

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

2018

Toni Mononen

AKUNHALLINTA- JÄRJESTELMÄT, LITIUMAKKUJEN LATAUS JA PURKAUS

Sekä litiumioniakkujen lataus ja purkaus



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Elektroniikkasuunnittelu

2018 | 21

Toni Mononen

AKUNHALLINTAJÄRJESTELMÄT, LITIUMAKKUJEN LATAUS JA PURKAUS

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua akunhallintajärjestelmiin ja niiden vaatimuksiin sekä suorittaa ja mitata litiumakkujen lataus- ja purkausprosessi.

Työssä käytettyjen litiumakkujen valinta oli suoritettu etukäteen Turun ammattikorkeakoulun toimesta. Vastaavasti myös testaus- ja mittauslaitteisto oli koulun tarjoama. Litiumakkujen lataus- ja purkaustestit suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun elektroniikan laboratoriossa.

Litiumakkujen lataus- ja purkausmittausten tuloksina saatiin jokseenkin normaalit käyrät akkujen jännitteille. Nämä tulokset hyvin pitkälti vastasivat odotettua lataus- ja purkauskäyttäytymistä.

ASIASANAT:

akku, litium, akunhallintajärjestelmä, lataus, purkaus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics

2018 | 21

Toni Mononen

BATTERY MANAGEMENT SYSTEMS, CHARGING AND DISCHARGING OF LITHIUM-ION BATTERIES

The purpose of this thesis was to explore battery management systems and their requirements and perform the charging and discharging processes of a lithium battery.

The lithium batteries used in the thesis were already selected previously by Turku University of Applied Sciences (TUAS). Similarly, the testing and measurement equipment used was also provided by TUAS. The charging and discharging processes were carried out in the Electronics laboratory of TUAS.

The results of the measurements for charging and discharging of lithium batteries gave quite normal voltage diagrams. These results largely corresponded to the expected charging and discharging behavior.

KEYWORDS:

Battery, lithium-ion, battery management system, charging, discharging

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 BMS	2
2.1 BMS:n koostumus ja toiminta	2
2.1.1 Kennon Suojaus	2
2.1.2 Latauksen valvonta ja hallinta	3
2.1.3 Virran tarpeen hallinta	3
2.1.4 SoC:n määrittäminen	4
2.1.5 SoH:in määrittäminen	4
2.1.6 Kennojen balansointi	4
2.1.7 Historia/loki	5
2.1.8 Todentaminen ja tunnistaminen	5
2.1.9 Kommunikaatio	5
2.2 BMS:in vaatimukset	6
3 LITIUMIONIAKUT	7
3.1 LFP akut	7
3.2 Lataus ja purkaus	7
4 AKKUJEN LATAUS JA PURKAUS MITTAUKSET	9
4.1 Lataus mittaus	9
4.2 Purkausmittaus	12
5 LOPUKSI	15
LÄHTEET	16

KÄYTETYT LYHENTEET

BMS	akunhallintajärjestelmä
LiFePO ₄ , LFP	litium-rautafosfaatti (akku)
SOC	latauksen tila (state of charge)
SOH	akun kunto (state of health)

1 JOHDANTO

Ylipäättään akut ovat erittäin yleisessä käytössä ympäri maailmaa. Akkuja on moneen eri tarkoitukseen ja monella erilaisella kemiallisella koostumuksella. Akut tarvitsevat kuitenkin yleensä jonkin asteisen järjestelmän hallitsemaan niitä tavalla tai toisella. Akunhallintajärjestelmät hoitavat monia eri asioita tai mahdollisesti minimaalista osaa akun toiminnasta, mutta ne ovat kuitenkin erittäin tarpeellisia.

Roger Rukundon 2017 julkaisema opinnäytetyö käsittelee osittain saman tyyppistä aihetta, mutta hänen työssään oli enemmän keskitytty litiumakkuihin. Tämä opinnäytetyö on ollut osittaisena apuna tätä työtä tehdessä. [1]

Opinnäytetyössä aiheena on pääosin aiheen akunhallintajärjestelmät, mutta samalla perehdytään hieman myös litiumakkuihin ja niiden lataus- ja purkausprosessiin. Työssä käytössä olevat akut ovat Turun ammattikorkeakoulun elektroniikan laboratorioon jo aiemmin tilattuja akkuja. Näillä akuilla tehtiin lataus- ja purkaustestaukset ja mittaukset.

