

Matias Juopperi

# Sähkömikroauto

## Akku, logiikka & muut säädöt

Opinnäytetyö  
Sähkövoimatekniikka


Toukokuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 04.05.2015
<b>Tekijä(t)</b> Matias Juopperi	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkövoimatekniikka
<b>Nimeke</b> Sähkömikroauto – Akku, logiikka & muut säädöt	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Sähköautotekniikan kehittyessä eteenpäin myös harraste- ja kilpa-ajoihin käytettäviä sähköajoneuvoja on alkanut ilmestymään markkinoille. Opinnäytetyöksi muunnettiin polttomoottorikäyttöisen karting-auton sähkömoottorilla toimivaksi.</p> <p>Opinnäytetyö jaettiin kahteen osaan: moottori ja runko, jotka löytyvät toisesta opinnäytetyöstä ja akku, logiikka &amp; muut säädöt, jotka ovat tässä työssä. Työssäni kerrotaan akun valinnasta, sen tarvitsemasta akunvalvontajärjestelmästä, autoon kohdistuvista muista säädöistä sekä autossa olevista logiikoista. Opinnäytetyössä käsitellään myös auton turvallisuuteen sekä ajoturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä.</p> <p>Auton rungoksi valittiin CRG:n Road Rebel, moottoriksi HPEVS AC-20-03.27 oikosulkumoottori, moottorinohjaimeksi Curtisin 1238-5601 sekä akunvalvontajärjestelmäksi Orion Juoniorin BMS.</p> <p>Rakenteellisesti auto on valmis, mutta osien puutteen takia autoa ei saatu ajokuntoiseksi tarpeeksi ajoissa. Auto viimeistellään opinnäytetyön jälkeen ja sitä tullaan käyttämään harrasteajossa.</p> <p>Lopuksi käydään läpi myös mahdollisia jatkomahdollisuuksia sekä kehittämismahdollisuuksia.</p>	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Karting, BMS, moottorinohjain, logiikka	
<b>Sivumäärä</b> 20+3	<b>Kieli</b> Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Jyrki Liikanen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  04.05.2015
<b>Author(s)</b>  Matias Juopperi	<b>Degree programme and option</b>  Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Electric Go-kart: Battery, logic & other adjustments		
<b>Abstract</b>  As the electric car industry develops more hobbyist racing cars with electric motors have become more available. This thesis elaborates on a kart car which will be transformed from combustion engine to use electric engines as its power.  The project is split into two parts: engine and the bodywork, which will be covered by another thesis and battery, logic and other adjustments, which will be my part of the thesis. This thesis discusses picking the right battery and battery management system, other adjustments that affect the car and logic of the car. This thesis is also about safety system and driving safety.  CRG's Road Rebel -chassis was chosen for the body, as an engine HPEVS AC-20-03.27 induction motor, as a motor controller Curtis's 1238-5601 and as a battery management system Orion Junior BMS.  The car is structurally finished, but due to missing parts the car isn't ready for driving. The car will be finished after this thesis and will be used for hobby driving.  This thesis also covers follow-up opportunities and development opportunities.		
<b>Subject headings, (keywords)</b> Karting, BMS, motor controller, logic		
<b>Pages</b> 20+3	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Jyrki Liikanen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	AKKU .....	2
2.1	Kennot.....	3
2.2	BMS .....	5
2.3	Lataus.....	6
3	LOGIIKKA .....	6
3.1	Moottorinohjaus.....	7
3.2	Muu logiikka.....	9
3.2.1	Nopeusnäyttö .....	10
4	MITTARISTO.....	10
5	KORIN SÄÄDÖT .....	10
5.1	Ohjaus .....	10
5.1.1	Camper.....	11
5.1.2	Caster .....	12
5.1.3	Rengaspaineet .....	12
5.2	Jarrut .....	12
5.3	Kaasupoljin .....	13
6	VAROTOIMENPITEET.....	14
6.1	Suojavälineet ajaessa .....	14
6.2	Lisäsuojavarusteet.....	15
7	JATKOMAHDOLLISUUDET .....	15
8	KEHITYSMAHDOLLISUUDET.....	15
9	POHDINTA .....	18
	LIITTEET	
	1 Curtisin johdotuskaavio	
	2 Curtisin mitoitus	
	3 Akkujen testaus/lataus	

## **KÄSITTEET**

BMS	Akunvalvontajärjestelmä (Battery Management System)
Regenerointi	Moottorijarrutuksessa tapahtuva energiantalteenotto
Shuntti	Ylimenovastus (Shunt resistor)
Camper	Auton renkasiin vaikuttava säätö
Caster	Auton renkasiin vaikuttava säätö

## 1 JOHDANTO

Sähköautotekniikka on koko ajan kehittyvää tekniikkaa. Viime vuosina sähköautojen suosio on noussut ja sähkömoottorilla toimivat ajoneuvot ovat koko ajan yleistymässä. Tästä kertoo myös monet sähköautomuunnokset, kuten Mikkelin ammattikorkeakoulussa tehty eCelica-muutos vuodelta 2014.

Sähköautojen yleistymisen myötä myös kilparadoilla on alettu nähdä erilaisia sähkömoottorilla toimivia ajoneuvoja. Näistä johtavana sarjana voi mainita E-Formulat, sarja joka alkoi 2014 syksyllä. Vaikka autot onkin täysin kilpa-ajoneuvoiksi tarkoitettuja, niiden peruseräite on sama: energiavarastona toimii akku tai akusto, jonka energian liikevoimaksi muuttaa jonkinlainen sähkömoottori.

Ajatus muuttaa karting-auto sähkövoimalla toimivaksi ei ole täysin uusi ajatusmalli. Sähkömoottorilla toimivia karting-autoja on useita ja yleensä ne on tehty muutosautoina normaaleista polttomoottorikäyttöisistä autoista. Meille idea lähti aluksi kavereiden välisenä vitsailuna, mutta ajan kuluessa tavoitteeksi tuli saada sähkömoottorilla toimiva karting-auto harraste- ja esittelykäyttöön.

Kuten suurin osa muista karting-autoista, myös meidän automme on muunnosauto. Vaikkemme koskaan autoa ole nähneet polttomoottoritoimisena, on se suunniteltu toimimaan polttomoottorilla. Kuvassa 1 näkyy auton runko ja sen kunto aloitushetkellä. Myös tehollisesti auto on suunniteltu pienemmille tehoille, siksi auton runkoa vahvistettiin useasta eri kohdasta, jotta se kestäisi sähkömoottorimme aiheuttamat rasitteet.

Ensimmäistä kertaa opinnäytetyötasolla puhetta autosta oli vuoden 2014 keväällä. Opinnäytetyöstä kirjoitettiin alustava suunnitelma ja se esitettiin opettajille jotka hyväksyivät työn riittävyyden opinnäytetyöksi.

Opinnäytetyön pohjaksi valittiin kisakäyttöön tarkoitettu CRG:n Road Rebel –mallinen karting-auton runko. Moottoriksi valittiin HPEVS AC-20-03.27 -kolmivaihemoottori, johon kaveriksi Curtisin 1238-5601 –mallinen moottorinohjain.

