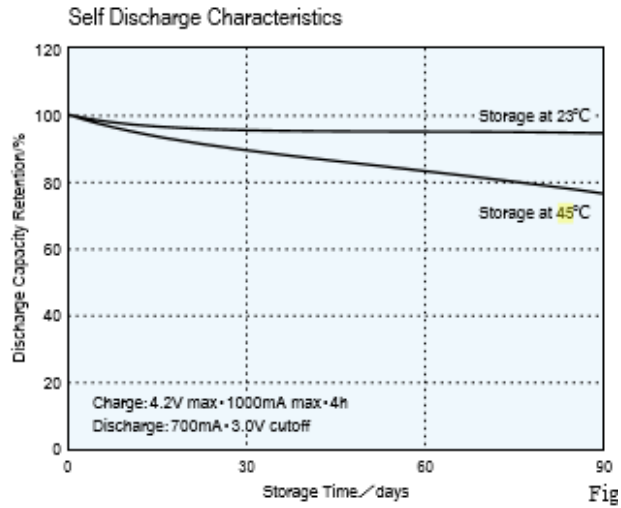
Kuva 5 Sähkövirran suunnan muuttuminen latausvaiheessa

Akku ladataan kahdessa vaiheessa. Ensiksi akkua ladataan vakiovirralla, kunnes akun varaustila on vasta noin puolet maksimista. Tämän jälkeen akkua ladataan vakiojännitteellä (3,6V). Vakiojännitteen, jolla lataus suoritetaan, on oltava hyvin tarkasti se, mitä akkuteknologia edellyttää, muuten seurauksena on joko akun varaustason jääminen vajaaksi tai kennojännitteen noususta suositeltua suuremmaksi aiheutuva akun eliniän lyheneminen. [2]

Kuten aiemmin on mainittu, litiumioniakut eivät kestä ylilatausta. Yliladattu akku voi jopa syttyä tuleen tai räjähtää ylilatauksesta johtuvan lämmön vuoksi. Yleensä nykyisissä akuissa on kuitenkin akunhallintajärjestelmä, joka katkaisee virransyötön, kun se havaitsee yli- tai alijännitteen. [3]

Vaikka akku toimiikin optimaalisten lämpötilojen ulkopuolella, latauslämpötilasta on oltava tarkempi. Alle 5°C:n lämpötilassa akku latautuu hitaammin, ja alle 0°C:n lämpötilassa akku voi rikkoutua. Tämän vuoksi laitteiden BMS-järjestelmä yleensä estääkin latauksen liian kylmissä lämpötiloissa.

Yli 45°C:ssa akun lataaminen johtaa suorituskyvyn heikkenemiseen, eikä akku voi varastoida energiaa yhtä hyvin kuin optimaalilämpötiloissa. [7][8]



Kuva 6 Akun heikkeneminen 45 asteen lämpötilassa [8]

4 LI-AKKUJEN LATAUS- JA PURKAUSTESTIT

4.1 Projektissa käytetyt tarvikkeet

Työtä varten koulun elektroniikkalaboratorioon tilattiin Li-akkuja niiden virran latausta ja purkamista varten. Akut olivat saman valmistajan. Samalla koululle tilattiin kaikki tarvittavat laitteet akkujen tutkimista varten.

Työn aloittamista viivästytti akkujen saapumisen viivästyminen. Akut tilattiin jo hyvissä ajoin helmikuussa, mutta niiden saapuminen tapahtui vasta huhtikuun alussa. Näin ollen teoreettinen osuus työstä tuli käytyä hyvissä ajoin ennen työn aloitusta. Kun akkujen tilaustiedot tuli, pystyttiin hakemaan tietoa ja perehtymään niiden datalehtiin. Akkujen testaamiseen saatiin riittävä tieto 123smartbms sivulta ja ev-power.eu sivulta (The summary of the technical specification ZG-LFP020AH).

4.1.1 LiFePO4 High power cell (3.2/20Ah)

Työssä käytettiin pienikokoista LiFePO4-akkuja (n. 25 euroa), jonka jännite on 3,2V ja kapasiteetti 20Ah ja joka sisältää 4 kennoa (kuva 7).



Kuva 7. 3,2V 20Ah LiFePO4-akun kenno

Valmistajan antamien perusarvojen mukaan (kuva 8) akkua alettiin vertailemaan toisiin akkuihin. Tärkeimmät parametrit tietysti ovat olleet minimi- ja maksimijännitteet kennoilla, jotta akkua pystytään testaamaan oikeilla jännitteillä. [11]

The technical specification of the ZG-LFP cell

The advantages of the ZG-LFP cells

- professionally produced LiFePO₄ cells
- stability during high current discharge – support up to 3C continually, 5C, 10C peak discharge
- the discharge with long flat discharge area (3.30V to 3.10V)
- metal case for protecting the cell
- minimal overheating or heat release during operation

Model name	ZG-LFP020AH
Nominal voltage (V)	3.2 V
Nominal capacity (Ah)	20 Ah
Max voltage per cell (V)	3.8 V
Minimal voltage per cell (V)	2.6 V
Operating voltage (V)	2.8 V to 3.7 V
Optimal discharge current 0.5C (Amp)	< 10 A
Maximal discharge current 3C (Amp)	60 A
Max peak discharge current 10 C, < 15 seconds (Amp)	< 200 A
Optimal charge current 0.5C (Amp)	< 13 A
Maximal charge current 1C (Amp)	20 A
Internal resistance (mOhm)	< 2 mOhm
Cycle life (80% DOD at 20°C)	> 2000 cycles at 0.5C > 1500 cycles at 1 C
Self discharge rate (% per month)	< 3%
Operating temperature (charging)	0 to 45 °C
Operating temperature (discharging)	-25 to 55 °C
Dimensions width x length x height (mm)	71 x 178 x 28
Weight (tolerance +/- 50g)	0.65 kg

Kuva 8. Akun valmistajan antamat perustiedot [11]

4.1.1 BMS123Smart –Complete set (4 Cells) with Bluetooth4.0



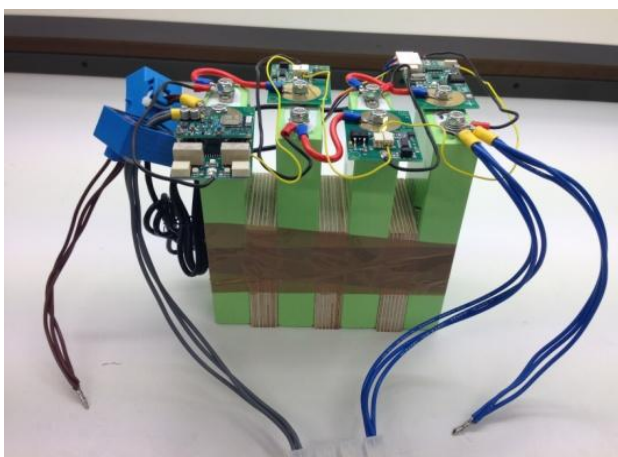
Kuva 9. 123BMS- hallintajärjestelmä

Työssä käytettiin 123BMS- akkujen hallintajärjestelmää (kuva 9), joka on uusimpia litium- ja muiden akkujen valvontaan ja hallintaan tarkoitettua kokonaisuuksia. 123BMS tarjoaa täydellisen lataus- ja tasapainotusjärjestelmän sekä LiFePO4 / LiFeYPO4-solut ja paristot.