2 BMS

Akunhallintajärjestelmää yleensä tarvitaan akuille ja akustoille. Tämä akunhallintajärjestelmä saattaa hoitaa vain mittauksia, mutta useimmiten myös muita akkujen kannalta eilintärkeitä toimenpiteitä. Esimerkiksi litiumakut vaativat reaktiivisten kemoidensa takia akunhallintajärjestelmän pitämään akun turvallisen käyttöalueen sisällä sekä takaamaan akulle pitkän elinkaaren. [2]

2.1 BMSn koostumus ja toiminta

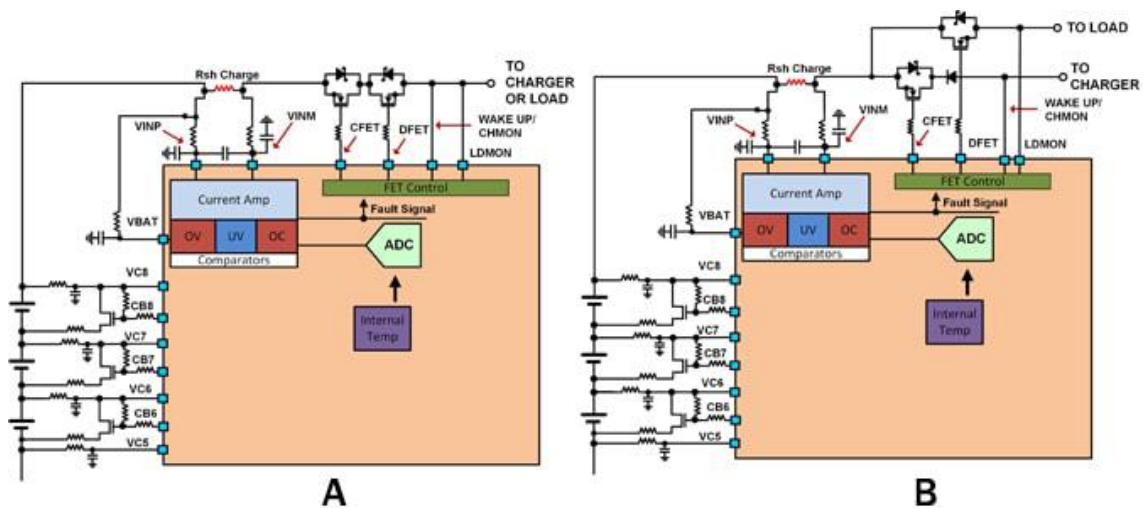
Akunhallintajärjestelmiä on kuitenkin monenlaiseen eri tarkoitukseen. Kaikilla akunhallintajärjestelmillä on kuitenkin muutama yhteinen päätavoite. Ne pyrkivät suojaamaan kennoja tai akkua vahingolta, pidentämään akun elinikää sekä ylläpitää akun tilaa, jossa se täyttää toiminnalliset vaatimukset käyttötarkoitukselle, jolle se on määritetty. Akunhallintajärjestelmät voivat käyttää yhtä tai useita seuraavista toiminnoista näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. [2]

2.1.1 Kennon Suojaus

Kennon suojauksen tarkoituksena on valvoa ja suojata kennoja. Yleisesti kennot pyritään suojaamaan liialliselta virralta, oikosuluilta, yli- ja alijännitteeltä, korkealta ympäristön lämpötilalta, kennon itsensä ylikuumenemiselta, paineen muodostumiselta kennon sisältä sekä järjestelmän eristämislä onnettomuuden sattuessa. Suurta osaa näistä suojauksista hoidetaan erilaisilla sulakkeilla (tavalliset sulakkeet, lämpösulakkeet, nollattavat sulakkeet). Tähän kategoriaan kuuluu myös akun mahdollinen jäähdytys. [2]

2.1.2 Latauksen valvonta ja hallinta

Akut vahingoittuvat usein vääränlaisen latauksen takia. Erityyppiset akut vaativat erilaisia lataustyyplejä akkujen kemioiden tai käyttötarkoitusten takia. Latauksen hallintaan kuuluu akun lataaminen, latausnopeuden optimointi sekä latauksen lopettaminen jännitteen ylärajan vastaan tullessa. Lataus voi tapahtua joko erillään purkamisesta tai yhtäaikaan sen kanssa. Kuvan 1 A kytkentä vaatii pienimmän määrän yhteyksiä, mutta latauksen ja purkamisen on tapahduttava erikseen. Kuvan 1 B kytkennässä taas on erilliset liitännät kuormalle ja laturille, näin ollen akkua voidaan purkaa ja ladata yhtäaikaaisesti. [2] [3]



Kuva 1 Latauskytkennän esimerkit [3]

2.1.3 Virran tarpeen hallinta

Virran tarpeen hallinta ei niinkään kohdistu itse akkuun, vaan enemmän käyttökohteeseen, jossa akku on käytössä. Tarkoitus on siis minimoida akkuun kohdistuva virrankulutus käyttämällä virtaa säästäviä sovellutuksia. Näin saadaan pidennettyä akun latausten aika väliä. [2]