Aikataulullisista syistä opinnäytetyön kirjoittaminen oli pakko aloittaa 2015 kevään alkupuolella, vaikkei auto vielä ollutkaan ajokunnossa. Nyt myöhemmin huhtikuussa kirjoittaessani työtä autosta puuttuu yhä laturi ja kaasupoljin, mutta näiden osien tultua auto on ajokunnossa, ja työ tullaan tekemään valmiiksi.

Opinnäytetyö päätettiin jakaa kahteen osaan kirjoituksen osalta. Minä kirjoitan auton akusta, logiikasta, turvallisuustekijöistä sekä autoon kohdistuvista muista säädöistä. Opinnäytetyöparini Risto Ihalainen kirjoittaa auton korista sekä moottorista. Hän myös kustantaa auton, joten opinnäytetyön tekemisen jälkeen auto jää hänelle.

Työ toteutettiin Mikkelin ammattikoulun autolaboratorion tiloissa Raviradalla.



**KUVA 1. Auton runko aloitushetkellä**

## **2 AKKU**

Akku on energiavarasto, joka koostuu sähköparista jonka muodostaa anodi ja katodi. Välissä oleva elektrolyytti on nestemäisessä tai geelimäisessä muodossa olevaa ainetta, meidän kennoissamme kyseinen elektrolyytti on geelimäinen. /1./

Akkujen mitoitus tehtiin Imatralla sijaitsevan radan mukaan. Arvioimme kaasun asennon prosentteina, jonka avulla laskettiin arvioitu tehon tarve per kierros. Tämän jälkeen mitoitimme tehon tarpeen n. 15 minuutin ajojaksolle kyseisellä radalla. Työn

rahoituksen takia tyydyimme kuitenkin moottorintoimittajan tarjoamiin, 40Ah kennoihin. Piikkivirtana kyseisistä kennoista saadaan reilut 600A moottorintoimittajan mukaan, mutta meillä ei ole välineitä joilla kyseinen piikkivirta pystyttäisiin mittaamaan. Sarjaan näitä kennoja tulee 15, jolloin maksimijännitteeksi tulee n. 63Vdc.

## 2.1 Kennot

Akussamme käyttämämme kennot ovat Kokamin NMC-kennoja. Näiden suurin ero verrattuna LiFePo-kennoihin on suurempi lepojännite. Muina eroina on suurempi lämmöntuotto ja mahdollisesti lyhyempi käyttöikä. /7./ Kennot ovat käytettyjä ja osa kennoista oli hajalla. Tästä johtuen mittasimme kennoista jännitteen, jonka perusteella erittelimme kennot jotka luultavimmin toimivat ja muut toimitettiin akkuliikkeeseen tuhottavaksi. Kunnossa olevia kennoja oli yhteensä 21, jotka riittävät meidän tarkoitukseemme hyvin.

Kennojen malli on SLPB100216216H, ja kapasiteetti täytenä on 40Ah. Jatkuvana virtana kennoista voidaan purkaa 8C:n verran virtaa /6/. C-arvo kerrotaan akun kapasiteetilla ja näin saadaan kyseinen arvo ampeereina. 8C tarkoittaa siis tapauksessamme 320A. Piikkinä kennoista saadaan 15C, joka tarkoittaa 600 ampeerin piikkivirtaa. Kooltaan kennot ovat suhteellisen isoja, kuten kuvassa 2 näkyy.



**KUVA 2.** Työssämme käytettävä kennosto



Varmistaaksemme kennojen toiminta latusimme kennot yksi kerrallaan laturilla, jolla pystyttiin lataamaan yhtä kennoa kerrallaan. Laturiin itseensä on ohjelmoitu logiikka joka estää kennon tuhoutumisen liiallisen jännitteen tai virran takia. Kennojemme latauksen jälkeen purimme ne kahteen n.  $15\Omega$  vastukseen ja seurasimme jännitteen tippumista yleismittarilla, nähtävillä kuvassa 3. Liian pienelle jännitteelle joutuessaan kenno tuhoaa itsensä, joten jännitteen tippumisen seuraaminen on tärkeää. Emme päästäneet kennojen jännitettä tippumaan alle 3,5V jotta kennot eivät varmasti pääse syväpurkautumaan. Akun purku onnistui hyvin ja kennot purkautuivat tasaisesti. Tämän jälkeen latusimme kennot uudelleen yksi kerrallaan ja näimme kuinka paljon varausta kennot ottavat ja kuinka hyvin ne oikeasti toimivat. Täytenä kennon jännite on 4,2V, joka tekee akun pääjännitteeksi 63Vdc. Kennoja ei saa päästää tippumaan alle 3,2V, jolloin alin pääjännite on 48V.

Kennon toimivuutta yhdellä tapaa kuvastaa sen kyky ottaa vastaan virtaa. Jokainen kenno otti virtaa vastaan, mutta kennoissa oli hieman eroja Mitatut tulokset liitteessä 3'. Keskimäärin kennoihin meni noin 31Ah per kenno, josta pystymme päättelemään kennojen olevan kuitenkin kohtalaisessa kunnossa. Piikkivirtaa emme pysty mittaamaan, mutta autoon asennettuna näemme alkaako akku rajoittamaan tehonantoa moottorille.



**KUVA 3. Akun purkaminen**

## 2.2 BMS

BMS eli battery management system on järjestelmä, jolla valvotaan kennojen jännitettä sekä lämpötilaa. Mikäli jompikumpi näistä arvoista nousee liian korkeaksi, syttyy BMS:n näyttöön sekä itse BMS:n laatikkoon varoitusvalo. BMS:ssä on itsessään tehonrajoitus, joka laitetaan kaasun potentiometrin kanssa sarjaan. Tällöin akkujen ylikuumentessa tai jännitteen tippuessa liian alhaiseksi BMS alkaa rajoittamaan tehoa, jonka moottori voi ottaa. /2/

Työhömmme valitsimme Orionin Junior BMS – akunvalvontajärjestelmän. Vaikka järjestelmän maksimijännitteeksi on ilmoitettu 60V dc, uskomme että se kestää meidän järjestelmässämme, vaikkakin siihen viedään hieman ylijännitettä. Järjestelmällä pystytään myös tarkkailemaan kennojen tilaa sekä latausta pystytään seuraamaan. Järjestelmään on myös saatavilla ylimääräisiä toimintoja, joiden avulla pystytään esimerkiksi tallentamaan järjestelmän tietoja. /3./ Meidän työhömmme ei kuitenkaan ole tarpeellista saada tallennusjärjestelmää kennoille.

Myös itse BMS:ää on hyvä suojella virtapiikeiltä. Tätä varten BMS:n syöttöä ennen asennetaan erilliset sulakkeet, jotka suojelevat järjestelmää. Tämän sulakkeen palamisesta olisi hyvä saada ilmoitus esimerkiksi logiikan tai erillisen valon avulla, sillä järjestelmä ei toimi sulakkeen palamisen jälkeen ja voi aiheuttaa akun tyhjenemisen tai ylikuumentumisen.

