

Tomi Lintula

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULUN
SÄHKÖAUTOPROJEKTIN AKUSTO
JA BMS-JÄRJESTELMÄ

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2014

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULUN SÄHKÖAUTOPROJEKTIN
AKUSTO JA BMS-JÄRJESTELMÄ

Lintula, Tomi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2014
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri
Sivumäärä: 31
Liitteitä: 1

Asiasanat: Sähköautomuunnos, akusto, BMS,

Opinnäytetyön aiheena oli sähköauton akusto ja BMS-järjestelmä, Satakunnan ammattikorkeakoulun sähköautoprojektissa. Työssä käydään läpi myös sähköauto käytössä olevia akkutyyppejä BMS-järjestelmiä yleisellä tasolla.

SATAKUNTA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES ELECTRIC CAR
PROJECT BATTERY AND BMS

Lintula, Tomi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering

April 2014

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 31

Appendices: 1

Keywords: Electric car conversion, battery, BMS

The purpose of this thesis was to go through the installation and application of battery and BMS of the electric car project in Satakunta University of Applied Sciences. This thesis will also go through the battery types and BMS commonly used in electric vehicles

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	AKUSTO.....	6
2.1	Sähköautoissa käytetyt akkutyypit.....	7
2.1.1	Lyijyakku	7
2.1.2	Nikkeliakku	9
2.1.3	Litium-ioniakku.....	11
3	SAMK SÄHKÖAUTON AKUSTO	14
3.1.1	Kennojen tekniset tiedot.....	14
3.1.2	Akuston sijoittelu	15
3.1.3	Akuston kytkentä.....	17
3.1.4	Lataus	20
4	BMS-JÄRJESTELMÄ	21
4.1	BMS-järjestelmät	22
4.2	Balanssointi.....	23
4.3	Valvonta	23
5	SAMK SÄHKÖAUTON BMS-JÄRJESTELMÄ.....	24
5.1	Järjestelmän käyttöönotto	24
5.2	Järjestelmän ominaisuudet.....	27
6	LOPPUSANAT	28
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Satakunnan ammattikorkeakoulussa opiskelijaprojektina rakennetun sähköauton akustoa ja BMS-järjestelmää. Työssä käsitellään sähköautoissa käytössä olleita akkutyyppejä ja BMS-järjestelmiä yleisellä tasolla, sekä SAMK sähköautossa käytössä olevaa akustoa ja BMS-järjestelmää.

Projektista jaettiin opinnäytetyöaiheita useille henkilöille, kuten Mikko Myntille ja Jaakko-Ville Tabermanille, joiden haastatteluja on käytetty tämän opinnäytetyön lähteinä.



Kuva 1. Sähköauto teippauksen jälkeen (Lintula 2014)

2 AKUSTO

Sähköautojen ehkäpä tärkein osa on sen akusto. Se on usein myös auton kallein yksittäinen osa. Korkealaatuiset akut maksavat moninkertaisesti enemmän ja myös akutekniikoiden välillä on eroa. Lithiumakkujen hinnat ovat tosin tulleet alaspäin teknologian kehittyessä ja nykyään ne ovatkin jo usein ainoa vaihtoehto sähköautoa rakentaessa. Akustoa valittaessa onkin monia asioita mitä pitää miettiä huolella.

Sähköautoissa on erityisen tärkeää, että auto pyritään pitämään mahdollisimman kevyenä. Näin saavutetaan mahdollisimman pitkä ajomatka. Akustoa silmällä pitäen tärkeä ominaisuus on akkujen energiatiheys Wh/kg, eli kuinka monta wattituntia on kilogrammaa kohden. Nykyisissä akuissa hyötysuhde on tyypillisesti yli 90 % luokkaa ja vaikka polttoaineiden hyötysuhde autoissa on melko huono, on silti polttoaineiden energiatiheys kymmenkertainen parhaimpiin akkuteknologioihin verrattuna. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus www-sivut n.d.)

Yksi ajomatkaan vaikuttava tekijä on talvi ja lämmityksen tarve. Polttomoottoriautoissa suuri osa polttoaineesta muuttuu lämmöksi, jolla voidaan lämmittää auton matkustustilat, mutta sähköautossa tällaista hukkalämpöä ei juurikaan synny. Tästä seuraten autoon on lisättävä erillinen lämmitin. Jos lämmitin ottaa virtansa ajoakustosta, maksimi ajomatka lyhenee huomattavasti, jopa neljänneksen. Yksi vaihtoehto on lisätä polttoaineella toimiva lämmitin, mutta silloin auto ei enää ole täysin päästötön.

Lataus voi myös olla yksi akuston valintaan vaikuttava tekijä. Joitakin akkuja täytyy ladata tietyllä tavalla, esimerkiksi lämpötilalla voi olla suuri merkitys. Jos akustoa ei ladata oikein ne voivat vaurioitua herkästi ja jo yhden kennon vaurioituminen voi aiheuttaa sen, että koko akustoa ei voi enää käyttää. Siksi sähköautoissa on yleensä aina jokaista kennoa yksitellen valvova ja jännitetasoja tasapainottava akustonhallintajärjestelmä. Esimerkiksi lithiumakut ovat todella herkkiä latauksen ja purkamisen suhteen, sillä ne voivat liikaa ladattaessa jopa räjähtää. Myös pikalatauksen tarve voi olla vaikuttava yksityiskohta. Pikalatauksella tarkoitetaan lataustekniikkaa, joka lataa akustoa suuremmalla virralla kuin normaalisti, jolloin saavutetaan täysi kapasiteetti.

teetti murto-osassa ajasta. Osa akkutyypeistä ei tätä pikalatausta kuitenkaan kestä, jolloin akustoa ei tällä tekniikalla voida ladata.

Akusto sijoitetaan usein auton keskiosaan, jolloin auton tasapaino säilyy. Akuston sijoittaminen onkin yksi tärkeistä tekijöistä sähköauton rakentamisessa. Akuston koko voi vaihdella suuresti ja riippuen akkutyypistä myös muoto voi olla vaikuttava yksityiskohta. Tämä kuitenkin riippuu pitkälti siitä, millaiseen runkoon akusto täytyy sijoittaa. Yksi vaihtoehto latauksen nopeuttamiseksi olisi akuston vaihtomahdollisuus. Tämä saavutetaan rakentamalla akusto yhtenäiseksi paketiksi, joka voidaan helposti ja nopeasti irroittaa, sekä vaihtaa uuteen pakettiin. Näin matka voi jatkua ja tyhjä akustopaketti jää lataukseen.

2.1 Sähköautoissa käytetyt akkutyypit

Sähköautot olivat ensimmäisiä käyttöön otettuja autotyyppisiä ja erittäin suosittuja 1900-luvun alussa, kunnes parempia polttomoottoriautoja tuli markkinoille, syrjäyttäen näin sähköautojen aseman. Sähköautoissa onkin käytetty monenlaisia akkutyyppejä ja uusien akkuteknologioiden tullessa kuluttakäyttöön on niitä myös sovellettu sähköautoihin sopiviksi. Tässä kappaleessa käyn yleisellä tasolla läpi eri akkutyyppejä, joita on käytetty sähköautoissa. (Mary Bellis n.d.)

2.1.1 Lyijyakku

Lyijyakku on ensimmäinen kuluttaja käyttöön tullut akkutyyppi ja ensimmäisiä akkuja tuotiin markkinoille 1800-luvun puolivälissä. Lyijyakkujen toiminta perustuu kemialliseen reaktioon jossa elektrodina on kaksi lyijylevyä ja elektrolyytinä toimii rikkihapon ja veden sekoitus. 12 voltin akun valmistamiseksi täytyy yhdistää kuusi sarjaankytkettyä lyijylevyä. (Battery University [www-sivut](#) 2010.)

Täydessä varauksessa olevan akun katodi on peittynyt lyijydioksidilla ja anodi on puhdasta lyijyä. Kun akkuä lähdetään purkamaan, syntyy kemiallinen reaktio. Reaktiossa elektrolyytinä toimiva rikkihappo hajoaa vedeksi ja rikiksi. Rikki siirtyy lyijyleville peittäen ne lyijysulfaattilla. Akun jännitetaso laskee sitä mukaa, kun katodi ja

anodi peittyvät lyijysulfaatilla. 12 voltin akun jännite taso laskee 10,5 volttiin, kun molemmat lyijylevyt ovat lyijysulfaatin peitossa ja elektrolyytti on enää vettä. Jotta akkua voidaan käyttää uudelleen, se täytyy ladata. Ladatessa akkua elektrodien väliin laitetaan jännite aiheuttaen samalla käänteinen reaktio, jolloin katodi peittyy jälleen lyijydioksidilla ja anodi puhdistuu pelkäksi lyijyksi. (Progressive Dynamics www-sivut 2013.)