2.1.4 SoC:n määrittäminen

Monissa sovellutuksissa tarvitaan tieto akun tai yksittäisten kennojen latausten tasoista. Tämä saattaa tarkoittaa vain käyttäjälle tarjottavaa ilmaisua akun jäljellä olevasta kapasiteetista tai sitä saatetaan tarvita hallintapiirissä latausprosessin optimaaliseen hallintaan. SoC:a käytetään myös sähköautoissa ilmaisemaan toimintasädettä ja hybridautoissa se määrittelee moottorin päälle ja pois kytkemistä. SoC:n tarkkuus on erittäin tärkeä suurilla litiumakkuja hallitessa niiden reaktiivisen kemian vuoksi. Yleisesti SoC:a mitataan jollain SoC:n mukana vaihtelevalla parametrilla. Esimerkkeinä näistä parametreista mainittakoon virta ja jännite. Tosin mittaus tapoja on useita.[2]

2.1.5 SoH:in määrittäminen

SoH, eli 'terveyden tila', tarkoittaa akun kykyä toimittaa sen määritysten mukainen ulostulo. Tämä on tärkeää mahdollisten varavirtalähteiden valmiuden kannalta sekä mahdollisten huoltotoimenpiteiden tarpeiden määrittämiseen. Sähköautoissa SoH määrittää auton kyvyn saavuttaa sen toimintasäde ja hybrideissä kyvyn toimittaa ennalta määrätty teho. SoH:ia useimmiten mitataan kennon tai kennojen impedanssin tai konduktanssin perusteella. [2]

2.1.6 Kennojen balansointi

Useista kennoista koostuvissa akuissa on usein pieniä kennojen välisiä eroja, jotka johtuvat toleransseista tai käyttöolosuhteista. Näillä eroilla on tapana suurentua jokaisen lataus tai purku syklin mukana. Näin ollen mahdollisuus vikoihin nousee kennojen määrän noustessa. Kennojen balansoinnilla pyritään tasoittamaan kennojen väliset erot akun eliniän pidentämiseksi. Tämä on myös erittäin tärkeää litiumakkujen kannalta, koska ne eivät siedä suurilla kennojen välisiä eroja. Kennojen balansointi voidaan toteuttaa aktiivisesti tai passiivisesti.

Aktiivisessa balansoinnissa pyritään siirtämään varausta yhdeltä tai useammalta korkeammalle varautuneelta kennolta heikommin varautuneelle kennolle tai kennoille.

Joissain balansointi ratkaisuissa varauksen ylärajan saavuttaneiden kennojen lataus yksinkertaisesti pysäytetään, samalla jatkaen heikompien kennojen lataamista.

Passiivinen balansointi taas yleensä tapahtuu käyttämällä dissipatiivisia tekniikoita korkeimmalle ladatun kennon tunnistamiseksi, josta poistetaan liika energia ohitusvastuksen kautta, kunnes jännite tai varaus vastaa heikompia kennoja. Passivisen balansoinnin ongelmana on akun suorituskyvyn määräytyminen heikoimman kennon mukaan sekä suuret häviöt. Passiivinen balansointi on kuitenkin halvin vaihtoehto. [2]

2.1.7 Historia/loki

Akun historian tarkastelu ja tallentaminen on myös yksi mahdollinen toiminto. Tätä tarvitaan muunmuassa SOH:in määrittämiseen, tosin tämä on vaihtoehtoinen tapa, joka perustuu arvioon akun tallennetusta käyttöhistoriasta. Useita parametrejä voidaan valvoa ja kirjata ylös, kuten esimerkiksi syklien määrä, minimi- ja maksimijännitteet sekä lämpötilat. [2]

2.1.8 Todentaminen ja tunnistaminen

BMS mahdollistaa myös kennon tietojen tallentamisen, kuten esimerkiksi valmistajan tyyppimerkinnän, sarjanumeron tai valmistuspäivämäärän. [2]

2.1.9 Kommunikaatio

Useimmat akunhallintajärjestelmät sisältävät jonkin asteista kommunikaatiota akun ja laturin tai testilaitteiston välillä. Jotkin taas linkittyvät toisiin järjestelmiin, joista voidaan tarkastella akun parametrejä. Tämä tapahtuu yleensä erilaisilla liitäntäporteilla tai langattomalla yhteydellä. [2]