Akunvalvontajärjestelmä tarvitsee toimiakseen shuntin, jonka avulla järjestelmä pysyy päättelemään akusta lähtevän virran määrän. Shuntti on ylimenovastus, joka sijaitsee akulta lähtevän plus-navan jälkeen. Tämän avulla mitataan shuntin yli vaikuttavaa jännitettä, jonka tietoa BMS käyttää valvoakseen pääjännitesyöttöä sekä akkujen tilaa. Vastusarvoltaan shuntti on 50mV/800A. Shuntti on materiaaliltaan kuparia, koska kupari kestää hyvin ylijännitteen ilman kuumentumista, eikä näin aiheuta mittausvirhettä. Meidän projektiimme shuntin kooksi tuli 50mV/800A, ja tämä tiputtaa arvot sellaiselle tasolle että meidän BMS-järjestelmämme ymmärtää ne. Shuntin kehoitetaan olevan hieman isompi kuin maksimipiikkivirta akulta, jolloin estetään sen lämpeneminen piikkivirtojen aikana. Myös mentäessä yli 500A piikkivirran mittaustulokset tulevat epäluotettavimmiksi, ja näin ollen tiedot ovat vain suuntaa antavia. /4./

## 2.3 Lataus

Laturin löytäminen kennostoille ja BMS:lle oli vaikeampi tehtävä. Latureita löytyy monellekin kennolle, mutta koska latureissa on nykyään oma ”älynsä”, aiheuttaa se ongelmia BMS-järjestelmän kanssa. Onnistuimme kuitenkin löytämään laturin jolla kyseisten kennojen lataaminen onnistuu, eikä kennoja tarvitse ladata yksi kerrallaan kuten testivaiheessa. Myöskään BMS-järjestelmä ei kyseisessä laturissa koidu ongelmaksi. Laturilla pystyy lataamaan yhtäaikaisesti jopa 16 kennoa, eikä yhden kennon puuttuminen aiheuta ongelmaa.

Akkua pystytään myös lataamaan ajon aikana. Tätä kutsutaan regeneroinniksi, jolloin kaasun nostaessa moottori alkaa jarruttaa ja tästä syntyvä energia muutetaan takaisin sähkötehoksi ja työnnetään takaisin akkuun. Regeneroinnin vaikutus ajoaikaan on kuitenkin vähäinen, sillä radalla ajaessa kiihdytyksiä on paljon, ja jarrutusmatkat ovat suhteellisen lyhyitä. Nopeat kiihdytykset syövät akuista paljon tehoa, jolloin ensimmäisenä käytetään regeneroitu energia. Regenerointi muuttaa myös auton ajotapaa. Regeneroinnin kanssa on järkevämpää nostaa kaasua ja antaa auton hieman rullata, näin ladataan akkuja, ilman että jarrua painetaan ollenkaan. Tällä tavoin myös auton ajoaikaa voidaan kasvattaa.

## 3 LOGIIKKA

Automaatiotekniikan kehittyessä logiikkapiirejä on alkanut näkymään yhä useammissa paikoissa. Logiikkapiirit ja laitteiden sisäinen ”äly” on myös löytänyt tiensä niin autoteollisuuteen kuin kilpa-ajoneuvoihin. Suurimmalla osalla logiikasta haetaan joko enemmän tehokkuutta tai turvallisuutta.

Meidän työssämme logiikkamme keskittyy lähinnä moottorinohjaukseen. Myös kennoja mittaava BMS-järjestelmä on itsessään logiikka. Autoon olisi järkevää myös asentaa muuta logiikkaa, jolla ohjattaisiin erinäisiä asioita, kuten nopeuden seuraaminen.

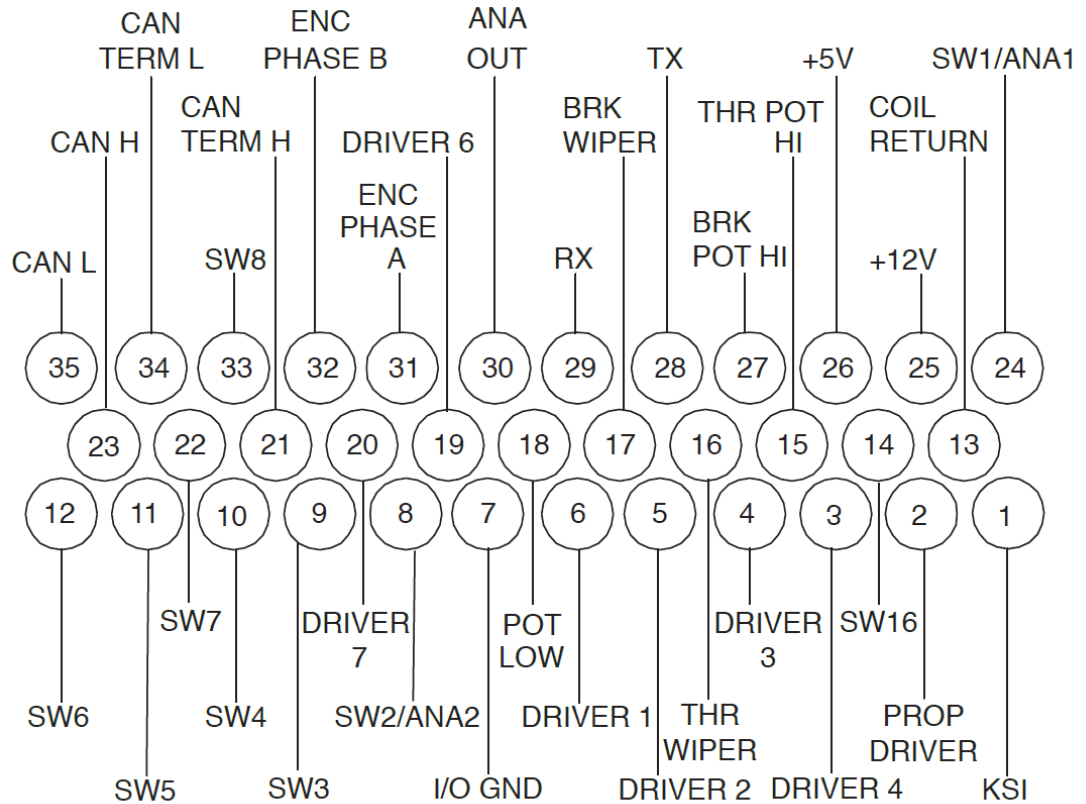
### 3.1 Moottorinohjaus

Moottorinohjaimeksi valitsimme Curtisin 1238-5601 –mallisen ohjaimen. Ohjaimen läpi pystytään viemään 63Vdc ja n. 600A /10/. Jotta ohjain varmasti pysyisi tarpeeksi viileänä, eikä polttaisi sisäisiä komponentteja, lisäsimme ohjaimen pohjaan lämpösiilin, joka auttaa pinta-alallaan ohjainta jäähtymään. Moottorinohjaimen koko löytyy liitteestä 2. Jäähdytys siili on pinta-alaltaan hieman suurempi kuin itse ohjain. Ohjain sijoitettiin penkin viereen, kuten kuvassa 3 näkyy.