Tyypillinen 4:n kennon kokonaisuus sisältää yhden sisäänmenolevyn, joka on 1. kennossa kiinni, kaksi ”kennolevyä” jotka ovat 2. ja 3. kennoissa ja viimeisessä kennossa olevan ulostulolevyn, joka tuottaa ulostulevan informaation akkujen tilasta langattomasti. Kokonaisuuteen kuuluu myös kaksi 100:n ampeerin virtasensoria. [12]

4.2 Akun asetaminen ajoneuvoon

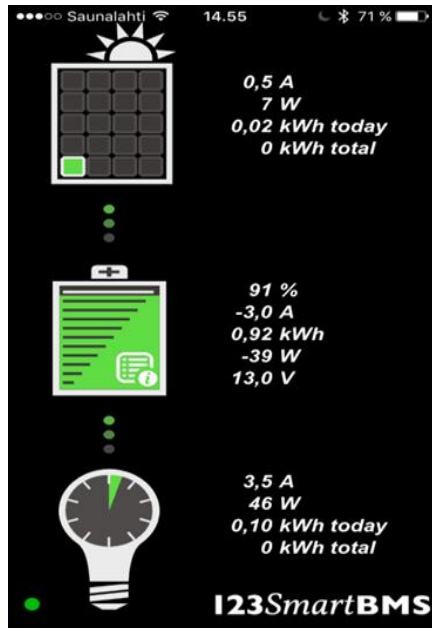
Heti akkujen saapumisen jälkeen, aloitettiin kasamaan 123bms manuaalin ohjeiden mukaista testijärjestelmää. Työssä asennettiin neljä LiFeP04 20Ah-kennoa navat rinnakkain yhdistettynä ja teipattuna yhteen, koska lifep04 kennon leveys on pieni. Testausjärjestelmän kasaus (kuva 10) kesti noin 3 tuntia, koska työ vaati tarkkuutta.



Kuva 10. LiFeP04 3.2V100Ah testausjärjestelmä kasattuna.

Kennojen asennoin jälkeen asennettiin 123smartbms testauskortti akun päälle, jotta akkujen toimintaa saatiin mitattua.

Akun tutkimiseen käytettiin "123smartbms" applikaatiota (kuva11), joka on kehitetty Apple- ja Android-käyttöjärjestelmille. Iphonelle asennetulle 123smartbms-ohjelmalla pystyttiin seuramaan seuraavia suureita: Virta [A], Jänniteitä [V], SOC ("state of charge" , varauksen määrä) [%], Kapasiteetti [Ah], Latausenergia [kWh], Kennon lämpötila [°C] sekä tehoa latauksen ja purkamisen aikana. Applikaatiolla pystyttiin myös seuraamaan jokaisen kennon jännitettä erikseen (kuva 11, 12)

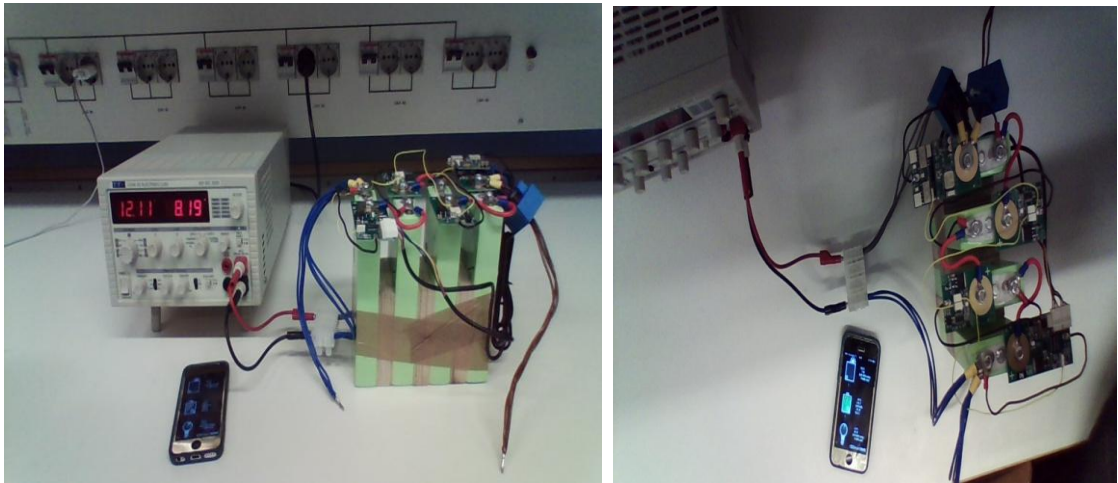


Kuva 11. 123SmartBMS- applikaation käyttöliittymä.



Kuva 12. Yksittäisten kennojen seuranta applikaatiolla.