Lyijyakkua on olemassa avoimina ja suljettuina malleina. Avoimia lyijyakkua täytyy huoltaa lisäämällä niihin vettä säännöllisin väliajoin, sillä sitä haihtuu aina pieniä määriä akkujen käytössä. Suljettuja eli VRLA (Valve Regulated Lead Acid) - akkuja on olemassa kahta eri tyyppiä; AGM (Absorbed Glass Mat) ja lyijyhyytelöakkuja, joita kutsutaan myös geeliakuiksi. Suljetut akut ovat niin sanottuja huoltovapaita akkuja, joka tarkoittaa sitä, että niihin ei tarvitse lisätä vettä, kuten avoimiin lyijyakkuihin.

AGM - akut ovat niin sanottuja ristikkolevyakkuja. Nämä akut eroavat tavallisista lyijyakuista siten, että akkujen eristeet tehdään erittäin ohuesta lasikuidusta, joka punotaan matoksi. Tällä mahdollistetaan se, että levyillä ja eristeillä on tarpeeksi pintalaa pitääkseen sisällään tarvittavan määrän elektrolyyttiä niiden eliniän ajaksi. Rakenteensa vuoksi AGM-akuilla on pieni sisäinen resistanssi ja niiden virranantokyky on suuri. Ne sietävät myös hyvin syväpurkamista ja AGM-akkuja käytetäänkin usein hybridautoissa, joissa on niin sanottu Start & Stop - järjestelmä. Tämä järjestelmä mahdollistaa auton sammuttamisen pysähdyttäessä esimerkiksi liikennevaloihin ja käynnistämisen liikkeelle lähdettäessä. (Battery University www-sivut 2010; Battery Stuff www-sivut 2012.)

Geeliakuissa elektrolyytti on jähmetetty geelimäiseksi lisäämällä siihen piidioksidia. Näin akut ovat rakenteeltaan kiinteitä ja ne kestävät hyvin tärinää. Sisäinen resistanssi on kuitenkin suurempi, jolloin saavutetaan pienempi virranantokyky. AGM- ja geeliakkujen etuna on se, että niistä ei pääse vuotamaan mitään, jos ne menevät rikki toisin, kuin tavallisissa lyijyakuissa jossa lyijylevyt ovat upotettuna elektrolyyttiin. Akkujen rakenteen vuoksi niistä voidaan tehdä lähes kaiken muotoisia. (Battery University www-sivut 2010; Battery Stuff www-sivut 2012.)

Lyijyakkua on olemassa startti- ja syväpurkausakkuina. Starttiakut pystyvät antamaan suuria virtoja kerralla, mutta eivät kestä niin sanottua syväpurkausta, jossa akkua puretaan mahdollisimman paljon. Syväpurkausakut sen sijaan kestävät paremmin purkamista ja niiden tarkoituksena on antaa mahdollisimman paljon energiaa käyttöön. Ne eivät kuitenkaan voi antaa kovin suuria virtoja kerralla. Starttiakkuja käytetäänkin autoissa lähinnä auton käynnistämiseen, johon vaaditaan suuria virtoja. (Battery University www-sivut 2010.)

Lyijyakkujen etuna on niiden edullisuus uudempiin akkutyyppeihin verrattuna. Niiden käyttö on myös paljon helpompaa kuin, esimerkiksi lithiumakkujen käyttö, sillä nämä vaativat lähes aina akustonhallintajärjestelmän. Huonona puolena lyijyakuilla sähköautokäytössä on niiden paino. Lyijy on todella raskas metalli ja akut painavatkin usein moninkertaisesti muihin akkutyyppeihin verrattuna. Koska sähköauton ajomatkaan vaikuttaa suuresti sen massa, lyijyakkujen käyttö ei ole suotavaa tavoittelessa mahdollisimman pitkää ajomatkaa. Lyijyakkua käytetäänkin ajoneuvotekniikassa voimanlähteenä lähinnä golfkärryissä ja trukeissa, joiden ajomatkat eivät välttämättä ole kovin pitkiä.

Yksi esimerkki Suomessa käytössä olleista sähköautoista, joissa käytetään lyijyakkua ajoakustona, on suomalaisen sähköautovalmistaja Elcat Oy:n Cityvan 202 ja Citywagon 202 mallit. Elcat Oy:n autoja käytettiin 1990-luvulla Postin jakeluautoina. Vuonna 1998 Postilla oli yli 60 jakeluautoa päivittäisessä käytössä. Elcat Oy:n autot ovat tänä päivänä suosittuja harrastelijoiden keskuudessa, sillä niistä saa muokattua helposti moderneja sähköautoja vaihtamalla akusto esimerkiksi lithiumrautafosfaatti akuiksi. (Elcat www-sivut n.d.)

2.1.2 Nikkeliakku

Nikkeliä käyttäviä akkuja on kahta eri tyyppiä; nikkelikadmium (NiCd) ja nikkeli-metallihydridi (NiMH). Nikkelikadmium-akkujen kuluttajakäyttö on nykyisin rajoitettua vain erityiskäyttöön, koska kadmium on vaarallinen myrkkä ihmiselle ja ympäristölle. Nikkeli-metallihydridi- ja litiumakut ovatkin korvanneet NiCd-akut sähköautokäytössä.

Ensimmäinen nikkelikadmium-akku keksittiin vuonna 1899 ruotsalaisen Waldemar Jungnerin toimesta. NiCd-akun katodi on nikkelihydroksidia, anodi kadmiumia ja elektrolyyttinä käytetään kaliumhydroksidiliuosta. Kuten lyijyakussa NiCd-akku varastoi ja purkaa sähköistä varausta kemiallisten reaktioiden avulla. Nikkelikadmium-akkujen erona lyijyakuun on sen purkamisen jännitekäyrä. NiCd-akun jännite kennoparia kohden on pienempi, mutta se ei juurikaan laske ennen, kuin akun varaus on lähes tyhjä. Näin akku voi antaa suuria virtoja ilman että jännite laskee. Myös sisäinen resistanssi on pieni NiCd-akuissa, joten ne voivat antaa suuria virtoja ulos. Tästä johtuen kyseinen akkutyyppe sopii hyvin paljon virtaa tarvitsevien työkalujen virranlähteeksi, kuten esimerkiksi porakoneisiin. (Battery University www-sivut 2010; Mary Bellis n.d.)

NiCd-akkujen etuna lyijyakkuihin verrattuna on niiden lataaminen, sillä akkutyyppe sietää suurilla virroilla lataamista ilman, että niiden elinikä lyhenee. Tämä mahdollistaa akun pikalataamisen, eivätkä akut myöskään kärsi ylilataamisesta. Huonona puoleena NiCd-akkujen lataamisessa on se, että ne vaativat tarkan latausjännitteen. Tämä jännite on noin 1,2–1,45 V per kennopari. NiCd-akut eivät myöskään ota latausta vastaan täyden kapasiteetin edestä, jos lämpötila ylittää noin 45 celsius asteen. Myös niin sanottu muisti-ilmiö on NiCd-akkujen ongelmana. Jos akkuja ei pura tyhjäksi ja lataa täyteen tarpeeksi usein, niiden kapasiteetti pienenee käytettyyn purkamismäärään. Onkin suotavaa, että akku tyhjenetään kokonaan varauksesta säännöllisin väliajoin. Akun napoja ei kuitenkaan koskaan saa oikosulkea, sillä tämä aiheuttaa elektrolyytin kaasuuntumista ja pahimmassa tapauksessa akku voi räjähtää. (Battery Stuff www-sivut 2012.)

Nikkeli-metallihydridi-akkuja alettiin tutkia 1970-luvulla, mutta metallihydridit olivat liian epävakaita käytettäväksi akkuteknologiassa. Tutkijat keksivätkin ensin nikkeli-vety-akut. Vasta 80-luvulla löydettiin uusia hydridiseoksia, joilla saavutettiin parempia ja vakaampia akkuja. Nikkeli-metallihydridiakuissa myrkyllinen kadmium on korvattu anodissa metallihydridillä. Katodina NiMH-akuissa käytetään nikkelihydroksidia ja elektrolyyttinä kaliumhydroksidia, samoin kuin NiCd-akuissa. Metallihydridi on vetyä absorboiva metalliseos. (Battery University 2010.)

NiMH-akkujen energiatiheys on jopa kaksinkertainen lyijyakkuihin verrattuna ja noin 40% suurempi kuin NiCd-akuissa. NiMH-akkujen muisti-ilmiö on huomattavasti pienempi, kuin NiCd-akuissa ja uusissa akuissa tätä ilmiötä ei juurikaan esiinny. Muisti-ilmiön estämiseksi akkuja suositellaan tyhjennettäväksi kerran kuussa. Akkujen latausominaisuudet ovat samankaltaiset kuin NiCd-akkujen ja purkamisessa on erona hieman pienempi virranantokyky. (Battery University www-sivut 2010; Electropaedia www-sivut n.d.)