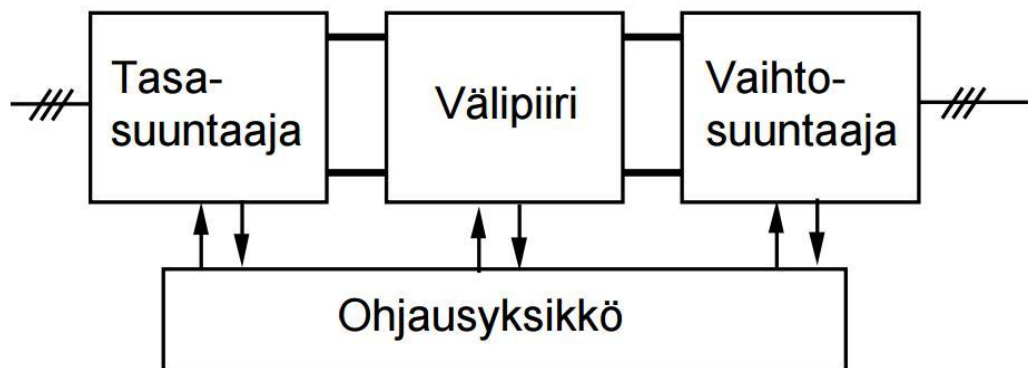
**KUVA 4. Moottorinohjain asennettuna penkin vierelle**

Kytkenällisesti moottorinohjain on melko helppo asentaa. Ohjaimelle tuodaan päävirta 70 mm<sup>2</sup> kaapeleilla. Samaa kaapelia käytettiin myös ohjaimen ja moottorin väliin tulevalle kolmivaihesähkölle. Curtisin moottorinohjaimen tuodaan tietoja eri instrumenteilta autosta, kuten kaasulta. Koska moottorinohjain on suunniteltu ajokäyttöön, löytyi siitä tärkeimmät ominaisuudet ilman suurempia muutoksia. Liitteessä 1 on moottorinohjaimen, akun ja moottorin johdotuskaavio. Pienjänniteliitoksille tarkoitettu liitin nähtävillä kuvassa 5.



**KUVA 5. 35-paikkainen AMPSEAL-liitin, johon tehdään pienjännitteiset liitokset.**

Ohjaimen toimintaperiaate on melko samanlainen kuin taajuusmuuttajassa. Ohjaimelle tuodaan sähkö tasasähkönä, jota ohjataan PWM moduulilla. Tämän jälkeen se muutetaan invertterillä kolmivaihesähköksi, joka viedään koneelle. PWM moduuli on koneelle menevän tehon määräävä komponentti. Kuvassa 6 on havainnollistava kuva taajuusmuuttajan toimintaperiaatteesta.



**KUVA 6. Taajuusmuuttajan toimintaperiaate**

Ohjain itsessään on ohjelmoitavissa eri käyttötarkoituksiin. Ohjainta voidaan käyttää minkä tahansa kolmivaihdemoottorin kanssa, vain ohjelmointia on muutettava. Ohjelmointi itsessään tehdään tietokoneella, jossa määritellään tietyt parametrit moottorinohjaimelle, kuten kaasun asennon vaikutus moottorille menevälle teholle. /5./

Ohjaimelle voidaan myös tuoda tehonantoon rajoittavia tekijöitä. Esimerkiksi akkujen vähäinen lataus tai moottorin lämpötila voivat olla tekijöitä joilla voidaan rajoittaa tehonantoa moottorille /5/. Olemme myös pohtineet mahdollisen tehonsäädön vipua, jolloin autolla ajaminen kokemattomille kuskeille olisi helpompaa. Tätä emme kuitenkaan ole vielä toteuttaneet.

### **3.2 Muu logiikka**

Yhdeksi mikroauton osaksi oli suunniteltu logiikka, jolla ohjailtaisiin autoon tulevia valoja ja muita mahdollisia turvallisuustekijöitä. Tätä osuutta emme kuitenkaan ajan puutteen takia saaneet valmiiksi, mutta peruslogiikka autoon oli jo suunniteltu.

Suurin hyöty logiikassa olisi tullut nopeuden seuraamisesta. Nopeutta sinänsä pystyy seuraamaan halvemminkin ratkaisuilla, mutta näillä tulokset voivat olla epätarkkoja. Olisimme myös toivoneet jonkinlaista ajanmittauslogiikkaa autoon, joka olisi lähettänyt tiedot esimerkiksi tietokoneelle. Tällaista emme kuitenkaan lähteneet rakentamaan.

Myös autoon suunniteltu valaistus olisi ohjelmoitu logiikalla. Olisimme saaneet ohjelmoitua esimerkiksi regeneroinnin merkkivalon, joka olisi vilkkunut akun ottaessa sisään virtaa ajon aikana. Myös muiden valaisimien toimintaa olisi voitu ohjata logiikan kautta, ja näin saada valot esimerkiksi vilkkumaan tietyssä järjestyksessä. Myös vilkkujen ja jarruvalon rakentaminen logiikalla olisi ollut mahdollista, vaikkakin ehkä kilpa-ajoneuvoon turhaa.

Logiikka itsessään olisi vaatinut 24V lähteen, joka olisi joko tehty alentamalla jännitettä akusta tai todennäköisemmin rakentamalla erillinen akku logiikalle. Tällöin erilliselle käyttösähkölle olisi tehty oma latauspistoke, mutta latausta ei olisi suoritettu ajon aikana regeneroinnilla. Tähän akkuun olisi myös tehty jännitteenmittaus, joka

kertoisi kun akku alkaa olla vähissä. Tämä akku luultavasti tehtäisiin ylimääräisistä kennoista joita ei pääakustossa tarvita.

### **3.2.1 Nopeusnäyttö**

Peruseriaate nopeusnäytölle logiikan kanssa olisi ollut induktiivinen anturi kuten ABS-jarruissa, jolla olisi mitattu taka-akselille laitettavan rattaan pyörimisnopeutta. Tämän jälkeen olisimme logiikalla ohjelmoineet anturin näyttämän tiedon muuttelun nopeudeksi.

## **4 MITTARISTO**

Mittaristoa varten rakensimme koriin ratin yläpuolelle pohjan, johon asetettiin BMS:n ja Curtisin mukana tulleet näytöt. Näistä näytöistä selviää akun kokonaisvaraus sekä mahdolliset vikailmoitukset. Näiden näyttöjen näkeminen ajon aikana on erittäin tärkeää, sillä ne kertovat mahdollisista vikatilanteissa niin moottorinohjaimessa kuin akussa.

Tämän lisäksi moottorinohjausta varten tulevat kytkimet sijoitettiin ratin alapuolelle, jolloin niihin pääsee helposti käsiksi. Samaan tilaan tulee myös hätäseis-painike, jolla pystytään pysäyttämään auto vaaratilanteen yllättäessä.