4.2.1 Purkaminen ja menetelmä



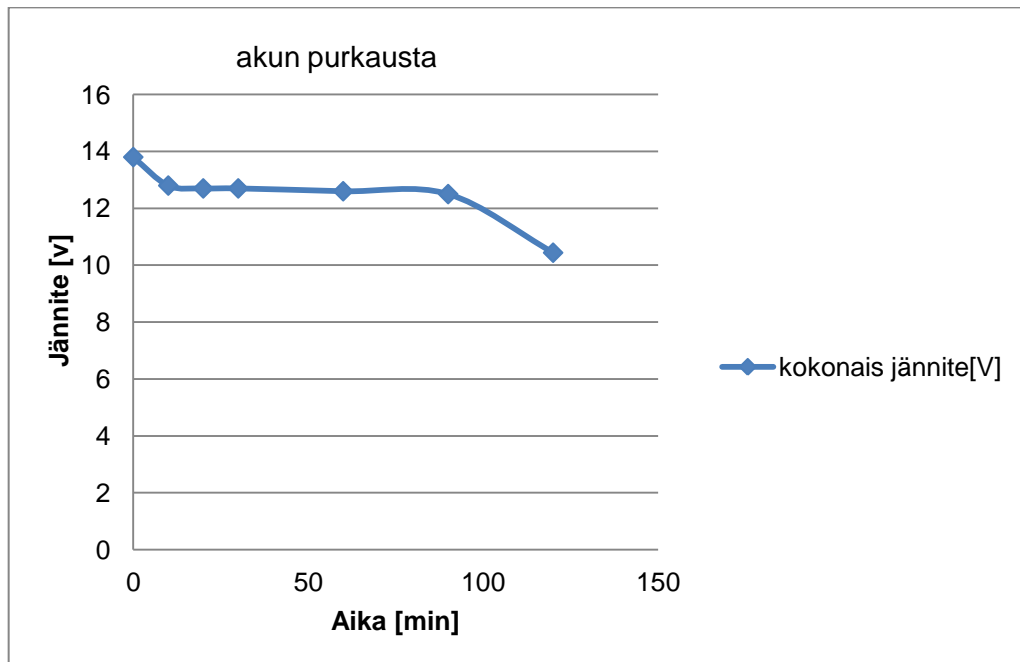
Kuva 13. Keinokuorman käyttö akkujen purkamiseen.

Kennojen purkamiseen toteutettiin 8,2 A:n virralla kuormaan, jona toimi LD300 elektronisen kuorman laite. (kuva 13)

Työssä tarvittavat tiedot kennoista taulukoitiin Excel-ohjelmalla. Mittausohjelman avulla saatiin jännitteet ja virran kulutus kirjattua, joilla saatiin esitettyä virran ja jännitteenkäyttö ajan funktiona (Kuva 14). Näistä otetuilla tiedoilla saatiin vertailtua tutkittavana olleen akun tuloksia muiden saman akkuvalmistajan akkujen tuloksiin.

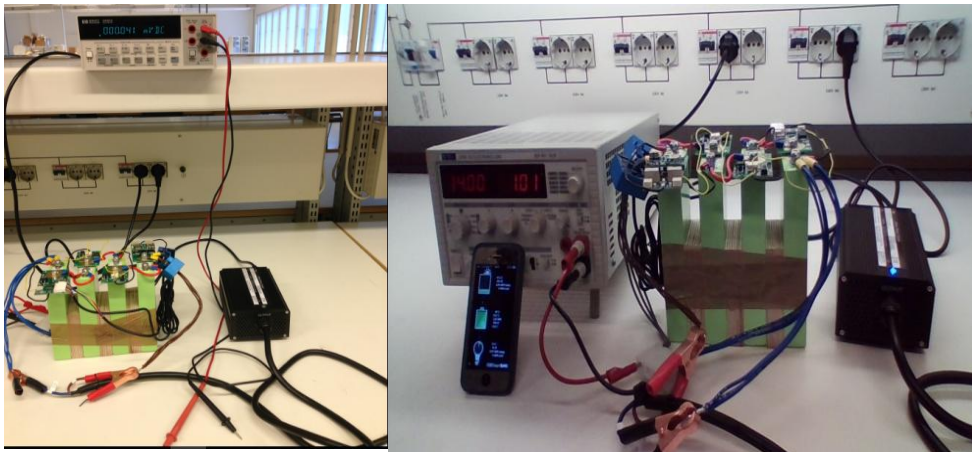
Taulukko 3. Purkaustesti mittaustiedot

Akun lataus [%]	Aika [min]	Virta [A]	Sähkökulutus [kWh]	Teho [w]	Kokonaisjännite [v]	Kenno 1 [v]	Kenno 2 [v]	Kenno 3 [v]	Kenno4 [v]
99	1	8.19	0.998	220	13.8	3.33	3.33	3.33	3.33
98	10	8.19	0.98	210	12.8	3.23	3.23	3.25	3.25
92	20	8.19	0.93	103	12.7	3.22	3.21	3.24	3.22
88	30	8.19	0.89	103	12.7	3.21	3.2	3.23	3.21
83	60	8.19	0.84	102	12.6	3.18	3.18	3.2	3.11
78	90	8.19	0.78	100	12.5	3.1	3.12	2.9	3.11

Kuva 14. LiFePO₄-akun purkautumiskäyrä

Kuten voidaan nähdä (kuva 14), LiFePO₄- kennojen jännitteet laskevat tasaisesti aina 12,5V: iin asti, jossa se säilyy akunkeston ajan, jonka jälkeen akut alkavat purkautua nopeasti, saavuttaen lopullisen noin 10V jännitteen. Purkautumisaika oli kuvanmukaisesti noin 2 tuntia.

4.2.2 LiFePO₄-lataukseen ja menetelmä



Kuva 15. Keinokuorman käyttö akkujen lataamiseen

Litiumrautafosfaattiakkujen uudelleenlataukseen käytettiin ”GWL/Power Charger 12V/20A” akkulaturia, joka on tilattu kyseisiä LiFePO₄-akkuja varten. Latauksessa kennojen jännitteitä tarkailtiin ”34401A multimeter”- yleismittarilla sekä ”123smartbms” applikaatiolla (kuva 15).

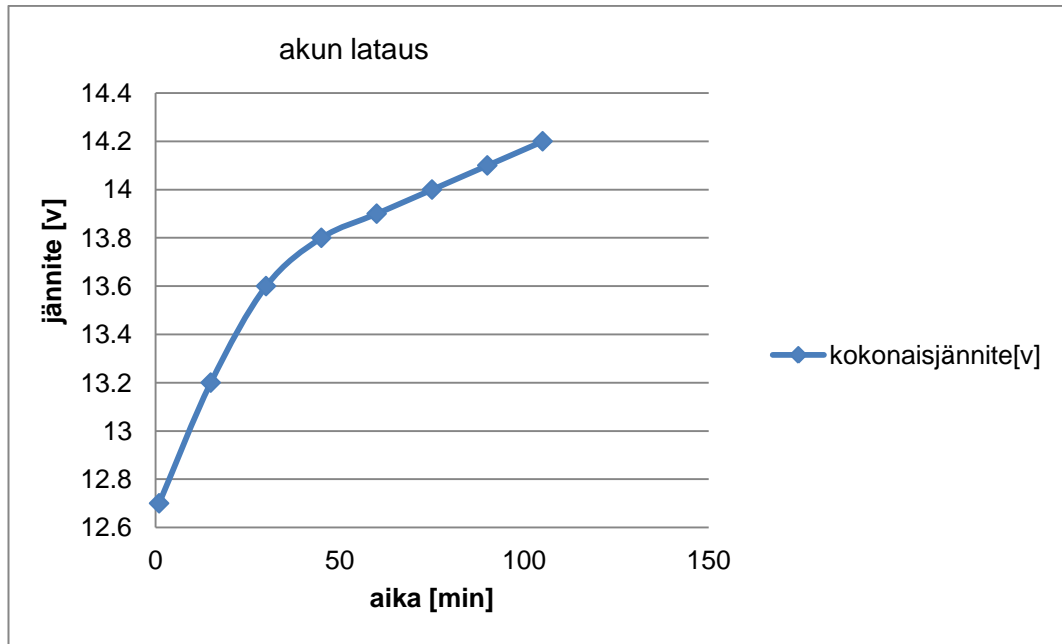
Ensimmäinen lataustesti ei mennyt läpi toisen kennon ylijännitteen vuoksi. Smartbms ohjelmalla tänä huomattiin helposti, koska se kykeni ilmoittamaan yksittäisen kennon jännitteen (kuva 16) toisella kenolla. Tämän jälkeen käytiin vielä läpi ohjeet, että miksi jännite mahdollisesti ylittää maksimiarvon.