Huonona puolena voidaan pitää akkujen kalliimpaa hintaa, mutta samalla ne ovat myös ympäristöystävällisempiä kuin lyijy- tai nikkelikadmium-akut. Kun NiMH-akkuja verrataan litiumakkuihin, on niiden hinta kuitenkin usein halvempi. Tästä ja niiden paremmasta turvallisuudesta johtuen NiMH-akkujen käyttö on yleistä hybridi-autojen käytössä. Energiatiheys NiMH-akuissa on kuitenkin pienempi kuin litiumakuissa ja niillä on myös suuri itsepurkausnopeus; noin 20 % akun varauksesta häviää kuukaudessa. Akkujen rakentamisessa käytetyt raaka-aineet ovat harvinaisia, kuten lantaani ja siten myös rajallisesti saatavissa. (Battery University www-sivut 2010; Electropaedia www-sivut n.d.)

2.1.3 Litium-ioniakku

Litium-ioniakku eli Li-ion-akku on akkutyyppejä, jota käytetään yleisimmin sähköautoissa. Litium on metalleista kevyin, sillä on suurin elektrokemiallinen potentiaali ja se tarjoaa parhaan kapasiteetin painoon nähden. Ensimmäiset ei-ladattavat litiumakut tulivat markkinoille 1970-luvun alussa. Johtuen litiummetallin luonnollisesta epävakaudesta, ensimmäiset yritykset luoda ladattavia akkuja 80-luvulla litiummetallista epäonnistuivat, sillä akut olivat liian vaarallisia kuluttajakäyttöön. Tutkijat siirtyivätkin litiummetallin käytöstä vähemmän epävakaiseen litium-ionin käyttöön akkujen valmistuksessa. Vuonna 1991 Sony toi markkinoille ensimmäisen ladattavan litium-ioniakun ja muut valmistajat seurasivat pian perässä. (Battery University www-sivut 2010)

Litium-ioniakuissa toiminta perustuu nimensä mukaisesti litium-ionin liikkeeseen anodin ja katodin välillä, kun akkua puretaan. Ladatessa liike on toisen suuntainen, eli katodista anodiin, jossa litium-ionit täyttävät huokoisen anodimateriaalin tyhjät kolot. Li-ion-akuissa anodi on usein valmistettu grafiitista ja akun tyyppi vaihtelee katodissa käytetyn materiaalin mukaan. Yleisimmät litium-ioniakkujen katodien materiaalit ovat litiumrautafosfaatti, mangaanioksidi tai nikkeli- ja kobolttioksidi. Riippuen materiaalivalinnoista, akuilla voi olla suuria eroja kennojännitteen, kapasiteetin, turvallisuuden ja eliniän suhteen. Elektrolyytinä litium-ioniakuissa on tyypillisesti litiumsuoloja, jotka ovat orgaanisessa liuotimessa, kuten etyleenikarbonaatissa, dimetyylikarbonaatissa tai di-etyylikarbonaatissa. Elektrolyytissä käytettävät aineet vaihtelevat valmistajan mukaan. (Battery University [www-sivut 2010](#); Physics Central [www-sivut n.d.](#))

Li-ion-akkujen suurin etu sähköautokäytössä on niiden suuri energitiheys, sillä se on tyypillisesti kaksinkertainen tavalliseen nikkelikadmium-akkuun verrattuna. Li-ion-akuilla on vielä potentiaalia kasvattaa energitiheyttään. Koska litium-ioniakuilla on suuri kennojännite, yleensä 3,6V, akun rakentamiseen ei tarvita niin montaa kennoa, kuin esimerkiksi nikkeliakun rakentamiseen. Muita litium-ioniakkujen etuja ovat niiden huoltovapaus, niillä ei ole muisti-ilmiötä, ne ovat ympäristöystävällisiä ja niiden itsepurkausnopeus on paljon pienempi kuin nikkeliakuilla. (Battery University [www-sivut 2010](#); Physics Central [www-sivut n.d.](#))

Litium-ioniakkujen haittapuolena on niiden epävakaous. Li-ion-akut tarvitsevat aina akustonhallintajärjestelmän suojaamaan niitä yli- ja alijännitteiltä, sekä tasaamaan akuston jännitettä. Myös akkujen lämpötilaa täytyy seurata, sillä ne eivät saa päästä liian kuumiksi. Jos akkuja käytetään väärin ne voivat pahimmassa tapauksessa syttyä tuleen tai jopa räjähtää. Li-ion-akkujen huonona puolena on myös niiden ikääntyminen. Vaikka akkuja ei käytettäisi, ne menettävät osan kapasiteetistaan usein jo ensimmäisen vuoden aikana. Akkujen valmistaminen on huomattavasti kalliimpaa kuin nikkeliakkujen valmistaminen, sillä Li-ion-akkujen valmistaminen on vaativaa. Akkujen valmistuksessa vaaditaan tarkkuutta, sillä pienikin määrä metallipölyä akussa voi aiheuttaa oikosulun. Tämä taas saa aikaan akun lämpenemisen ja akku voi saavuttaa kriittisen lämpötilan, missä se syttyy palamaan. (Battery University [www-sivut 2010](#); Physics Central [www-sivut n.d.](#))

Tutkijat etsivät jatkuvasti uusia materiaaleja akkujen kehittämiseksi ja yksi lupaavimmista materiaaleista on pii. Piillä on yritetty korvata grafiitti anodissa, sillä se pystyy varastoimaan jopa 10 kertaa enemmän litium-ioneja, kuin yleisesti käytössä oleva grafiitti. Ongelmana piin käytössä on sen paisuminen ja kutistuminen purkaessa ja ladataessa. Muutaman purku-lataus-syklin jälkeen piihiukkaset eivät enää ole kosketuksissa toiseen, jolloin anodin johtavuus laskee. Tätä ongelmaa tutkijat yrittävät ratkaista polymeerisidoksella, joka toimii elektrolyytinä ja samalla sitoo piihiukkaset toisiinsa. Uudet polymeerisidokset ovat erittäin venyviä ja johtavat sähköä hyvin. (Battery University www-sivut 2010; Soili Semkina 2011.)

3 SAMK SÄHKÖAUTON AKUSTO

Projektiryhmä lähti syksyllä 2012 miettimään vaihtoehtoja sähköauton akustoksi. Saimme tarjouksen kaivoslaitteiden prototyyppejä valmistavalta yritykseltä ja päätimme ostaa heiltä prototyyppi käytössä olleen akuston ja BMS-järjestelmän. Koska allekirjoitimme salassapitosopimuksen heidän pyynnöstä, en voi kertoa enempää kaupan yksityiskohdista, enkä heidän toimistaan akuston parissa. Kerron tässä kappaleessa kyseisestä akustosta.

Hankkimamme akusto koostuu litiumrauta-fosfaattikenoista, lyhenteeltään LiFePO₄ (Lithium-Iron Phosphate). Kennot on valmistanut International Battery Inc. LiFePO₄-akkujen etuna on niiden turvallisuus muihin litium-ioniakkuihin verrattuna. Akkutyyppi onkin yksi käytetyimmistä litiumakuista sähköautoissa. Niiden riski syttyä tuleen tai räjähtää on lähes olematon, kunhan niitä käytetään oikein. Tämän varmistaa akustonhallintajärjestelmä, josta kerron lisää kolmannessa luvussa. Akkukennot ovat myrkyttömiä, joten ne ovat täten ympäristöystävällisiä ja helposti kierrätettäviä. Kennojen rakenne mahdollistaa hyvän lämmön haihduttamisen ja tehokkaan tilankäytön.

3.1.1 Kennojen tekniset tiedot

Akustossa on kuusikymmentä kappaletta LiFePO₄ akkukennoja kytkettynä sarjaan, jolloin akuston kapasiteetiksi tulee 160 Ah. Yksittäisen kennon paino on 5,4 kg ja koko akuston paino on 324 kg. Energiatiheys akustossa on 94 Wh/kg ja nimellinen energia on 512 Wh per kenno, jolloin akuston kokonaisenergiaksi saadaan noin 30 kWh. Yhden kennon nimellisjännite on 3,2 V ja koko akuston jännitteeksi saadaan 192 V. Kennojen itsepurkamisnopeus on alle 3 %, joten ne eivät juuri tyhjene, vaikka akustoa ei käytettäisikään pitkään aikaan. Latauksen hyötysuhde kennoille on 90 %, joka on ylemmästä päästä litium-ioniakuilla, tyypillisen hyötysuhteen ollessa 80–90% luokkaa. Kennojen suositeltu turvaraja latauksessa on 3,6 V ja purkaessa turvaraja on 2,5 V. Jos kennoja ladataan yli tai puretaan alle näiden rajojen, vaarana on kennojen mahdollinen vaurioituminen. Kennojen elinikä on ajallisesti noin 10 vuotta

ja lataus/purku-sykleinä yli 2000 sykliä, kun kennoja käytetään 25 celcius asteen lämpötilassa. Kaikki kennoja koskevat tekniset tiedot löytyvät liitteestä 1.