## **5 KORIN SÄÄDÖT**

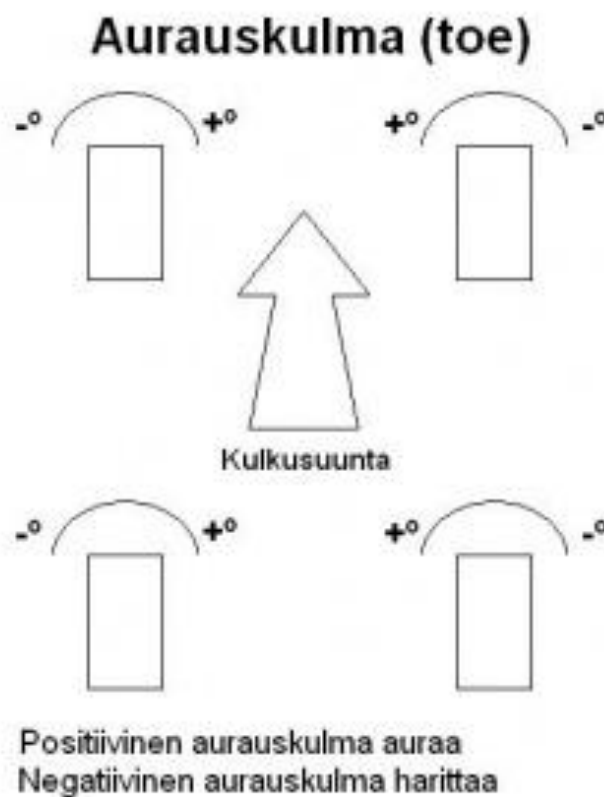
Korin ollessa kisakäyttöön tarkoitettua mallia siitä myös löytyy useita eri säätömahdollisuuksia. Nämä säädöt ovat kuitenkin rajoitettua johtuen auton pienestä koosta, mutta esimerkiksi ohjauksulmaa pystyttiin muuttamaan ratin säätöjen avulla. Näillä säädöillä saadaan aikaiseksi parempia mutkanopeuksia ja pystytään vaikuttamaan auton ketteryteen. Säädöillä pystyy myös korjaamaan auton hakemista tai puoltamista.

### **5.1 Ohjaus**

Ohjausmekanismi mikroautossa on erittäin simppele. Ratin takana on suora metallitanko, jota kääntämällä kääntyvät eturenkaille menevät raidetangot. Peruseriaate on

sama kuin normaaleissa autoissa, tosin mikroautossa ohjauksen säädöt ovat hieman rajoitetumpia eikä esimerkiksi ohjaustehostimelle ole tarvetta.

Raidetangot toimivat samalla tavalla kuin normaalissa autossa. Näitä säätämällä pystytään muuttamaan niin sanottua aurauskulmaa, joka ohjaa renkaan etu- ja takareunojen välistä etäisyyttä, kuten kuvassa 7 näkyy. Tämän seurauksena auton käytös käännyttäessä muuttuu ja renkaat kulumat eri tavalla kuin normaalisti. Henkilöautoissa väärät aurauskulmat ovat ongelma renkaiden kulumisen takia, mutta kilpakäytössä näin saadaan etua mutkiin. /8, s.129./



**KUVA 7. Aurauskulmat**

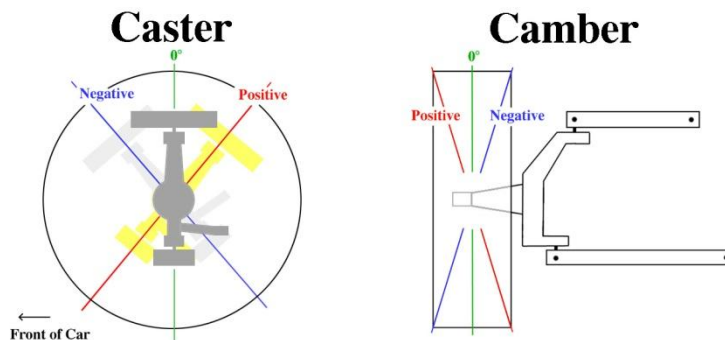
### 5.1.1 Camper

Camper tarkoittaa renkaan pystysuuntaista kulmaa. Nämä säädöt löytyvät kartingautosta vain edestä. Tällä säädöllä vaikutetaan auton käyttäytymiseen mutkassa, lisäämällä kosketuspintaa radan ja renkaan välissä. /8, s.128./ Camperia ja casperia havainnollistetaan kuvassa 8.



### 5.1.2 Caster

Caster on renkaiden säädöistä yksi vaikeammin selitettäviä. Caster perustuu pyörän keskipisteen kautta menevään kuvitteellisen suoraan ja sen säätämiseen. Caster auttaa autoa menemään suorassa paremmin, ilman että auto hakee suoralla koko ajan. Tämän kuvitteellisen suoran vaihtaminen auttaa auton runkoa kiertymään radan mukaisesti. Casterin säätöä ei suositella yleisesti, mikäli autoa voidaan ennemmin säätää camberilla tai aurauskulmilla. /8, s.128./



**KUVA 8. Caster ja Camber**

### 5.1.3 Rengaspaineet

Vaikkei renkaan paineet sinällään ole korin säätöjä, on niillä suuri merkitys auton käyttäytymiseen. Rengaspaineiden saaminen oikeaksi varsinkin kisatilanteissa voi olla hankalaa, sillä renkaan lämmitessä myös renkaan paine vaihtuu. Yli- tai aliohjaavaa autoa pystytään korjaamaan lisäämällä tai vähentämällä rengaspaineita takarenkaista. /8, s.132-133./