Seuraavissa testeissä otettiin kaikki tarvittava tieto kennoista: jännitteet, teho- ja sähkökulutukset. Nämäkin testit osaltaan päättyivät kakkoskennolla ylijännitteeseen, kun akkuja oli kahden tunnin kuluessa ladattu 30 %.



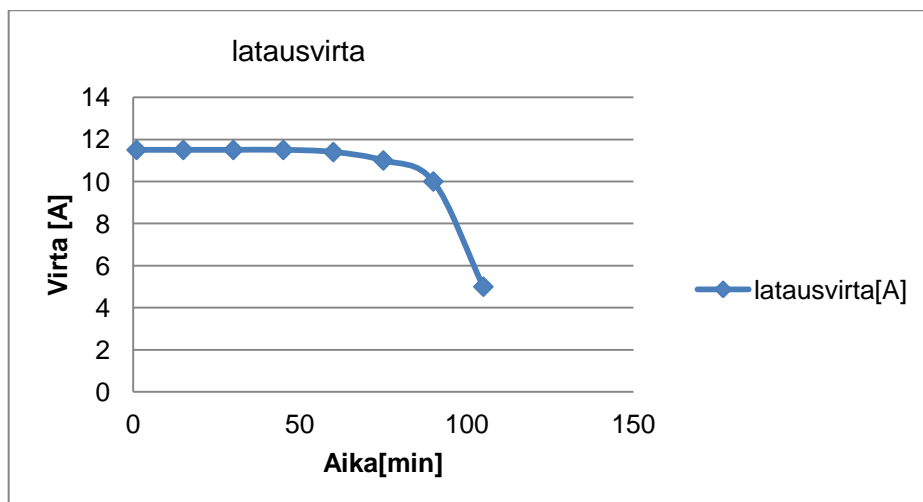
Kuva 16. Toisen kennon ylijännite ilmoitus applikaatiossa.

Kun kennot tarkistettiin, pääteltiin että toinen kennon todennäköisesti oli viallinen ja että sen kapasiteetti oli oikeasti alle 20Ah luokkaa. Tästä tehtiin reklamaatio koulun puolesta ja työ jatkettiin loppuun, joka vaikutti siihen, että akkuja ei täysin täyteen saatu ladattua, koska yksi kenno oli viallinen.



Kuva 17. LiFePO4 latauskäyrä

Nähtiin että LiFePO4- kennojen latausjännite nousi jatkuvasti 14V:iin asti (kuva 17), jonka jälkeen latausnopeus alkoi hidastua. Verrattaessa datalehden ZG-LFP:in(liite 1) dataan voidaan todeta, että saatiin odotetun kaltaiset mittaustulokset. Erot käyrissä johtuivat lähinnä 2. kennon toimimattomuudesta sekä pienistä häiriöistä.



Kuva 18. LiFePO4 latausvirta

Akkua ladattaessa 11.5A:n virralla, akku täyttyi kahden tunnin kuluessa. Kaiken kaikkiaan lataus- sekä purkukäyrät vastaavat toisiaan käänteisesti, joka oli myös datalehdessä annettu kuvaus akun purkautumisesta sekä latautumisesta.

4.2.3 Lämpötilakäyttäytyminen

Litiumrautafosfaattiakkujen eri lämpötilakäyttäytymisen mittaamiseen käytettiin

”Temperature and climate test chambers Heraeus-Votsch” lämpökaappia, johon pystyttiin asettamaan haluttu lämpötila ja raja-arvot (LOWlim ja HIGHlim) akun testaukseen. Kun halutut alkuarvot oli asetettu lämpökaapin ohjaimen, käynnistettiin kaappi ja seurattiin akun kokonaislämpötilaa latauksessa kaapin samoin myös muihin sisällä (kuva19). Kännykällä pystyttiin samaan aikaan 123smartbms-ohjelman kautta seuraamaan kennojen omia lämpötiloja (kuva 20).

Samalla tavalla akun lämpötilapurkautumisen seuraamiseen kytkettiin 8,19A:in kuorma suoraan akulle testikammion sisään, jonka jälkeen asetettiin haluttu lämpötila kammioon. Näin saatiin myös purkautumiskäyrät ajan funktiona eri lämpötiloilla. [13]

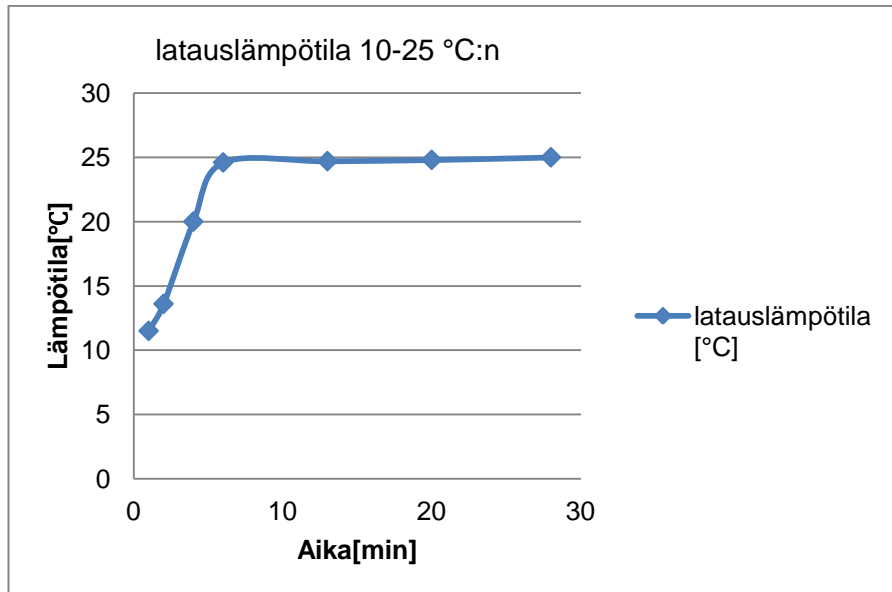


Kuva 19. LiFeP04 lämpötilan testikammioon asetettuna ja kammion näytön näkymä käynnistyksen jälkeen.