2.2 BMS:in vaatimukset

Akunhallintajärjestelmiltä vaaditaan eri asioita käyttötarkoituksen mukaan. Tietysti yleispätevä versio sopii useaan paikkaan, mutta joihinkin tarkoituksiin tarvitaan erikoistunutta akunhallintajärjestelmää. Esimerkiksi hybridi- ja sähköautoissa vaaditaan akunhallintajärjestelmiltä paljon enemmän. Ottamatta huomioon yhteydenpitoa ajoneuvon muiden laitteiden kanssa niiden pitää toimia reaaliaikaisesti nopeasti vaihtuvissa lataus ja purkaus olosuhteissa. Hybridi- ja sähköautoissa on myös erityisen tärkeää pysyä turvallisen käyttöalueen sisällä. Lisäksi näissä olosuhteissa pitäisi tarjota akustolle mahdollisimman pitkä elinikä. [2] [4]

3 LITIUMIONIAKUT

Litiumioniakku(Li-ion battery) on ladattava akku, jossa litiumionit liikkuvat negatiiviselta elektrodilta positiiviselle elektrodille purkauksen aikana ja takaisin negatiiviselle elektrodille ladattaessa. Litiumioniakut ovat yksi yleisimmistä akkutyypeistä niiden korkean energia tiheyden, vähäisen itsepurkautumisen sekä pienen muisti-ilmiön vuoksi. Muisti-ilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa akku 'muistaa' varaustason, johon se on purettu, jolloin akun kapasiteetti pienenee. [5]

3.1 LFP akut

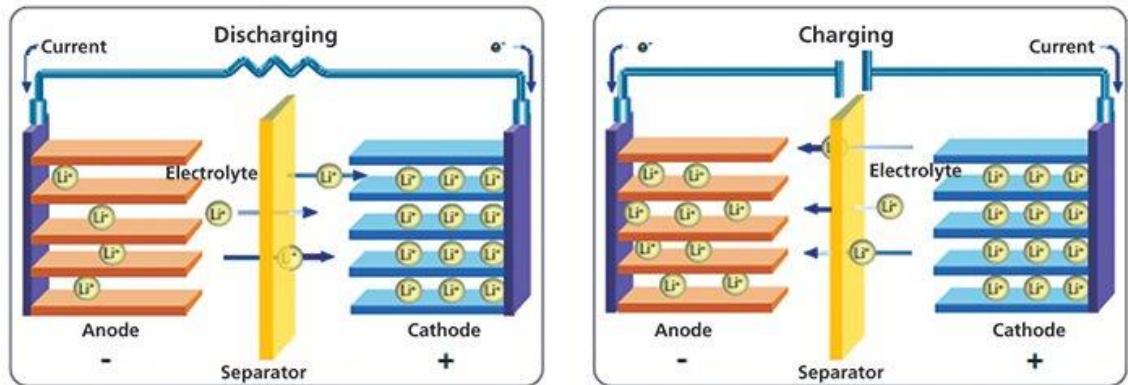
Litiumioniakuista on vuosien aikana kehitetty useita variaatioita, joista yksi on LiFePO₄-tyypin litiumioniakku. Näissä LFP-akuissa on jonkin verran matalampi energia tiheys, mutta ne tarjoavat pitemmän eliniän, paremman tehon tiheyden ja ovat lähtökohtaisesti turvallisempia. LFP-akkujen tyypillinen nimellisjännite on 3,2 V. Niiden maksimijännite on kuitenkin yleensä 3,6–3,8 V riippuen akusta [8]. LFP-akkujen yleinen minimioperointijännite taas on 2,8 V, jonka alapuolelle niitä ei mielellään kannata purkaa. LFP-akuille on löydetty usein käyttötarkoituksia kulkuneuvoissa ja varavirtalähteinä. [6][7]

3.2 Lataus ja purkaus

Litiumioniakuissa ei juurikaan esiinny muisti-ilmiötä, näin ollen akkuja ei tarvitse välttämättä purkaa loppuun asti ennen lataamista kapasiteetin säilyttämiseksi. Ne eivät myöskään purkaudu juurikaan itsekseen.

Nämä akut eivät kuitenkaan siedä yli- eikä alijännitteitä. Alijännitteet ovat vaaraksi akulle itselleen ja ylijännitteet aiheuttavat myös suuria ulkopuolisia turvallisuus riskejä. Tosin litiumioniakuilla on yleisesti jonkin asteinen BMS suojaamassa niitä turvallisen operointi alueen ulkopuolella olevilta olosuhteilta. Esimerkkinä latauksen pysäyttäminen ennen ylijännitettä. [1][2]

Litiumioniakkujen lataus ja purkaus perustuvat elektrolyyttien liikkumiseen akun anodin ja katodin välillä. Akkua ladattaessa elektrolyytit liikkuvan anodilta katodille ja purkaessa katodilta anodille (Kuva 2). [9]



Kuva 2 Litiumioniakkujen latauksen ja purkauksen periaate [9]

4 AKKUJEN LATAUS JA PURKAUS MITTAUKSET

Mittaus tehtiin GWL/Powerin WB-LYP100AHA LiFeYPO₄(LFYP) - kennoille. LFYP-kennoissa on lisänä yttriumia verrattuna tavallisiin LFP-kennoihin [10]. Tämä alkuaine on rautaa kemikaalisesti vakaampi, mikä puolestaan auttaa nostamaan kennojen elinikää. Kennojen nimellisjännite on tyypillinen 3,2 V ja operointijännite on 2,8 V – 4,0 V. Kennoja oli käytössä 4 joista muodostuu n. 12 V:n akusto (Kuva 2).