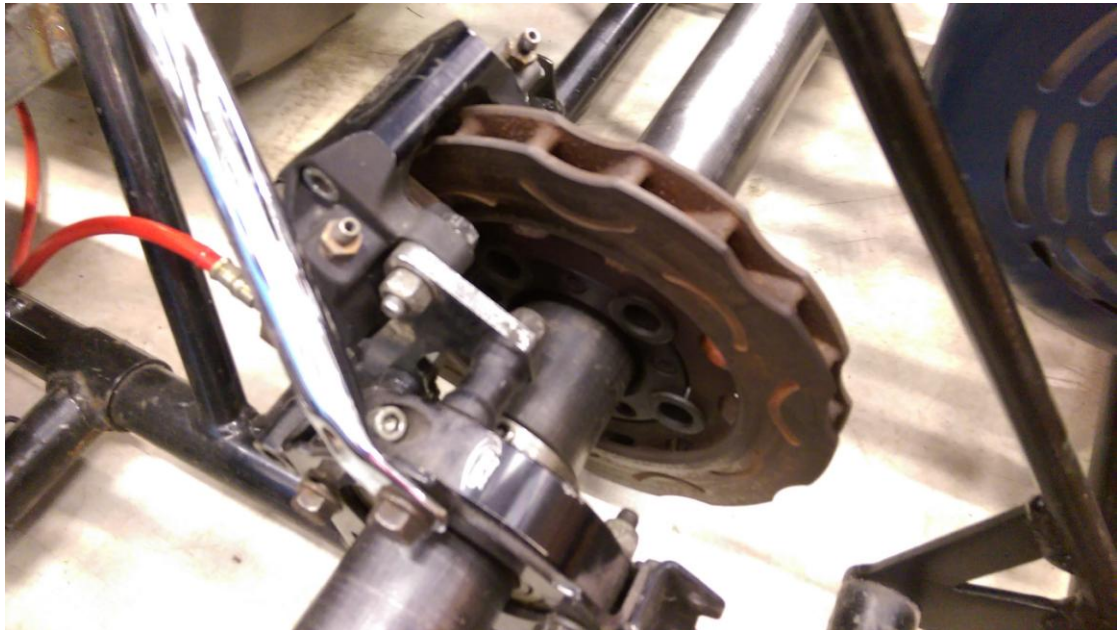
## 5.2 Jarrut

Jarruina korissa oli normaali levyjarru, jonka molemmin puolin on pienet jarrupalat joita ohjataan jarrunesteen paineella. Jarrupoljinta painettaessa paine nousee, ja jarrupalat ottavat levyyn kiinni. Jarrulevy itsessään on kelluvaa mallia, joka tarkoittaa, että levy itsessään ei ole kiinteä, vaan siinä on vähän liikkumavaraa. Tämä on korin myy-

jän mukaan parempi kuin normaali kiinteä jarrulevy. Jarrupalat ja –levy nähtävissä kuvassa 9.

Jarruista emme muuttaneet juuri mitään. Purimme systeemin ja varmistimme sen toiminnan ja totesimme järjestelmän toimivaksi. Olisimme halunneet että auton korissa olisi paikat etujarruille, jolloin jarrutustehoa saataisiin lisää. Näin ei kuitenkaan ollut, joten tyydyimme vain takana sijaitseviin jarruihin.

Jarrujen kestävyys on ollut suurena huolenaiheena autoa rakennettaessa. Kun teho normaaliin karting-autoon verrattuna kasvaa, pitäisi myös jarrujen tehon kasvaa. Emme kuitenkaan ole päässeet kokeilemaan autossamme olevia jarruja, joten niiden todellinen teho jää hieman mysteeriksi tällä hetkellä. Kun autoon on saatu viimeiset osat ja saamme rakennettua auton kokonaan valmiiksi testaamme myös jarrujen kestävyys, ja mikäli jarrut eivät kestä tehojen nousua, joudumme uusimaan ja suurentamaan jarrulevyä sekä –paloja.



**KUVA 9. Jarrut**

### **5.3 Kaasupoljin**

Autossa itsessään on vaijerilla toimiva kaasupoljin, joka on ohjannut polttomoottorissa olevaa kaasuläppää. Tähän polkimeen liitetään kaasuna toimiva potentiometri. Moottorinohjaimelle viedään tieto potentiometrin muutoksista, ja tämä ohjaa moottorille menevää tehoa. Tämä aiheuttaa ongelman vikatilanteissa, mikäli polkimeen tulee jo-

tain vikaa. Tätä varten potentiometrin juuressa on kytkin, mikä pitää olla painettuna jotta tieto potentiometrasta siirtyy moottorinohjaimelle. Kun jalka nostetaan pois kaasulta, potentiometristä välittyvä tieto moottorinohjaimelle katkeaa, ja ohjain ymmärtää kaasun olevan nostettuna.

## **6 VAROTOIMENPITEET**

Turvallisuus on yksi suurimpia haasteita autoa rakentaessa. Mikroautossa itsessään ei ole turvatoimenpiteitä, mutta tämän takia ajajan täytyy käyttää kypärää ja muita mahdollisia suojuksia. Sähkötekniikan tullessa autoon joudumme myös miettimään tämän luomia ongelmatilanteita.

Suurimman ongelmatilanteen luo akun mahdollinen oikosulku. Mikäli akku pääsisi oikosulkuun, on räjähdysmäisen tulipalon vaara olemassa. Tätä pyritään estämään niin pääsulakesarjalla kuin myös eristämällä akun kotelo mahdollisimman hyvin. Akkukotelon etulaitaan rakennetaan paikka pääsulakkeille, josta päävirtakaapelit menevät shuntille. Kyseisten sulakkeiden pitää kestää 600A virta piikkinä, mutta jatkuvana tämän pitäisi polttaa sulakkeet. Työtä kirjoittaessani emme ole vielä valinneet sulakkeita akulle.

Akkukotelo on myös suunniteltu siten, että mikäli akku pääsisi oikosulkuun kotelon kautta, antaa kotelon kansi ensimmäisenä periksi. Tällä tavoin paine pääsee pois kotelosta, jolloin pyritään estämään mahdollinen räjähdys.

### **6.1 Suojavälineet ajaessa**

Koska autossa itsessään ei ole minkäänlaisia suojarusteita kuljettajaa suojaamassa, on ajon aikana käytettävä ylimääräisiä suojuksia. Näihin varusteisiin kuuluvat kypärä, hanskat, jalkineet sekä ajopuku. Näillä pyritään estämään mahdolliset loukkaantumiset kolaritilanteissa. Nämä neljä suojarustetta ovat pakolliset kisassa, ja niiden käyttöä suositellaan myös harrasteajossa. /8, s.26-27./

## 6.2 Lisäsuojavarusteet

Nykyään autourheilussa pyritään turvaamaan ajajat mahdollisimman hyvin. Niinpä myös karting-ajajille on tehty paljon erilaisia lisäsuojavarusteita. Tärkein näistä on niskatuki, joka estää kolaritilanteessa mahdolliset niskavauriot. Myös polvi- ja kyy-närsuojat ovat yleistyneet, sillä esimerkiksi polvet joutuvat koville kisa ajaessa. Muina tärkeinä lisävarusteina mainittakoon kypärähuppu ja alusasut, joiden käyttö on myös yleistymään päin. /8. s.28-29./

## 7 JATKOMAHDOLLISUUDET

Jatkomahdollisuudet työlle ovat hyvät. Sähköautojen ja – kilpa-ajoneuvojen yleistyessä myös luultavimmin karting-radoilla aletaan nähdä sähköllä toimivia autoja. Nämä autot luultavasti tulevat saamaan oman sarjansa, jolloin sähkömoottorin etu polttomoottoriin nähden laskee. Sähkömoottoreiden yleistyessä niistä myös opitaan lisää ja esimerkiksi akkutekniikkaa pystytään kehittämään näin pidemmälle.

Itse emme kuitenkaan luultavimmin autoa kisakäytössä tule käyttämään. Autoa kyllä testataan radalla, jotta varmistutaan auton täydestä toimivuudesta. Koska molempien mielenkiinto lajia kohtaan tulee vain harrastepohjalta, emme usko että kumpikaan haluaisi kisaamaan sarjoihin.