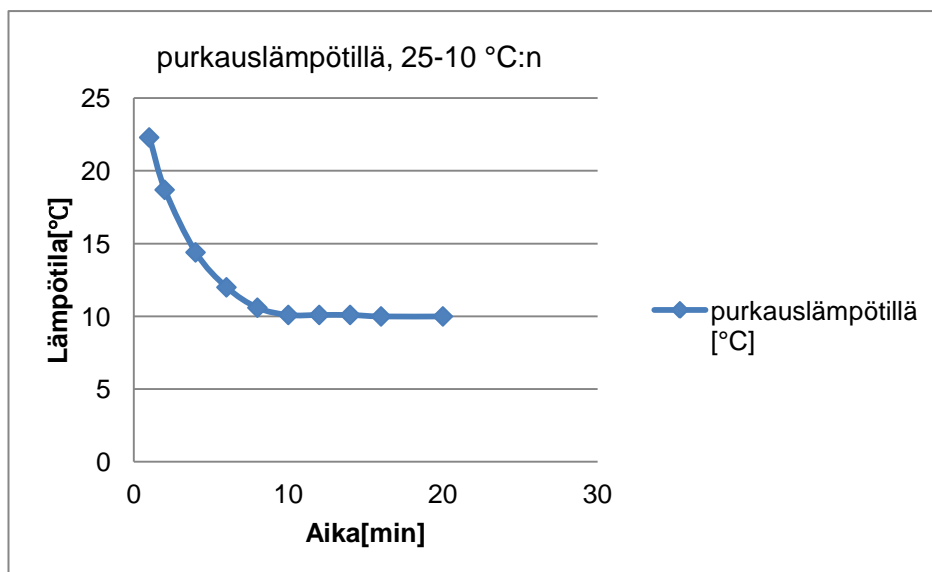
Kuva 20. Kennojen lämpötilat lämpötilamittauksen aikana

Litiumrautafosfaattiakkujen latauslämpötilan vaihtelu luvattiin datalehdessä onnistuvan 0-45°C asteessa ja purkaus -25-55 °C asteessa (kuva 8). Tässä työssä valittiin latauslämpötilan nousevan 10°C asteesta 25 °C ja 35°C asteen, sekä purkautumisessa samat tilanteet toisinpäin.



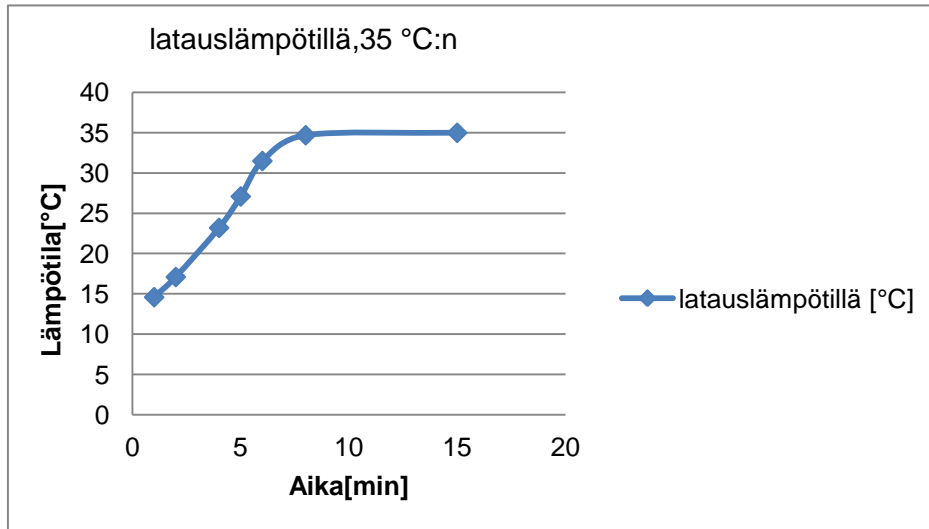
Kuva 21. Latauskäyrä 10-25°C lämpötilassa

Latauslämpötilä nousi tasaisesti 25°C:n asteeseen ja akku toimi odotetusti vielä normaalilla tavalla, eikä akun lämpötilä noussut latauksen aikana. Kun verrataan tuloksia datalehden lupaamiin, voidaan todeta että akku toimi datalehden lupaamalla tavalla (liite 2).

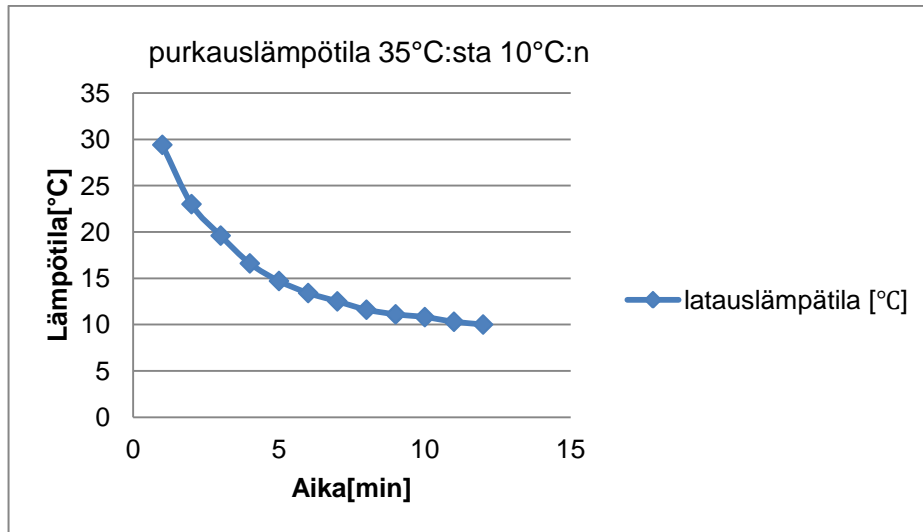


Kuva 22. Akun purkuminen laskevassa lämpötilassa (25°C asteesta 10°C asteeseen)

Latauksen jälkeen suoritettiin akun purkaminen käänteisellä lämpötilalla ja mittauskäyrät olivat odotetunmukaiset.