Kuva 3 LFYP kennoista muodostuva akusto

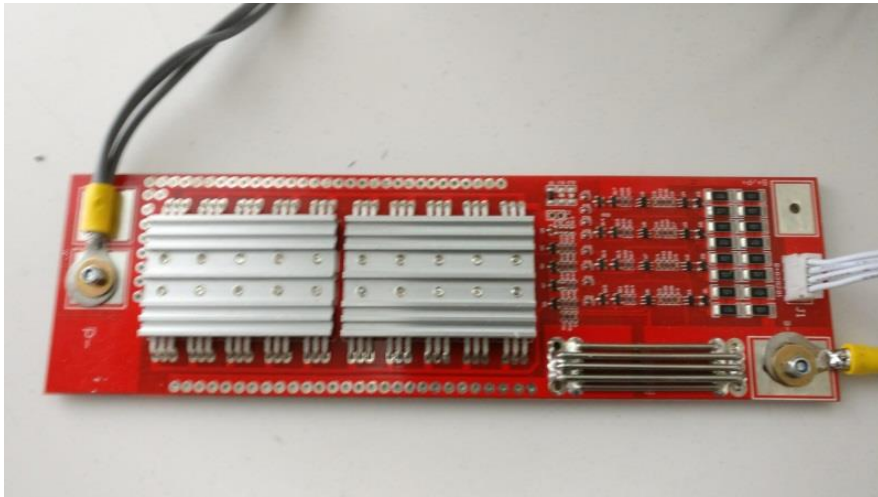
4.1 Lataus mittaus

Akuston lataamiseen käytettiin GWL/Powerin POW12V20A2- laturia (Kuva 3). Tämä laturi on suunnattu litiumakuille ja näin ollen soveltuu myös käytetyille LFYP kennoille.



Kuva 4 POW12V20A2 laturi

Käytössä oli myös yksinkertainen GWL/Powerin SBM04/60- akunhallintajärjestelmä (Kuva 4). Tämä 12 V:n jännitteen LFP kennoille suunnattu BMS antaa akuston latautua maksimissaan 14,4 V:n jännitteeseen. Näin ollen täyteen ladattuina kennoilla pitäisi olla n. 3,6 V:n jännite.



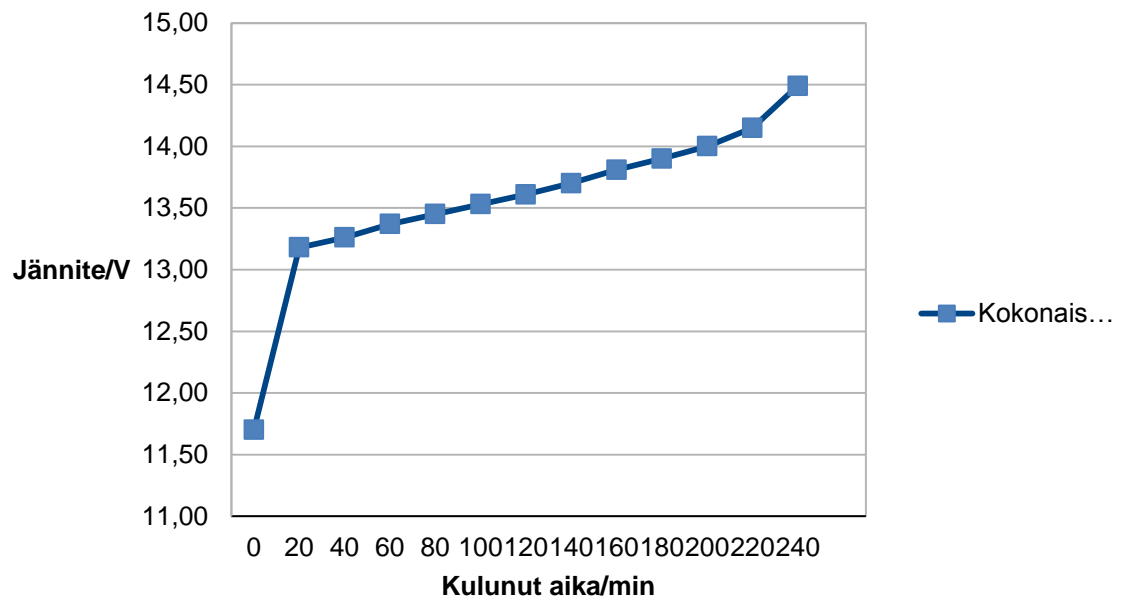
Kuva 5 SBM04/60- akunhallintajärjestelmä