Yksi mahdollisuus olisi auton mahdollinen myynti joko kisa- tai harrastekäyttöön. Mielenkiintoa kyseisissä piireissä varmasti olisi autoa kohtaan, mutta ensin meidän täytyy varmistaa auton toimivuus ja turvallinen ajaminen, varsinkin sähkölaitteiden osalta.

## 8 KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Kehitysmahdollisuudet autolle ovat valtavat. Ennen näitä auto kuitenkin pitäisi saada kulkemaan peruskuntoisena, jotta nähtäisiin mahdollisia ongelmakohtia enemmän. Tiedämme auton liikkumiseen tarvittavat työt, sekä mahdollisia ongelmakohtia joita työssä vielä edessä on. Auton valmius kirjoitushetkellä on nähtävissä kuvassa 10.

Autossa on kuitenkin vielä suhteellisen paljon työtä, jotta kaikki pienet jutut saadaan toimivaksi. Esimerkiksi BMS:n ja curtisin johdotus puuttuu täysin. Kaasupolkimen puuttumisen vuoksi näitä ei ole vielä aloitettu, mutta osien saapuessa johdotuksen pitäisi olla suhteellisen nopeaa. Tämän jälkeen olisi curtisin ohjelmointi, sen jälkeen saataisiin ensimmäinen testiajo aikaiseksi. Luultavasti testiajon yhteydessä ilmenee suurimmat ongelmat, joihin etsitään vastaus ne kohdatessamme.



**KUVA 10. Auto nykykunnossa, moottori asennettuna**

Kun auto on saatu liikkuvaksi, suurin kehitysmahdollisuus tulee luultavimmin logiikan osalta. Tätä kautta autoa saadaan turvallisemmaksi sekä fiksummaksi, jolloin auton ajettavuuskin paranee. Tehonsäätö on yksi joka on suuri etu logiikan kanssa, sillä autossa olevat tehot painoon nähden ovat hurjat. Tehonrajoituksella saataisiin varsinkin auton opettelua varten paljon kontrollia sekä turvallisuutta.

Painoa autolle tulee yhteensä n. 140 kg. Painojakauma on melko takana, kuten kuvas-  
sa 11 näkyy. Moottorin tehoksi on ilmoitettu 20 kW, mutta koska moottoria tullaan ajamaan ylijännitteellä, tehonkin oletetaan hieman nousevan. Tarkkaa lukemaa moot-

torin tehosta ei vielä ole. Teho/painosuhteena tämä tarkoittaisi vähintään 0,142857 kW/kg suhdetta.



**KUVA 11. Painojakauma**

Myös latauksen kehittäminen on yksi suuri haaste. Emme tähän mennessä ole saaneet laturia, jolla voisimme ladata kaikkia kennoja, vaikkakin sellainen pitäisi olla tulossa. Tämän johdotuksen jälkeen näemme laturin toiminnan, mutta lataus on yksi suuri ongelma sähköautojen osalta. Lataukseen kuluu kuitenkin paljon aikaa, vaikka kyseessä onkin vain 40Ah kennot.

Myös akkutekniikassa on nähtävissä paljon kehitysmahdollisuuksia tulevaisuudessa. Esimerkiksi grafeeni-tekniikan tullessa halvemmaksi ja tunnetummaksi akkujen ikää ja kestoja voidaan kasvattaa huimasti.

Myös auton paino on yksi kohta, jossa kehitystä voidaan tehdä huimasti. Mikäli rahoitus ei ole ongelma, voitaisiin auton runko tehdä esimerkiksi hiilikuidusta, jolloin painosta tipahtaa paljon pois. Myös auton muotoa voitaisiin silloin hieman muuttaa, jolloin kone voitaisiin siirtää esimerkiksi kuskin penkin taakse. Tämä keskittäisi auton

painopistettä enemmän kuin meidän versiomme, jossa auton moottori on hieman koholla muuhun autoon nähden.

Koska auto on ennen ollut polttomoottorikäyttöinen, on autoon jouduttu tekemään paljon muutoksia sähkömoottorin takia. Esimerkiksi taakse rakennettu moottorintuki tulisi täysin turhaksi, mikäli koko auton runko suunniteltaisiin uudelleen. Tietenkin koneella täytyy olla jonkinlainen tuki, mutta tuennan voisi järjestää viisaammin kuin meidän versiossamme.

Myös jarrutekniikkaa voitaisiin autoon parantaa. Esimerkiksi etujarrut voisivat auttaa vauhdin hiljentämiseen sekä mutkakäyttäytymiseen. Tätä varten pitäisi kuitenkin tehdä jarrutehojen säätö, jolloin autoa voisi säätää jarrujenkin kohdalta enemmän. Näiden osien lisääminen vie tilaa ja luo autoon lisää painoa, ja niiden suunnittelu pitäisi toteuttaa hyvin, jotta tämä olisi järkevää.

## **9 POHDINTA**

Työ itsessään oli erittäin opettava kokemus. Kun ajatus sähkökartingista alkoi liikkua mielessämme, ensimmäinen huolenaiheemme oli rahoitus. Rahoituksen puutteen takia koko projekti meinattiin kuopata, mutta ajatuksen kasvaessa päätimme rahoittaa projektin itse.

Tämä tarkoitti aluksi kesän ylitse kestäväää työntekoa, jotta rahat autoon saataisiin kasnaan. Samassa myös seurasimme karting-autojen myyntiä. Alkuperäisenä ajatuksena oli ostaa auto, jossa olisi toimiva kone. Näin olisimme päässeet kokeilemaan autoa, ja näkisimme sähkömoottorin ja polttomoottorin todellisen eron. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaan löysimme pelkän rungon.

Moottorin ja akun tullessa edessämme oli isoin työ, mitä auton kanssa tehtiin: moottorituen rakentaminen sekä muiden osien hahmottelu autoon. Näitä tehtiin pahvilaatista rakennetuilla ”osilla”, joiden mitat olivat suhteellisen realistiset. Näin näimme, kuinka projekti tulee edistymään ja millainen autosta oikeasti tulisi.

Oma osuuteni rakentamisen suhteen keskittyi enemmän akkuun ja moottorinohjaukseen. Tietenkin autoin moottorintuen kanssa, missä minusta ikinä olikaan apua. Opin näytetyöparini on kuitenkin enemmän tehnyt töitä hitsilaitteiden kanssa, ja näin päätimme, että hän tekee hitsaukset ja minä autan suunnittelussa ja teen muita hommia sillä välin, kun hitsauksia tehdään.

Työssä oli myös paljon ongelmakohtia, joiden ratkaisuja mietittiin ja mietitään edelleen. Esimerkiksi sulakkeiden kytkeminen on ongelma, sillä emme löytäneet kantaa johon menisi suoraan 70 mm<sup>2</sup> -kaapeli. Tämän takia luultavasti alkulähtö akulta tulee kahdella 35 mm<sup>2</sup> -kaapelilla.