Kuva 23. Akun latauskäyrä 10-35°C asteessa



Kuva 24. Akun purkautumiskyäyrä 35°C aloituslämpötila

Kun akku oli selvinnyt 10-25°C lämpötilassa latauksesta ja purkamisesta, testattiin vielä välillä 10-35°C (kuva 23,24). Huomataan ettei akun käyttäytymisessä tapahdu mitään yllättävää näissäkään tilanteissa. Akun käyttäytyminen eri lämpötiloissa oli verrattain samanlaista. Kun verrataan Lifepo4- akun testituloksia teoreettisiin arvoihin [9], voidaan sanoa, että litiumrautafosfaattiakku kestää hyvin erilaisissa lämpötiloissa.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia annettujen Li-akkujen tekniikkaa sekä lataus- purku- ja lämpötilakäyttäytymisistä akkujen ominaisuuksien mukaan. Akun käyttäytymisen tutkimustyön toteutus tapahtui 123Smartbms Instruments-testausjärjestelmän manuaalin mukaisesti. Tuloksia verrattiin koko ajan ZG-LFP020AH standardin mukaiseen LiFeP04-akun lataus- ja purkukäyttäytymiseen. Nämä standardin lähtöarvot toimivat koko työn vertailukohtana.

Li-akkujen lataus-, purku- ja lämpötilakäyttäytyminen on ollut erittäin mielenkiintoinen työ ja opettava kokemus minulle. Työssä pääsi käyttämään koulussa jo opittuja taitoja, mutta työssä oli myös paljon asioita, joita joutui opiskelemaan, sekä työssä tapahtui myös oppimista virheiden kautta.

Työn tekeminen oli kiireellistä ja aikatauluni työn kanssa oli tiukka, koska tilaus oli myöhässä, mutta työ tehtiin ohjaajan kanssa tehokkaasti ja saatiin tutkittua koulun tilaamien akkujen tekniikkaa sekä latausta, purku- ja lämpötilakäyttäytymistä. Työssä joutui kohtaamaan haasteita kennon kanssa eikä tämän vuoksi akkua pystytty lataamaan täysin. Ollaan kuitenkin tyytyväisiä, että projekti onnistui ja sain lataa sekä purkaa akun varausta ja myös tutkia akun tekniikkaa, vaikkakin yksi kennoista olikin viallinen.

Tärkeitä seikkoja, joita työskentelyssä akun kanssa huomasi olivat seuravaanlaiset asiat: Turvallisuuden takia aina pitäisi olla paikalla, kun akkuja lataa, koska akun kennot voivat olla epästabiileja, kuten tässäkin työssä yksi kennoista oli viallinen. Huomioita akun latauksesta ja purkamisesta oli, että keskimääräisesti akun lataus oli hitaampaa kuin purkaminen, mutta akun lataus kesti hyvin pienelläkin latauksella. Akku saattoi kestää noin 2 tuntia vain 25-30%:in latauksella. Myöskin akut kestivät hyvin lataamista ja purkamista eri lämpötiloissa, mikä on käyttäjän kannalta positiivista, koska akkuja käytetään paljon erilaisissa lämpötiloissa.

LÄHTEET

- [1] IPCS, "Litium". Saatavilla: <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0710.htm> (Luettu: 10.3.2017)
- [2] Battery University, "BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries". Saatavilla: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries (Luettu: 10.3.2017)
- [3] Battery University, "BU-409: Charging Lithium-ion". Saatavilla: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries (Luettu: 10.3.2017)
- [4] CordlessRenovations, "Lithium-Polymer Battery", Saatavilla: https://www.cordlessrenovations.com/?page_id=381 (Luettu: 14.4.2017)
- [5] Electronics Lab, "How to rebuild a Li-Ion battery pack". Saatavilla: https://web.archive.org/web/20120217001508/http://www.electronic-lab.com:80/articles/Li_Ion_reconstruct/How%20to%20rebuild%20a%20Li-Ion%20pack.pdf (Luettu: 15.3.2017)
- [6] InTech, "LiFePO4 Cathode Material". Saatavilla: <https://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-the-benefits-and-barriers/lifepo4-cathode-material> (Luettu: 16.3.2017)
- [7] John Gartner, "Lithium Ion Batteries Can't Stand the Heat". Saatavilla: <http://www.plugincars.com/lithium-ion-batteries-can%E2%80%99t-stand-heat-122447.html> (Luettu: 20.3.2017)
- [8] Sony, "Lithium Ion Rechargeable Batteries Technical Handbook". Saatavilla: <https://web.archive.org/web/20090411024100/http://www.sony.com.cn/products/ed/battery/download.pdf> (Luettu 20.3.2017)
- [9] Batteryspace, "LiFePO4/LiFeMnPO4 Batteries". Saatavilla: <http://www.batteryspace.com/LiFePO4/LiFeMnPO4-Batteries.aspx> (Luettu: 1.4.2017)
- [10] Wikipedia, "Rechargeable battery", Saatavilla: https://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery (Luettu: 1.4.2017)
- [11] GWL/ Power Group Technology Solutions "The summary of the technical specification ZG-LFP020AH", Saatavilla: <https://www.ev-power.eu/docs/web/2014/GWL-ZG-LFP020AH-Spec.pdf> (Luettu: 1.4.2017)
- [12] Albertronic BV, "123SmartBMS Instruction manual", Saatavilla: http://123smartbms.com/uploads/file/123SmartBMS_v0_1.pdf (Luettu: 3.5.2017)
- [13] Vötsch Industrietechnik, "Temperature Test Chamber", Saatavilla: http://doc.es.aau.dk/fileadmin/doc.kom.aau.dk/labs_facillities/control/manuals/VT4002_climate_chamber.pdf (Luettu: 14.5.2015)
- [14] Periodic Table, "Lithium", Saatavilla: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/3/lithium> (Luettu: 10.5.2017)