Lataus aloitettiin n. 2,8 V:n minimi toimintajännitteestä jatkuen aina noin 3,65 V jännitteeseen kennoa kohden. Kennojen jännitteet mitattiin ja kirjattiin ylös 20 min:n välein.

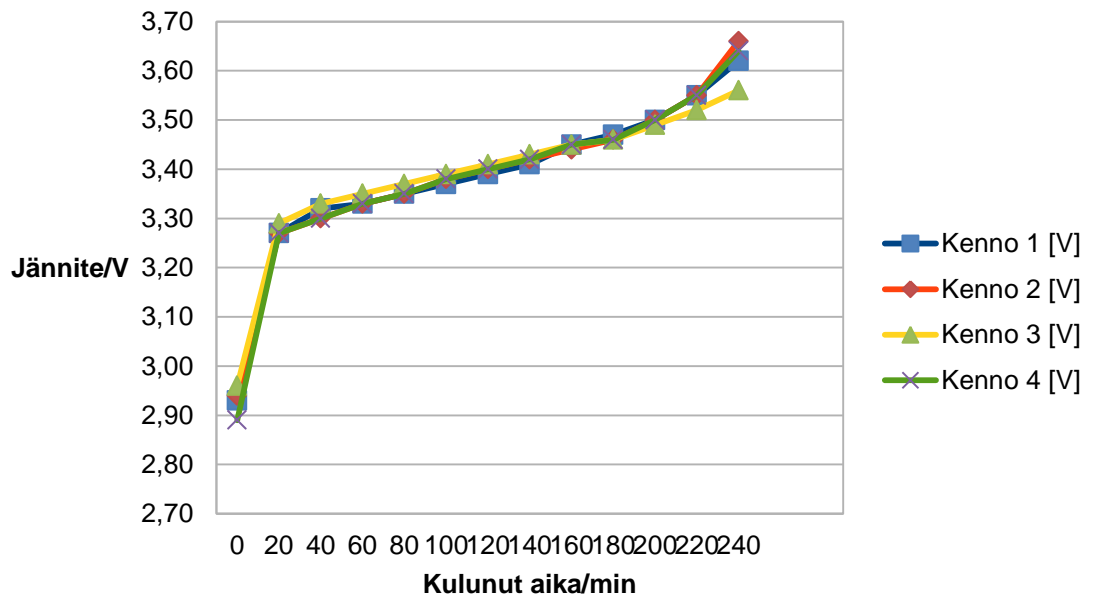
Minuutit	Kenno 1 [V]	Kenno 2 [V]	Kenno 3 [V]	Kenno 4 [V]	Kokonais jännite [V]
0	2,93	2,94	2,96	2,89	11,70
20	3,27	3,27	3,29	3,27	13,18
40	3,32	3,30	3,33	3,30	13,26
60	3,33	3,33	3,35	3,33	13,37
80	3,35	3,35	3,37	3,35	13,45
100	3,37	3,38	3,39	3,38	13,53
120	3,39	3,40	3,41	3,40	13,61
140	3,41	3,42	3,43	3,42	13,70
160	3,45	3,44	3,45	3,45	13,81
180	3,47	3,46	3,46	3,46	13,90
200	3,50	3,50	3,49	3,50	14,00
220	3,55	3,55	3,52	3,55	14,15
240	3,62	3,66	3,56	3,64	14,49

Taulukko 1 Ylös kirjatut latausmittaukset

Kuvioissa 1 ja 2 ei ehdi kokonaan näkymään latauskäyrän loppunousua johtuen laturin latauksen katkaisusta.



Kuvio 1 Akuston kokonaisjännite latauksen aikana



Kuvio 2 Kennojen jännitteet latauksen aikana

4.2 Purkausmittaus

Purkausmittauksessa käytettiin samaa laitteistoa kuin ladatessa, tosin laturi korvattiin LD300- keinokuormalla (Kuva 5). Mittaukseen käytettiin korkeinta mahdollista kuormaa, jonka LD300 pystyy tarjoamaan eli 8,19 A.