3.1.2 Akuston sijoittelu

Akuston 60 kennoa on jaettu kahteen koteloon, jotka sijoitimme auton akseleiden väliin ja kumpaankin koteloon laitoimme 30 kennoa. Päädyimme tähän ratkaisuun, koska näin saimme jaettua akuston painon molemmille akseleille tasaisesti ilman, että autosta olisi tullut etu- tai takapainoinen. Koteloiden päälle rakensimme istuimet piilottaen näin akuston sisustukseen, mutta samalla mahdollistaen pääsyn käsiksi kennoihin istuimet irroittamalla (Kuva 2.). Tämä ratkaisu mahdollistaa helpon huollon, sekä tyylikkään ja viihtyisän sisustuksen. Sekä kotelot, että kennot on kiinnitetty auton runkoon, jotta kolarin sattuessa ne eivät pääse liikkumaan aiheuttaen mahdollisesti vaaratilanteen. Kiinnittäminen vähentää myös tärinää estäen näin kennojen vaurioitumista.



Kuva 2. Takaosan istuimet, joiden alla akusto (Lintula 2014)

Saadessamme akuston, oli kennot on asettettu neljään lohkoon siten, että yksi lohko muodostuu 15 kennosta. Kennot oli lisäksi sidottu toisiinsa viiden kennon paketeiksi. Pyrimme säilyttämään tämän asettelun lähes ennallaan, koska heiltä hankkimamme

akustonhallintajärjestelmän yksiköt olivat määritetty tietyille akuille ja muutokset olisivat voineet aiheuttaa ongelmia.



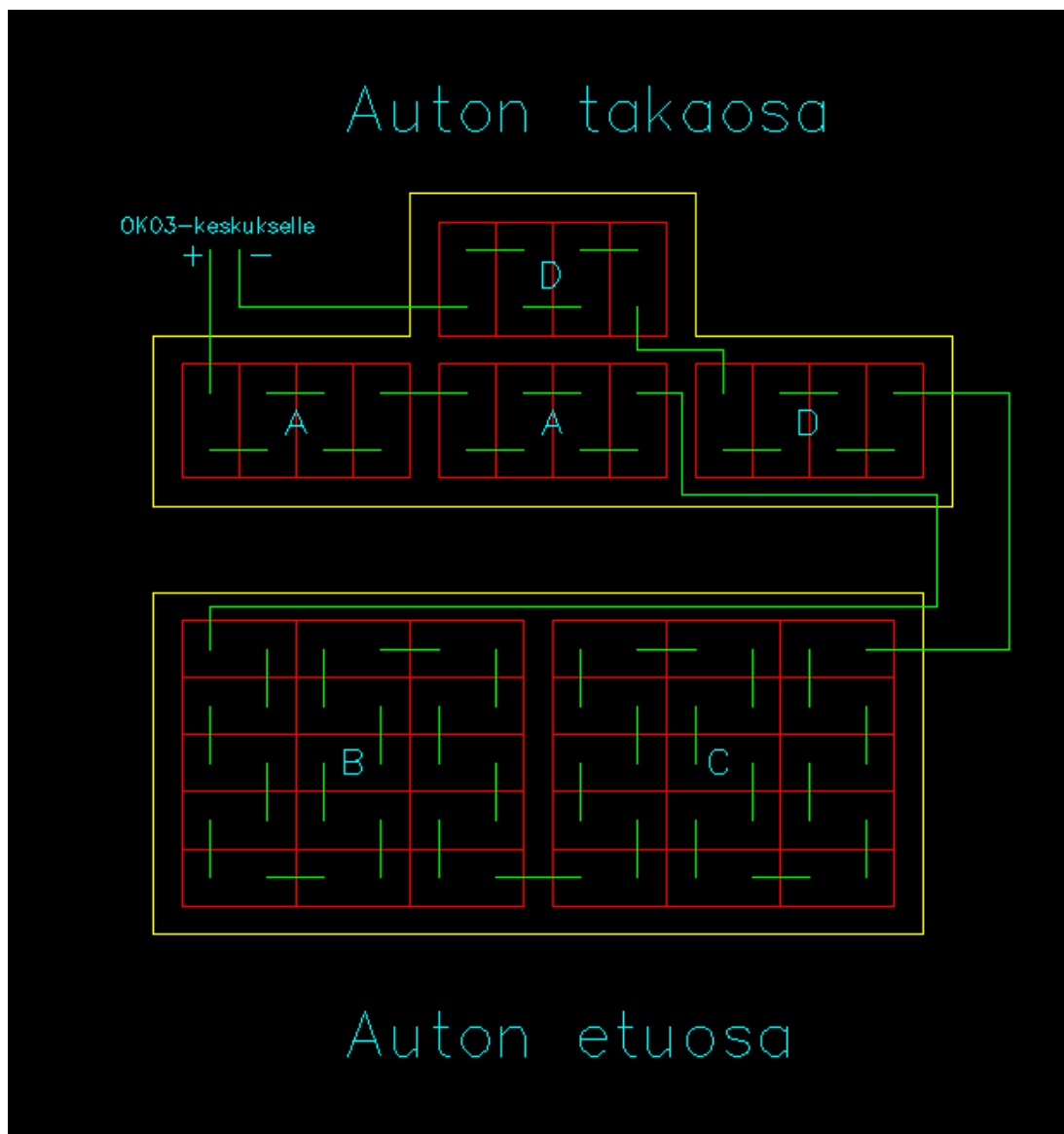
Kuva 3. Etumainen akkukotelo (Lintula 2014)



Kuva 4. Takimmainen akkukotelo (Lintula 2014)

3.1.3 Akuston kytkentä

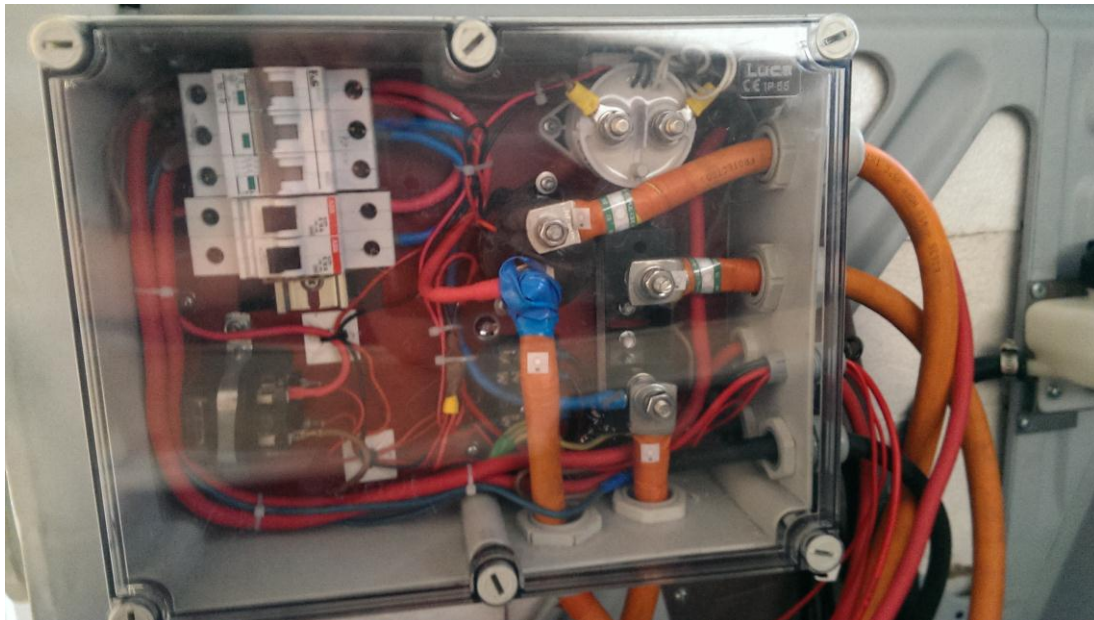
Akusto on jaettu neljään lohkokseen, jotka ovat merkitty kirjaimilla A, B, C ja D, siten että A ja D -lohkot ovat sijoitettu takimmaiseen koteloon, B ja C-lohkot sijoittimme etummaiseen koteloon. Näin saimme säilytettyä kytkennän yksinkertaisena ja kaapeleiden pituudet mahdollisimman lyhyenä. Kuva 5. havainnollistaa lohkojen sijainnin ja kytkennän.