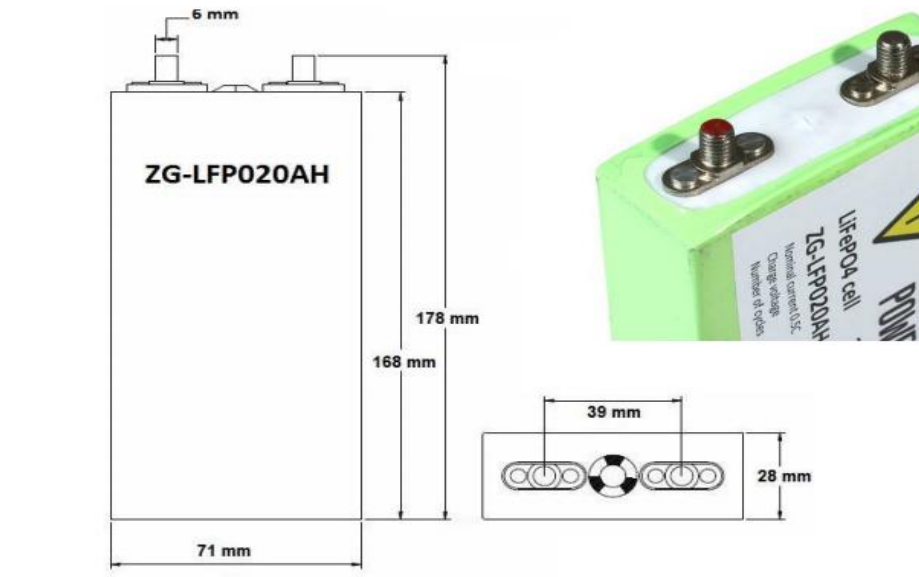
- [15] CampSolution, "High Discharge Rate LiFePO4 36V 10Ah Battery Pack and 36V 1800mA Charger", Saatavilla:
www.campsolution.com/highdischargeratelifepo436v10ahbatteryrapackand36v1800macharger.aspx (Luettu: 10.5.2017)

LIITEET

Taulukko 1: LiFeP04 lataus ja purkaus data

GWL/Power ZG-LFP020AH

Dimensions 71 x 178 x 28



(packing style may change without prior notice)

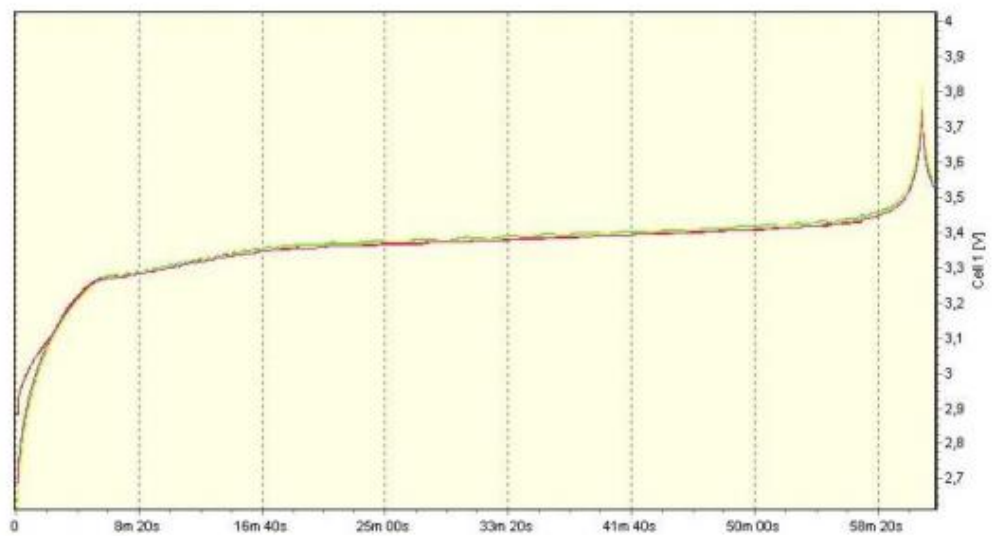
- **The discharge diagram for 5.7C (115A) *1)**



Note: 1) This test is beyond the specification of the cell. The max continuous discharge is 3C (60A).

- Discharge of 4 cells at constant current to 2.5V at lowest cell.
- Discharge time to 2.6V - 11:00 (660 s). Calculated capacity **21.08 Ah**
- 50% discharge voltage under load: **2.92V**

- **Regular charge diagram 1C (20A)**



- Regular charge with 20A (1C)
- Charge to 3.8V per cell

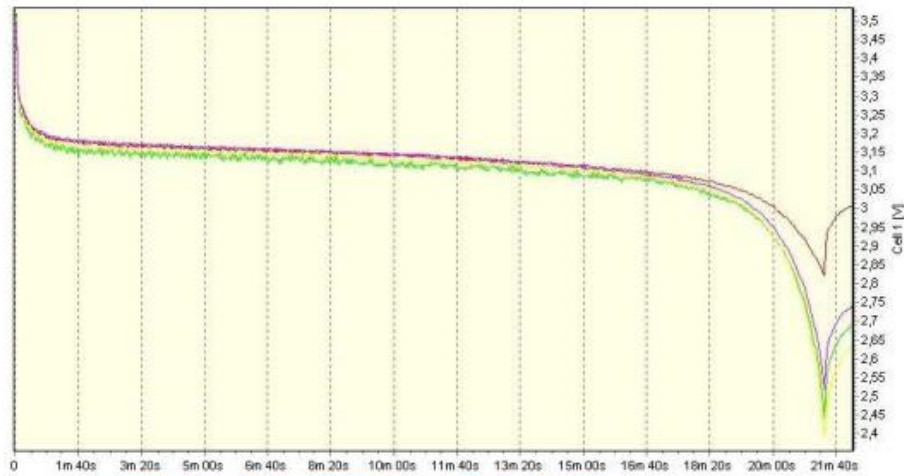
Normal operation test data for the ZG-LFP cells

- The discharge diagram for 2C (40A)



- Discharge of 4 cells at constant current to 2.5V at lowest cell.
- Discharge time to 2.8V - 34:50 (2090 s). Calculated capacity **23.20 Ah**
- 50% discharge voltage under load: 3.13V

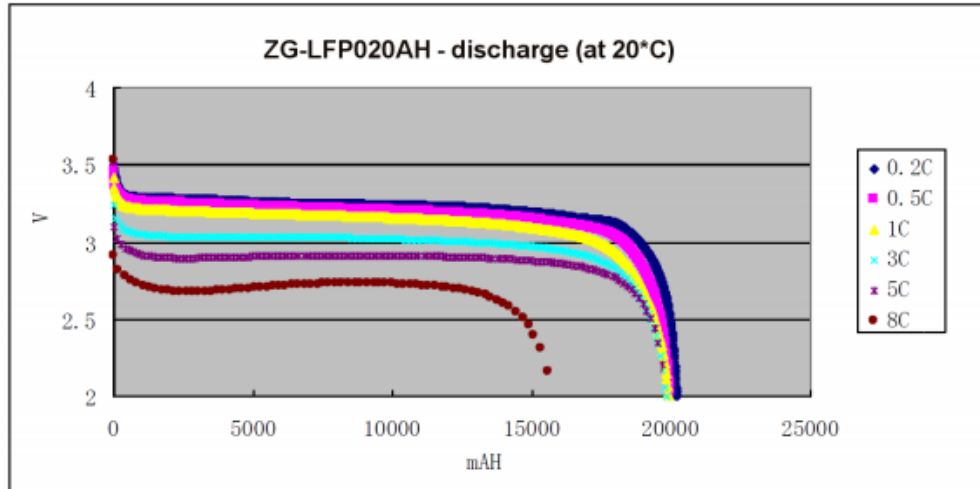
- The discharge diagram for 3C (60A)