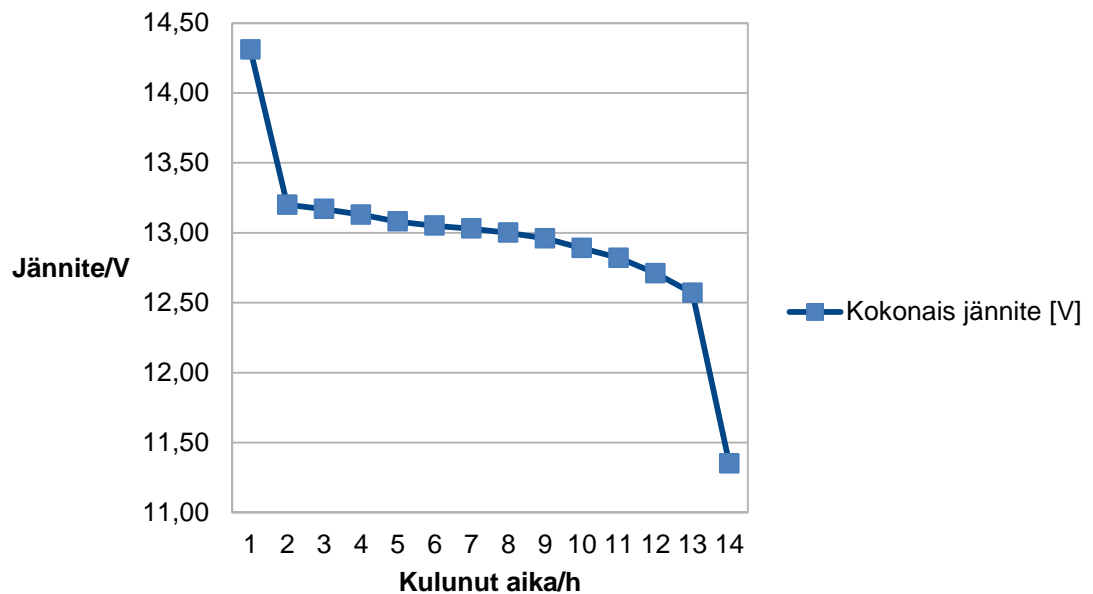
Kuva 6 LD300- keinokuorma

Purkaus aloitettiin noin 3,65 V jännitteestä kennoa kohden. Kennot voitaisiin periaatteessa purkaa 2,5 V:n jännitteeseen. Tämän alapuolelle mentäessä aiheutetaan pysyvää vahinkoa kennoille. Näin ollen purkausta jatkettiin vain toimintajännitteen alarajaa eli 2,8 V:n jännitteeseen. Jännitteet mitattiin ja kirjattiin ylös 1h:n välein (Taulukko 2).

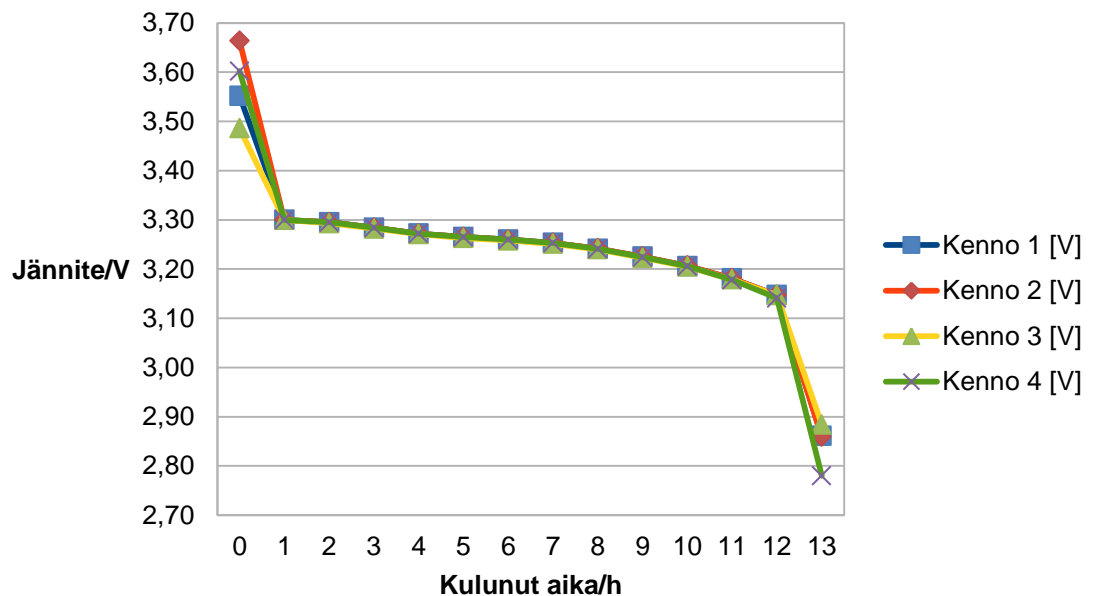
Tunnit	Kenno 1 [V]	Kenno 2 [V]	Kenno 3 [V]	Kenno 4 [V]	Kokonais jännite [V]
0	3,55	3,66	3,49	3,60	14,31
1	3,30	3,30	3,30	3,30	13,20
2	3,30	3,30	3,29	3,30	13,17
3	3,28	3,28	3,28	3,28	13,13
4	3,27	3,27	3,27	3,27	13,08
5	3,27	3,27	3,26	3,27	13,05
6	3,26	3,26	3,26	3,26	13,03
7	3,25	3,25	3,25	3,25	13,00
8	3,24	3,24	3,24	3,24	12,96
9	3,23	3,23	3,22	3,22	12,89
10	3,21	3,21	3,21	3,21	12,82
11	3,18	3,18	3,18	3,18	12,71
12	3,15	3,15	3,15	3,14	12,57
13	2,86	2,86	2,88	2,78	11,35