Kuva 5. Akuston kytkentäkaavio, piirretty CADS Planner 16 -ohjelmalla käyttäen opiskelijalisenssiä (Lintula 2014)

Lohkon A ensimmäisestä kennosta lähtee +-johdin ja lohkon D viimeisestä kennosta - - johdin. Johtimet on viety OK03-keskukselle, jossa + - johdin on kytketty pääkon-

taktorille K00 ja – - johdin on kytketty 400 A sulakkeelle F00. OK03-keskukselta johtimet on viety Soliton Jr -moottoriohjaimen + ja – navoille, jolta lähtee kaapelit Kostov K11-tasavirtamoottorille.



Kuva 6. OK03-keskus (Lintula 2014)

Moottoriohjaimen tehtävänä on säädellä moottorille lähtevää jännitettä kaasupolki-
meen kytketyn potentiometrin signaalin mukaisesti. Moottoriohjaimen elektroniikka
tarvitsee lisäksi tasaisen 11–15 V tasavirtasyötön. Tätä tehtävää varten autossa on
200 VDC/13,8 VDC jännitelähde, joka ottaa virtansa pääakustolta. (Myntti 2014)



Kuva 7. 200 VDC/13,8 VDC jännitelähde (Lintula 2014)

Pääkontaktorin K00 ohjaus toimii 12 V jännitteellä ja edellyttää sen, että pääkytkin ja start-kytkin S1 ovat asetettu On-asentoon. Pääkytkin sijaitsee auton keskiosassa ja start-kytkin S1 on sijoitettu kojelautaan. Koska kyseessä on sähköllä liikkuva kulkuväline, on välttämätöntä, että turvallisuuden lisäämiseksi autossa on hätä-seis-piiri. Hätä-seis-piiri aukaisee pääkontaktorin K00, jos hätä-seis-painiketta S0.1 latauksenohjauskeskus OK01 kannessa tai painiketta S0.2 kojelaudassa painetaan (Kuva 8.). Autossa on lisäksi kolaritunnistin S0.3, joka katkaisee hätä-seis-piirin kolarin aiheuttaman pysähdysvoiman takia. Kontaktori K00 aukeaa myös silloin, kun autoa ladataan. Tällä estetään auton liikkeelle lähteminen, jotta inhimillisen erehdyksen sattuessa kiinni jäänyt pistoke ei voi aiheuttaa sähkötapaturman vaaraa. Näiden varotoimien lisäksi 12 V apuakun tyhjentyminen aukaisee pääkontaktorin K00, estäen näin autolla ajamisen ilman valoja ja hallintalaitteita. (Jaakko-Ville Taberman 2014)



Kuva 8. Hätä-seis-painike S0.1 kojelaudassa

Koska auton sähkömoottori ei tuota juurikaan lämpöä, autoon on asennettu erillinen sisäilmanpuhallin, jossa on 1 kW lämmityselementti. Puhallin ottaa tarvitsemansa virran suoraan akustosta. Puhaltimen käyttö vähentää kuitenkin auton ajomatkaa, joten auton talvikäytössä tämä täytyy ottaa huomioon.

3.1.4 Lataus

Akuston latauksen hoitaa Powerfinn Oy:n PAP3200 - laturi, joka on säädetty siten, että laturi lopettaa latauksen kennojen saavuttaessa maksimijännitteensä. Lähtökohdiana oli, että autoa voidaan ladata missä tahansa käyttäen normaalia pistorasiaa tai sitten kolmivaihepistorasiaa. Opinnäytetyön kirjoittamishetkellä tämä ei kuitenkaan toimi täysin, sillä akustonhallintajärjestelmä ei tasaa kennojen jännitettä oikein. Siksi akustoa ladatessa pitää tarkkailla, että mikään kennoista ei ylitä turvarajaa ja mahdollisesti vaurioidu.

Kun kennoja lähdetään lataamaan, jännite nousee aluksi tasaisesti, mutta noin 3,4 V jännitetasoon saavutettuaan lataus hidastuu. Kennojen jännitetaso pysyy pitkään hieman yli 3,4 V:ssa, kunnes se yhtäkkiä nousee lähelle 3,6 V. Tässä vaiheessa akuston latausta täytyy pitää tarkasti silmällä, jotta minkään kennon jännite ei ylitä turvarajaa. Hankkimalla uuden akustonhallintajärjestelmän, joka tasapainottaa yksittäisten kennojen jännitteen muiden kennojen jännitetasoon, tämä vaara voidaan eliminoida täysin ja latauksen aloittaminen sekä lopettaminen tapahtuvat täysin automaattisesti, kun latausjohto on kiinnitetty pistorasiaan.

Laturin kaapelit on tuotu OK03-keskukselle, jossa ne ovat kytketty omien sulakkeiden kautta pääkontakori K00:n ja 400 A sulakkeen F00 akuston puoleisiin liittimiin. Laturin toimintaa ohjataan latauksenohjauskeskus OK01:ssä. Keskuksen kannessa on valintakytkin, jolla voidaan valita ladataanko pääakustoa, apulaiteakkua vai käytetäänkö viihdelaitteverkkoa, kun käytetään auton yksivaihelatausta. Valintakytkimessä on myös automaatti- vaihtoehto, jossa ensin ladataan pääakustoa ja tämän saavuttaessa täyden latauksen, siirrytään lataamaan apulaiteakkua. Kun käytetään kolmivaihelatausta, voidaan ladata samanaikaisesti pääakustoa, apulaiteakkua, sekä käyttää viihdelaitteverkkoa. Hankkimalla kaksi laturia lisää olisi mahdollista ladata pääakustoa kolmivaiheisesti, jolloin saavutettaisiin lyhyet latausajat. (Mikko Myntti 2014)



Kuva 9. Latauksenohjauskeskus OK01 (Lintula 2014)

4 BMS-JÄRJESTELMÄ

Akustonhallintajärjestelmä eli BMS-järjestelmä (Battery Management System) on erittäin tärkeä osa sähköautossa. Nimensä mukaisesti BMS-järjestelmän tehtävänä on hallita akustoa ja estää väärin käyttö, kuten esimerkiksi kennojen liiallisen purkamisen. BMS-järjestelmiä on saatavana monessa eri hintaluokassa ja järjestelmän hinta riippuu pitkälti sen ominaisuuksista ja käyttötarkoituksesta. Yksinkertaiset ja hinnaltaan halvat järjestelmät riittävät usein halvempia akkutyyppejä käytettäessä, sillä nämä eivät välttämättä ole kovin herkkiä väärin käytön suhteen, mutta mitä kalliimpi akusto, sitä monimutkaisempi BMS-järjestelmä yleensä vaaditaan. BMS-järjestelmien virrankulutukseen on syytä kiinnittää huomiota, sillä pienemmällä akustolla monimutkainen ja paljon virtaa kuluttava järjestelmä saattaa lyhentää ajo-matkaa huomattavasti.

Tässä luvussa kerron yleisellä tasolla BMS-järjestelmien toimintaperiaatteesta.

4.1 BMS-järjestelmät

BMS-järjestelmiä on saatavana eri toimintarakenteilla. Kaikkien yksinkertaisin toimintarakenne on keskitetty, jossa on ainoastaan keskusyksikkö, joka valvoo akuston toimintaa. Keskitetty järjestelmä riittää halpoihin akustoihin, jotka eivät vaadi kovin tarkkaa valvontaa. Toinen rakennevaihtoehto on keskusyksikön lisäksi, muutamista kennoista muodostuvat moduulit, joiden avulla valvonta on tarkempaa, eikä järjestelmästä tule vielä kovin monimutkaista. Kolmas vaihtoehto on hajautettu järjestelmä, jossa jokaiselle kennolle on oma BMS-moduuli. Tällä rakenteella voidaan valvoa yksittäisten kennojen toimintaa ja ohjata akuston toimintaa erittäin tarkasti. Hajautettu järjestelmä on monimutkaisin ja kallein vaihtoehto kolmesta. Hajautetussa järjestelmässä moduulit on kytketty toisiinsa väylätekniikalla, joka mahdollistaa moduulien välisen kommunikoinnin. Usein väyläksi valitaan CAN-väylä, joka on hyvin vikasietoinen, eikä myöskään ole kovin häiriöherkkä. (Sähköautot - Nyt! www-sivut 2014)

Perustehtävänä BMS-järjestelmällä on kennojen jännitteen seuraaminen. Tämä hoidetaan joko akuston kokonaisjännitteen mittaamisella tai sitten laadukkaammissa järjestelmissä jokaisen yksittäisen kennon jännitteen mittaamisella. Tämä hajautettu järjestelmä on yleensä välttämätöntä kalliimmilla akkutyypeillä, kuten litiumioniakuilla, sillä nämä akkutyypit ovat erittäin herkkiä väärin käytön suhteen. Usein myös akuston lämpötilaa seurataan BMS-järjestelmän avulla ja lämpötilan ylittäessä asetetut turvarajat, akkujen käyttö estetään esimerkiksi kontaktorihjauksella. Järjestelmän luotettavuus onkin erittäin tärkeä ominaisuus kalliimmissa akustoissa. Vikatilanteissa BMS-järjestelmän täytyy kyetä katkaisemaan syöttöjännite moottorille, eivätkä akuston viat saa rikkoa BMS-järjestelmää. Myöskään BMS-järjestelmän mahdolliset viat eivät saa rikkoa akustoa. (Sähköautot - Nyt! www-sivut 2014; Electro-paedia www-sivut n.d.)