- Discharge of 4 cells at constant current to 2.5V at lowest cell.
- Discharge time to 2.8V - 20:50 (1250 s). Calculated capacity **20.83 Ah**
- Discharge time to 2.5V - 21:20 (1280 s). Calculated capacity **21.34 Ah**
- 50% discharge voltage under load: **3.10V**

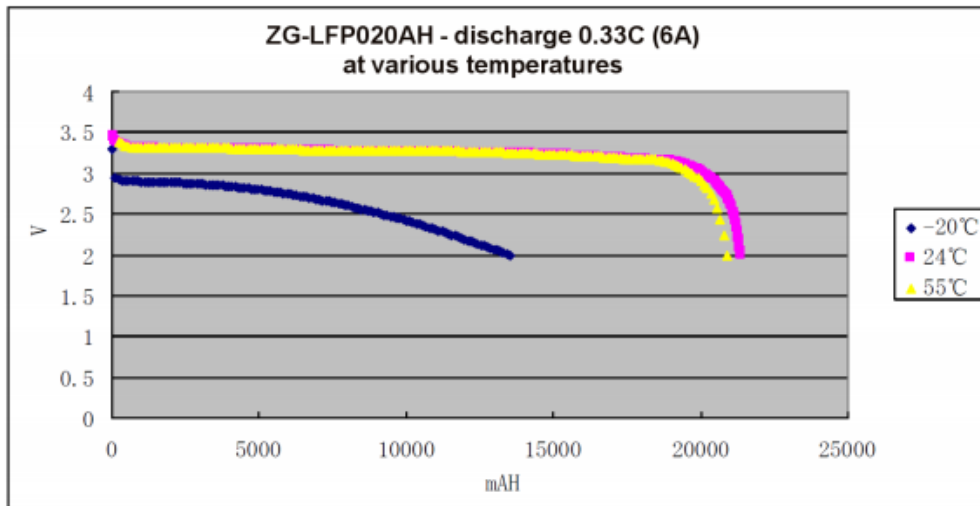
Extreme operation test data for the ZG-LFP cells

- The discharge diagram for various C-rates



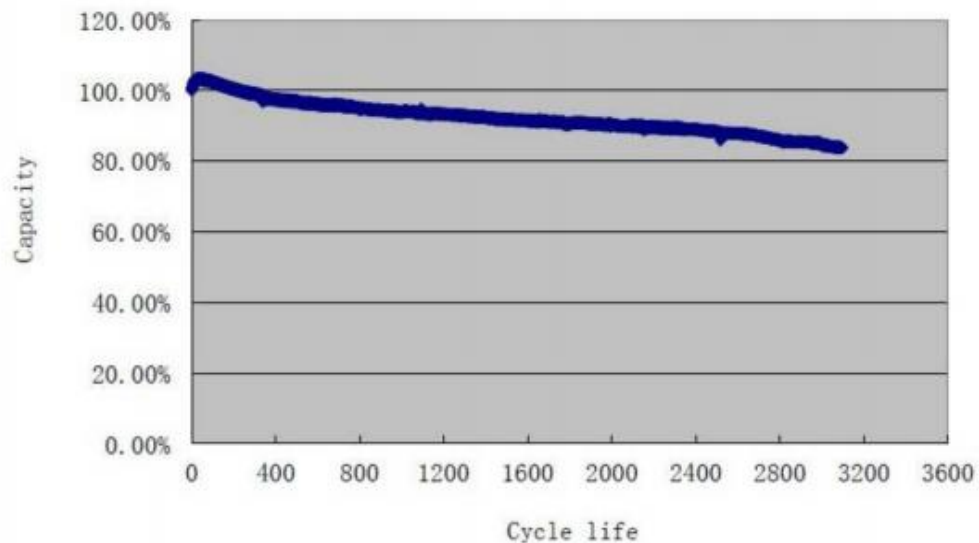
- The tests for 5C and 8C are only for demonstration, not supported by standard specifications

The discharge diagrams for various temperatures – 0.33C (6A)



- Discharge to 2.0V (for low temperature operation)
- Discharge to 2.8V (for regular temperature operation)

- The cycle life of the ZG-LFP cells is 2000+ cycles



- Cycle at 0.5C (charge and discharge), 2h rest time between charge and discharge
- Depth of discharge 80% (from 3.30V to 2.80V)
- Temperature +20°C

Compliance with CE norms

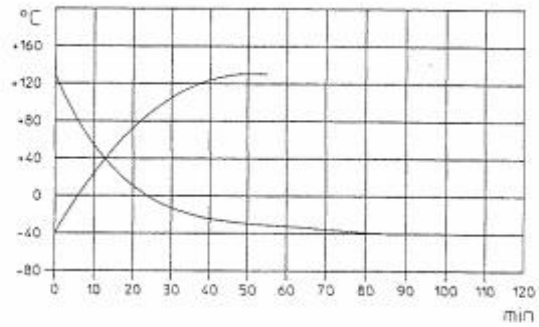


Taulukko 2: Lämpötilalataus -ja purkauskäyrä data

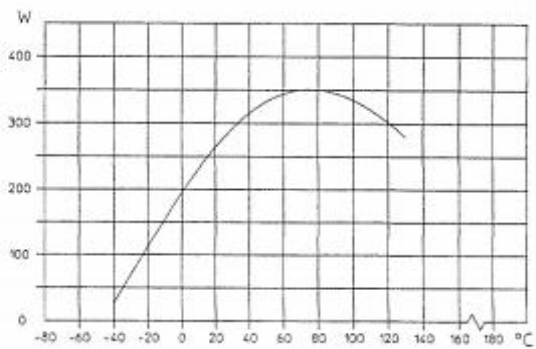
Operating Instructions VT 4002, VT 4004, VT 7004



VT 4002



Temperature change rate without test specimen



Heat compensation

[13]