Taulukko 2 Ylös kirjatut purkausmittaukset

Kuvio 3 havainnollistaa hyvin purkauksen alussa tapahtuvan nopean putoamisen, jonka jälkeen purkausnopeus alkaa hidastua ja tasaantua. Minimioperointijännitettä lähestyessä purkausnopeus taas nousee. Kuviossa 4 taas näkyy kuinka jonkin verran vaihtelevat kenno jännitteet tasaantuvat purkauksen aikana ja taas alkavat erota loppu kohden.



Kuvio 3 Akuston kokonais jännite purkauksen aikana



Kuvio 4 Kennojen jännitteet purkauksen aikana

5 LOPUKSI

Tämän opinnäytetön tavoite oli tutustua akunhallintajärjestelmiin ja niiden vaatimuksiin sekä suorittaa lataus- ja purkausmittauksen litiumakuille.

Opinnäyteyö aloitettiin vuoden 2017 keväällä tutustumalla tarkemmin litiumakkuihin ja akunhallintajärjestelmiin. Lataus- ja purkausmittauksia aloitettiin kesällä 2017 ja jatkettiin syksyllä.

Akunhallintajärjestelmien suhteen tutkimukset sujuivat hyvin. Litiumakkujen lataus- ja purkaus testit myös suoritettiin onnistuneesti pienistä ongelmista huolimatta. Mittausten tulokset myös pitkälti vastasivat odotettua lataus- ja purkauskäyttäytymistä.

Eniten ongelmia tässä työssä oli mittausten aikataulutuksen kanssa. Erityisesti 13 tuntia kestänyt purkaus mittausta, jonka aikana akustoa ei voi jättää valvomatta turvallisuussyistä, eikä koulun laboratorio saa myöskään olla ilman valvojaa. Tähän tietysti olisi auttanut suurempi kuorma, kuin 8,19 A, mutta koulun puolesta ei ollut suurempaa saatavilla.

LÄHTEET

- [1] Rukundo, Roger, *Litiumakkujen lataus, purku ja lämpötilakäyttäytyminen*. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017060812933>
- [2] Woodbank Communcations, *Battery management systems (BMS)*. Saatavilla: <http://www.mpoweruk.com/bms.htm> (luettu 5.7.2017)
- [3] Renesas Electronics Corporation, *Battery management system tutorial*. Saatavilla: <https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/whitepapers/battery-management/battery-management-system-tutorial.pdf> (luettu 10.8.2017).
- [4] Battery Univeristy, *BU-1003: Electric Vehicle (EV)*. Saatavilla: http://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev (luettu 23.9.2017).
- [5] Wikipedia, *Lithium-ion battery*. Saatavilla: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery (luettu 15.6.2017).
- [6] Wikipedia, *Lithium iron phosphate battery*. Saatavilla: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery (luettu 15.6.2017).
- [7] Battery University, *BU-409: Charging Lithium-ion*. Saatavilla: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries (luettu 13.1.2018).
- [8] AA Protable Power Corporation, *LiFePO4/LiFeMnPO4 Batteries*. Saatavilla: <http://www.batteryspace.com/LiFePO4/LiFeMnPO4-Batteries.aspx> (luettu 12.3.2018)
- [9] Spectroscopy, *Techniques for Raman Analysis of Lithium-Ion Batteries*. Saatavilla: <http://www.spectroscopyonline.com/techniques-raman-analysis-lithium-ion-batteries> (luettu 16.3.2018)
- [10] GWL/Power, *FAQ: The difference between the LFP and LFYP*. Saatavilla: <http://gwl-power.tumblr.com/post/237080531/faq-the-difference-between-the-lfp-and-lfyp> (luettu 3.4.2018).