Latauksen ohjaus suoritetaan usein BMS-järjestelmällä, jolloin itse laturin ei tarvitse olla kovin älykäs. Laadukkaat järjestelmät alkavat automaattisesti lataamaan akustoa, kun latauspistoke kytketään pistorasiaan ja osaavat lopettaa latauksen, tai siirtyä yläpitotilaan, akuston saavuttaessa täyden kapasiteetin. Latauksen ohjauksella voidaan myös mahdollistaa regeneroiva jarrutus eli jarruttamisesta syntyvän hukkaenergian talteenotto. Tämä vaatii kuitenkin sen, että BMS-järjestelmä osaa varata tarpeeksi tilaa akuston kapasiteetista talteenotettavalle energialle eikä päästä akuston varausta yli turvarajojen. (Sähköautot - Nyt! www-sivut 2014; Electropaedia www-sivut n.d.)

4.2 Balanssointi

BMS-järjestelmän tehtävänä on usein akuston jännitteen balanssointi, tasaamalla yksittäisten kennojen jännitteen muiden kennojen tasolle. Tällä saavutetaan se, että yksittäiset kennot eivät ylitä turvarajoja ja koko akuston kapasiteetti saadaan käytettyä. Akuston balanssointi vaatii yleensä hajautetun järjestelmän, jossa jokaista kennoa seurataan ja ohjataan erikseen. Balanssointimenetelmää valittaessa kannattaa kiinnittää hinnan lisäksi myös sen hyötysuhteeseen. Balanssointi voidaan suorittaa ladatessa tai purkaessa, ja kalliimmissa järjestelmissä tämä suoritetaan molemmissa vaiheissa. Akuston balanssointi tehdään joko passiivisella tai aktiivisella menetelmällä. Passiivisessa menetelmässä ylimääräinen varaus puretaan erilliseen vastukseen ja sitä kautta lämmöksi. Tässä menetelmässä latauksen hyötysuhde on usein heikko, eikä siten kovin ekologista. Ekologisempi menetelmä on aktiivinen balanssointi, jossa kennojen ylimääräinen varaus puretaan joko viereisiin kennoihin, tai sitten takaisin latausjännitteeseen. Vaihtoehtoisesti voidaan myös tehostaa yksittäisten kennojen latausta suuremmalla virralla, kun ne jäävät jälkeen muiden kennojen varauksesta. Aktiivisella balanssoinnilla varustetut järjestelmät ovat monimutkaisempia ja siksi myös usein hinnaltaan kalliimpia. (Sähköautot - Nyt! www-sivut 2014; Electropaedia www-sivut n.d.)

4.3 Valvonta

BMS-järjestelmän yhteydessä on usein jokin valvontatyökalu, jolla voidaan seurata kennojännitteitä ja lämpötiloja. Tämä voi olla tavallinen näyttö, josta voidaan lukea

tietoa, tai sitten BMS-järjestelmä voi olla kytkettynä tietokoneeseen, jolla sen toimintaa voi ohjata esimerkiksi kosketusnäytöllä. Useimmissa BMS-järjestelmissä, joita voidaan ohjata, on selainpohjainen käyttöjärjestelmä, jolloin sen käyttäminen on yksinkertaista eikä vaadi juurikaan ohjelmointitaitoja. Myös mobiililaitteilla BMS-järjestelmän ohjaaminen, esimerkiksi Bluetooth-yhteydellä, on yleistymässä ja nykyisin on mahdollista esimerkiksi auton sisätilan lämmittimen käynnistäminen puhelimesta, jos tämä toimii ajoakuston avulla. Valvontatyökalulla voidaan suorittaa akuston tilastointia. Tilastoinnilla voidaan määrittää kennojen varaus eli SOC (State of Charge), joko kokonaisenergian mittauksella tai laadukkaammissa järjestelmissä yksittäisten kennojen energian mittaamisella. Myös akuston kunto eli SOH (State of Health) voidaan määrittää, esimerkiksi akuston sisäistä resistanssia tai kapasiteettia seuraamalla. Tällä pystytään selvittämään kennojen elinikä ja toimintavarmuus eri olosuhteissa. Hyödyllistä on myös akuston väärin käyttöjen tilastoiminen, jotta vastaavat tilanteet voidaan eliminoida ja kennojen elinikää pidentää. (Sähköautot - Nyt! www-sivut 2014; Electropaedia www-sivut n.d.)

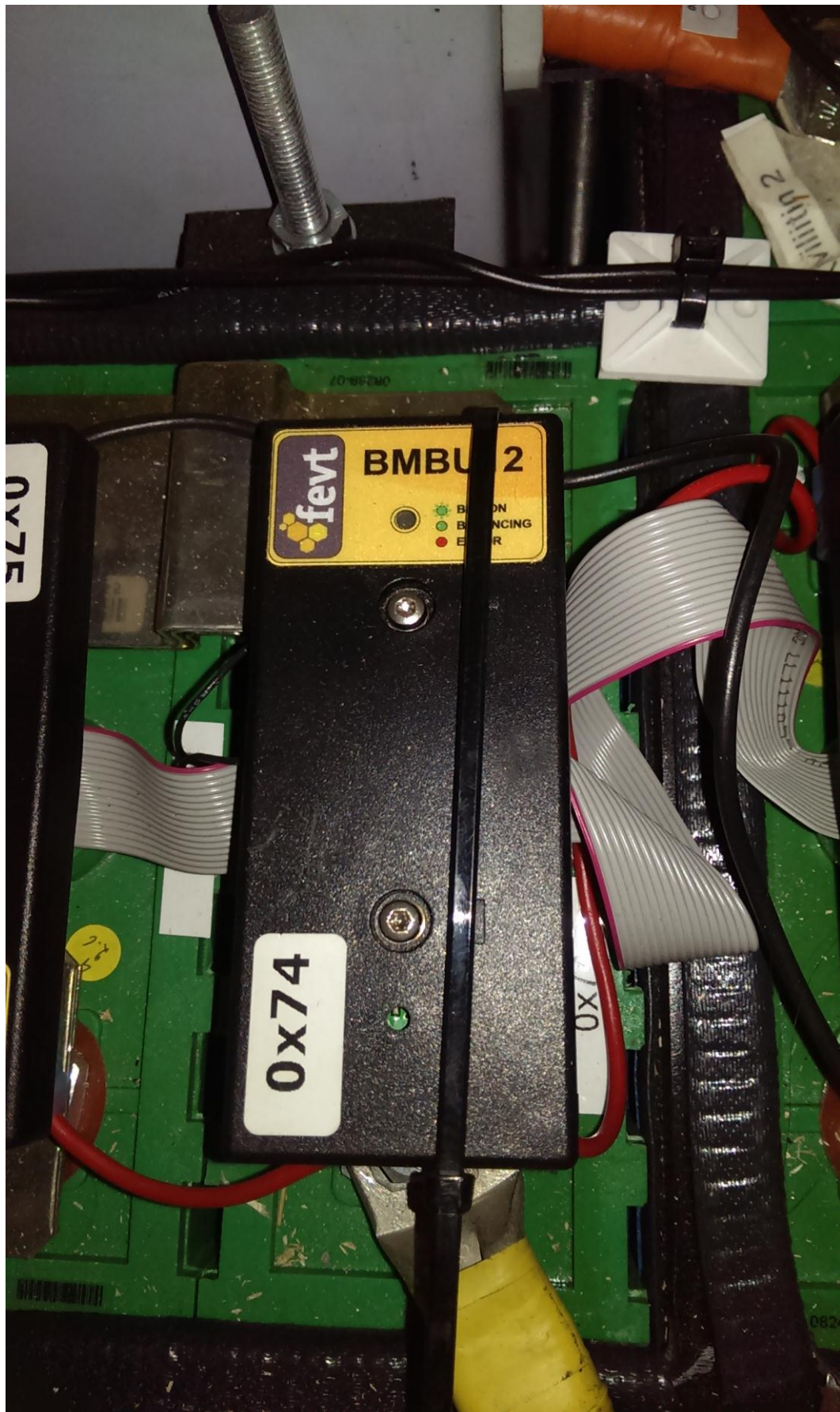
5 SAMK SÄHKÖAUTON BMS-JÄRJESTELMÄ

Kun hankimme akuston kaivoslaitteiden prototyyppijä valmistavalta yritykseltä, saimme mukana myös heillä käytössä olleen BMS-järjestelmän. Järjestelmän on valmistanut Oy Finnish Electric Vehicle Technologies, Ltd, joka on European Batteries Oy:n tytäryhtiö. European Batteries Oy on kuitenkin ollut konkurssissa 8. heinäkuuta 2013 lähtien. Kuten akuston kanssa, en voi kertoa heidän toimistaan BMS-järjestelmän kanssa salassapitosopimuksen johdosta, enkä myöskään voi käyttää heidän piirikaavioitaan opinnäytetyössä. Kerron tässä luvussa BMS-järjestelmän toiminnasta SAMK sähköautossa.

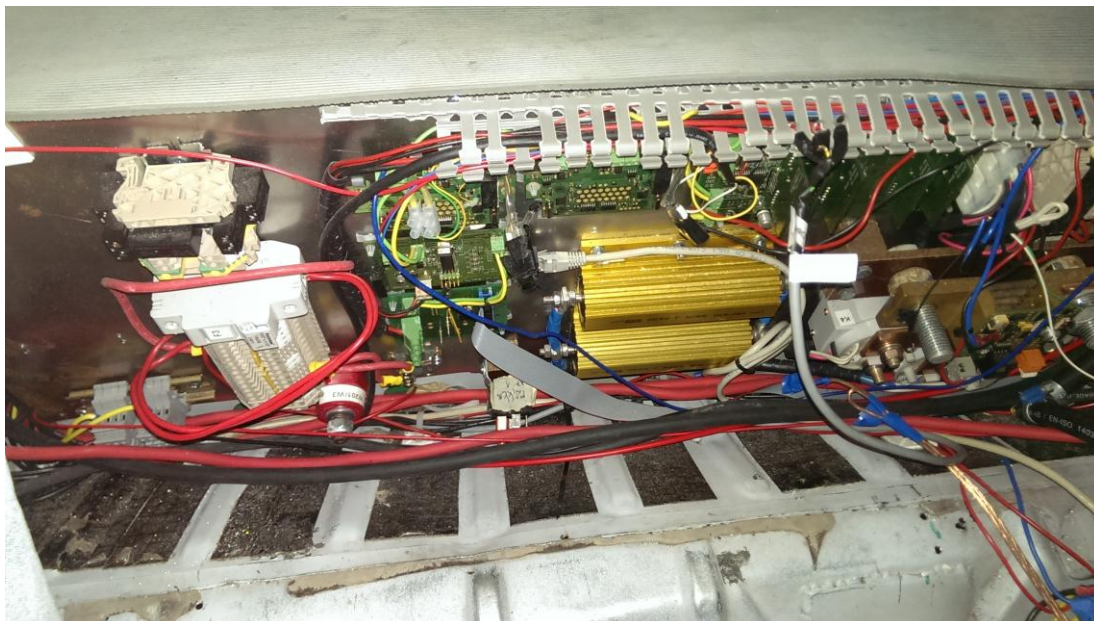
5.1 Järjestelmän käyttöönotto

FEVT Oy:n rakentama BMS-järjestelmä on luotu varta vasten kaivoslaitteiden prototyyppijä valmistavan yrityksen tarpeisiin, joten sen toiminta sähköautossa ei ole ai-

van optimaalinen. Alun perin järjestelmään kuului kaksi 60 kennon akustoa, joissa jokaisella kennolla oli oma BMS-moduuli (Kuva 10.). Koska hankimme vain toisen 60 kennon akustoista ja moduuleista, ei BMS-järjestelmän käyttöönotto ollut mutkaton, eikä kaikki järjestelmän ominaisuudet toimi täysin kuten esimerkiksi kennojen balansointi. Koska järjestelmä on rakennettu vanhan omistajan tarpeisiin sopivaksi, sen muokkaaminen on lähes mahdotonta siten, että järjestelmä toimisi oikein. Jouduimme jättämään lähes kaikki järjestelmässä olleet komponentit käyttöön, jolloin järjestelmästä tuli turhan monimutkainen sähköautokäyttöön. Alun perin komponentit olivat kahdella asennuslevyllä, mutta tilan säästämiseksi sijoitimme ne uudelleen yhdelle asennuslevylle, joka on sijoitettuna takimmaisena akkukotelon taakse (Kuva 11.).



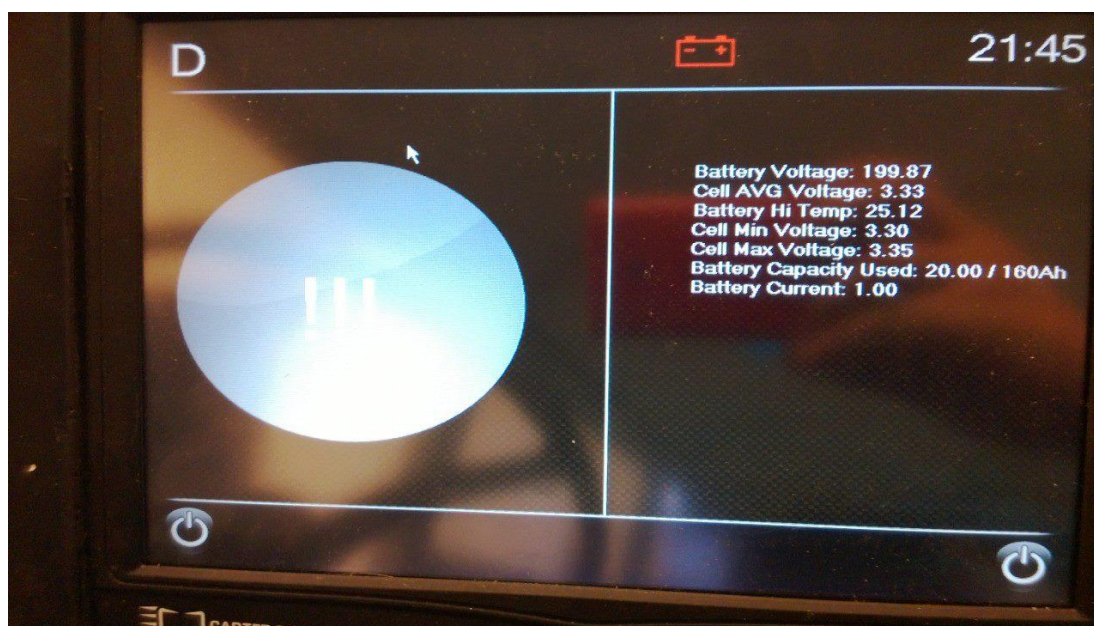
Kuva 10. BMS-järjestelmän yksittäinen BMS-moduuli (Lintula 2014)



Kuva 11. BMS-järjestelmän komponentit asennuslevyllä (Lintula 2014)

5.2 Järjestelmän ominaisuudet

BMS-järjestelmästä saatiin käyttöön sen perusominaisuudet eli kennojen jännitteen ja lämpötilan mittauksen, joiden avulla voitiin seurata akuston käyttöä sekä purkaessa, että ladatessa. Järjestelmä on kokoonpanoltaan hajautettu järjestelmä, jossa jokaisen yksittäisen kennon napoihin on kytketty oma BMS-moduuli. Moduulit ovat kytketty toisiinsa CAN-väylällä, jolla kuljetetaan tieto itse keskusyksikölle. Keskusyksiköltä voidaan lukea moduulien antama tieto ja tähän tehtävään hankittiin Beckhoffin logiikan. Automaatio-opiskelijat ohjelmoivat oman ohjelman BMS-järjestelmältä saatavien tietojen lukemiseksi ja esittämiseksi kosketusnäytöllä. Kosketusnäytöltä voidaan lukea akuston kokonaisjännite, kennojännitteiden keskiarvo, akuston suurin lämpötila, kennojen pienin ja suurin jännite, akuston käytetty kapasiteetti, sekä akuston virta (Kuva 12.). Tärkein järjestelmältä saatava tieto on kennojen pienin ja suurin jännite, jotta kennojen turvarajoja ei ylitetä purkamalla tai lataamalla akustoa liikaa. Koska järjestelmän balanssointi toiminto ei ole toiminnassa opinnäytetyön kirjoittamishetkelle erityisesti ladatessa täytyy kennojen suurinta jännitettä pitää silmällä.



Kuva 12. BMS-järjestelmän tiedot kosketusnäytöllä. (Lintula 2014)

Yksi FEVT:n BMS-järjestelmän huonoista puolista on sen käyttöjännite. Koska järjestelmä on rakennettu vanhan omistajan tarpeisiin, on käyttöjännitteenä 24 VDC. Tämä ei kuitenkaan palvele täysin autokäyttöä, sillä päätimme jättää auton sähköjärjestelmien käyttöjännitteeksi 12VDC. Tästä johtuen asensimme autoon 12 VDC/ 24 VDC - konvertterin, jolla myös syötetään logiikkaa. Jännitteen muuntamisessa hyötysuhde kuitenkin pienenee huomattavasti, jolloin olisi järkevämpi vaihtoehto käyttää BMS-järjestelmää, joka toimii 12 VDC käyttöjännitteellä.

6 LOPPUSANAT

Satakunnan ammattikorkeakoulun sähköautoprojekti on ollut erittäin mielenkiintoinen ja opettava kokemus kaikille osallistujille. Projektissa pääsi soveltamaan koulussa jo opittuja taitoja, mutta myös opettelemaan paljon uutta käytännön ja ennen kaikkea, virheiden kautta. Kesällä 2013 auto oli esillä muun muassa SuomiAreenassa ja Pori Jazzeilla, sekä Volkswagen West Fest- tapahtumassa Reposaaressa.

Projektilla oli tiukka aikataulu, eikä kaikkia ongelmakohtia ei ehditty korjaamaan ennen syksyä. Vasta kesällä 2013 käytön aikana huomasimme useita puutteita ja parannustarpeita autosta, joita on myöhemmin korjattu. Tulevaisuudessa autoon on tarkoitus hankkia uusi BMS-järjestelmä, jolla saadaan ratkaistua nykyisen järjestelmän ongelmakohdat, kuten balanssoinnin puuttuminen. Tällä mahdollistetaan auton jättäminen lataukseen turvallisesti.

Koko projektin ajan opiskelijat joutuivat ratkomaan ongelmia ja suunnittelemaan auto yhä uudestaan, jolloin oppimisprosessi oli jatkuva.

LÄHTEET

Battery Stuff www-sivut 2012. Viitattu 11.2.2014 ja 14.2.2014
<http://www.batterystuff.com/kb/articles/>

Battery University www-sivut 2010. Viitattu 11.2.2014, 14.2.2014 ja 20.2.2014.
<http://batteryuniversity.com/learn/article/>

Elcat www-sivut 2014. Viitattu 11.2.2014. <http://www.elcat.fi/>

Electropaedia www-sivut n.d. Viitattu 14.2.2014 ja 3.3.2014
<http://www.mpoweruk.com/>

Mary Bellis n.d. *History of Electric Vehicles*. Viitattu 11.2.2014.
<http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>

Mary Bellis n.d. *How a Battery Works*. Viitattu 14.2.2014.
http://inventors.about.com/od/bstartinventions/ss/How-A-Battery-Works_2.htm

Physics Central www-sivut n.d. Viitattu 20.2.2014
<http://physicscentral.com/explore/action/lithium.cfm>
<http://physicscentral.com/explore/action/lithium.cfm>

Progressive Dynamics www-sivut 2014. Viitattu 11.2.2014
http://www.progressivedyn.com/battery_basics.html

Soili Semkina 2011 *Simppele keksintö paransi litiumakun...* Viitattu 21.2.2014
http://www.mpc.fi/kaikki_uutiset/simppele+keksinto+paransi+litiumakun+kapasiteettia+30+prosenttia/a697087?s=r&wtm=mikropc/-06102011&

Sähköautot - Nyt! www-sivut 2014. Viitattu 3.3.2014
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautomuunnoksen-akuston-valvonnan-vaatimukset>

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus www-sivut n.d. Viitattu 11.2.2014
http://www.stek.fi/energia_ja_ymparisto/sahkokulkuneuvot/sahkoauto/fi_FI/akku_sahkoauton_ongelmakohta/

Haastattelu Jaakko-Ville Taberman 1.4.2014 *Satakunnan ammattikorkeakoulun sähköautoprojektin 12 voltin järjestelmä*

Haastattelu Mikko Myntti 1.4.2014 *Satakunnan ammattikorkeakoulun sähköautoprojektin moottori, moottorinohjain ja latauksenohjaus*

International Battery LiFePO4 spec sheet



**international
battery**

World Class. American Made.

High Energy Large Prismatic Rechargeable Cell

Lithium-Iron Phosphate Cells (LiFePO4)

International Battery, Inc.'s Iron Phosphate rechargeable cells are available in a rugged prismatic format in capacities ranging from 40 - 160Ah. LiFePO4 is an intrinsically safe cathode material. LiFePO4 cells do not incinerate or explode under extreme conditions. LiFePO4 cells have a high discharge current, are not toxic and have a high cycle life. The specific geometries of these cells allow for even electrode utilization, good heat dissipation and efficient packaging. IB's cells offer a low self-discharge rate and have excellent operating temperature characteristics. The excellent thermal stability and safety performance of the Lithium Iron Phosphate electrochemical system is well suited for variety of commercial, military and industrial applications.



Features: Very High Specific Energy, Long Cycle Life

Applications: Electric vehicles, electric buses, electric scooters, military applications, communications, backup power, energy storage (wind, solar, tidal).

LiFePO4 Packaged Cells				
Specification	Condition	IB-B-FHE-40	IB-B-FHE-60	IB-B-FHE-160
Nominal Voltage	(C/3)	3.2 Volts	3.2 Volts	3.2 Volts
Nominal Capacity	(C/3)	40 Ah	60 Ah	160 Ah
Nominal Energy	(C/3)	128 Wh	192 Wh	512 Wh
Specific Energy	(C/3)	88 Wh/Kg	87 Wh/Kg	94 Wh/Kg
Peak Power (60% DOD)	30 sec, 2/3 OCV, 60%	750 W (517 W/Kg)	1300 W (517 W/Kg)	3000 W (555 W/Kg)
Peak Power (60% DOD)	30 sec, 2/3 OCV, 60%, Active Cooling	1050 W (724 W/Kg)	1800 W (818 W/Kg)	4200 W (778 W/Kg)
DC Pulse Resistance	10 sec, 5C, 60% DOD	3.0 mΩ	2.0 mΩ	.75 mΩ
Self-Discharge Rate	Monthly, RT	<3%	<3%	<3%
Cycle Life @ 25 °C	100% DOD	>2000 Cycles	>2000 Cycles	>2000 Cycles
Cycle Life @ 55 °C	100% DOD, 1C, Active Cooling	>1000 Cycles	>1000 Cycles	>1000 Cycles
Cell Weight	Integrated Cell	1.45 Kg	2.2 Kg	5.4 Kg
Recommended Cutoff Voltages	Charge	3.6 Volts	3.6 Volts	3.6 Volts
	Discharge	2.5 Volts	2.5 Volts	2.5 Volts
Safe Operating Ranges	Max	3.6 Volts	3.6 Volts	3.6 Volts
	Min	2.5 Volts	2.5 Volts	2.5 Volts
Max Pulse Current (<30 sec)	>2.5 Volts	200 A (5C)	300 A (5C)	800 A (5C)
Max Pulse Current (<30 sec)	>2.5 Volts, Active Cooling	280 A (7C)	420 A (7C)	1120 A (7C)
Max Continuous Charge Current	100% DOD	20 A (C/2)	30 A (C/2)	80 A (C/2)
Max Continuous Charge Current	100% DOD, Active Cooling	40 A (C)	60 A (C)	160 A (C)
Max Continuous Discharge Current	10% to 90% DOD	40 A (C)	60 A (C)	160 A (C)
Max Continuous Discharge Current	10% to 90% DOD, Active Cooling	120 A (3C)	180 A (3C)	480 A (3C)
Charging Efficiency (Ratio of charge/discharge time)	100% DOD @ C/3	96%	94%	90%
	10% to 90% DOD @ C/3	99%	98%	98%
Operating Temperature	Charge	0°C to 50°C	0°C to 50°C	0°C to 50°C
	Discharge	-20°C to 55°C	-20°C to 55°C	-20°C to 55°C
Storage Temperature		-30°C to 60°C	-30°C to 60°C	-30°C to 60°C
Calendar Life		10 years	10 years	10 years

Copyright 2009 International Battery, Inc. All rights reserved. All trademarks and registered trademarks are properties of their respective owners.