Yksi suurista ongelmista oli osien saaminen. Tavarantoimittajamme teki hyvää työtä selittäessään meille, miten auto kannattaa rakentaa, ja hän myös laskeskeli meille järkevämpiä koneita, kuin mitä olisimme alun perin hankkineet. Muiden osien hankinnassa oli kuitenkin ongelmia, niin tavaran puutteen kuin kommunikaatio-ongelmien takia. Tämä häytti auton rakentamista ja aiheutti suuria taukoja työpäivien välille.

Työn tavoitteena oli oppia niin sähköautotekniikasta kuin autotekniikasta ylipäätään. Saimme myös lisätietoa kilpa-ajoneuvoista. Nämä opitut taidot varmasti auttavat meitä tulevaisuudessa autojen ja sähkömoottoreiden parissa, ja työ oli ylipäätään mieluisa kokemus.



## LÄHTEET

1. Motiva, ajoneuvotekniikka – Akut. WWW-sivu.  
[http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka%20%20akut](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka%20%20akut). Päivitetty 19.12.2013. Luettu 2.4.2015
2. Electropaedia, Battery Management System. WWW-sivu.  
<http://www.mpoweruk.com/bms.htm>. Päivitetty 5.4.2015. Luettu 18.4.2015.
3. Orion Junior BMS. BMS:n tietoja. PDF-dokumentti.  
[http://www.orionbms.com/downloads/documents/orionbms\\_jr\\_specifications.pdf](http://www.orionbms.com/downloads/documents/orionbms_jr_specifications.pdf). Päivitetty 6.5.2014. Luettu 18.4.2015
4. Orion Junior BMS. BMS:n tietoja. PDF-dokumentti.  
[http://www.orionbms.com/manuals/pdf/jr\\_purchasing\\_guide.pdf](http://www.orionbms.com/manuals/pdf/jr_purchasing_guide.pdf). Päivitetty 22.5.2014. Luettu 18.4.2015.
5. Curtis. Moottorinohjaimen manuaali. PDF-dokumentti.  
[https://www.electrcautosports.com/files/1234\\_36\\_38%20Manual%20Rev%20C2.pdf](https://www.electrcautosports.com/files/1234_36_38%20Manual%20Rev%20C2.pdf). Päivitetty 3.6.2010. Luettu 18.4.2015.
6. Kokam. Tietoja akkukennoista. WWW-sivu.  
[http://kokam.com/kokam/en/html/product/large\\_cells\\_tec.html](http://kokam.com/kokam/en/html/product/large_cells_tec.html). Päivitetty 18.2.2015. Luettu 18.4.2015.
7. Kokam. Tietoja akkukennoista. WWW-sivu.  
[http://kokam.com/kokam/en/html/product/nmc\\_cells\\_over.html](http://kokam.com/kokam/en/html/product/nmc_cells_over.html). Päivitetty 18.2.2015. Luettu 18.4.2015
8. João Diniz Sanches – Karting ajajan käsikirja. Julkaistu 2007. Suomennettu 2008. Painopaikka Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
9. Curtis. Moottorinohjaimen tekniset tiedot. PDF-dokumentti.  
<http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=cProducts.DownloadPDF&file=50265%5F123638E%5FRevC%2Epdf>. Päivitetty 19.4.2015. Luettu 19.4.2015.

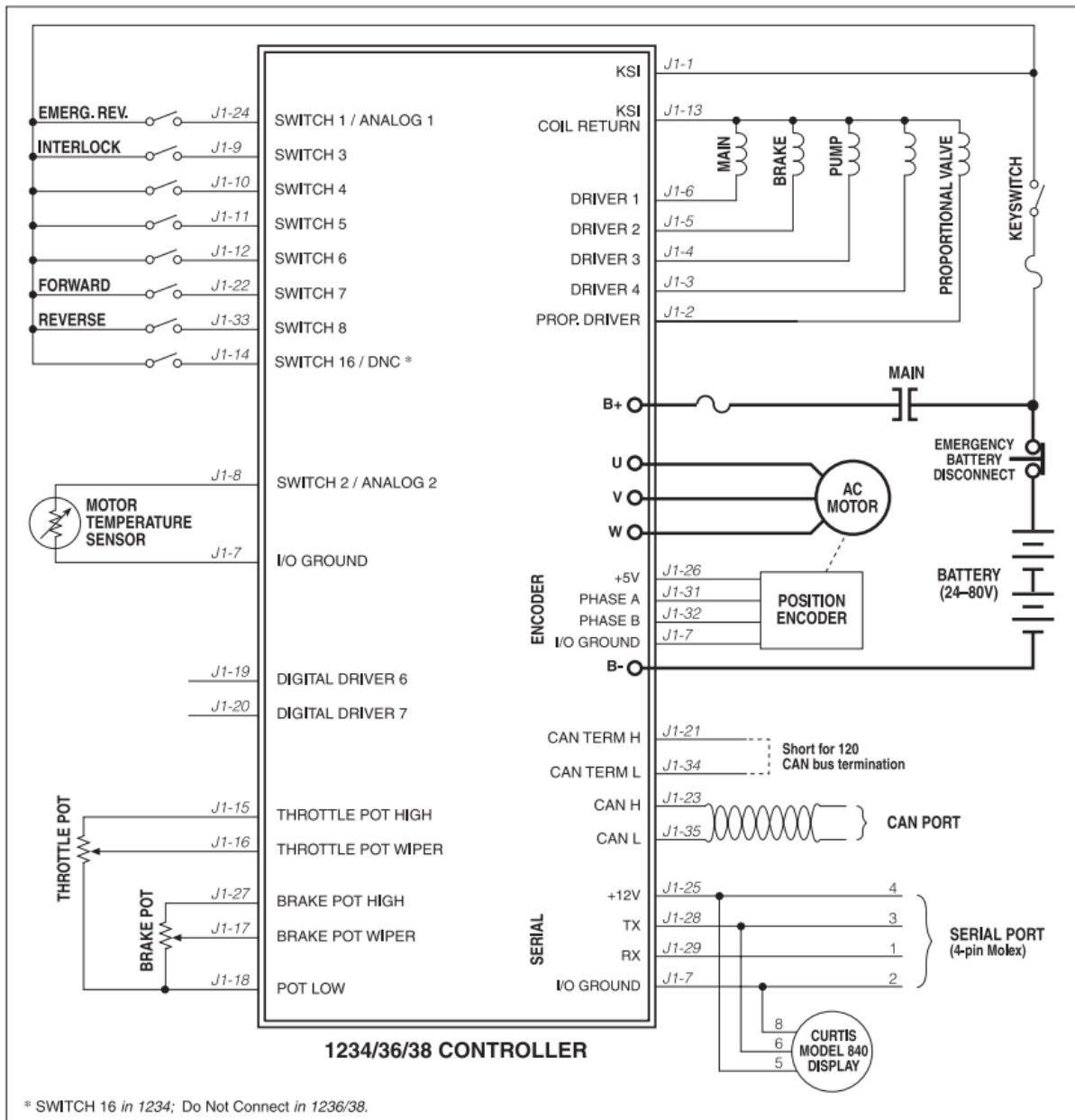
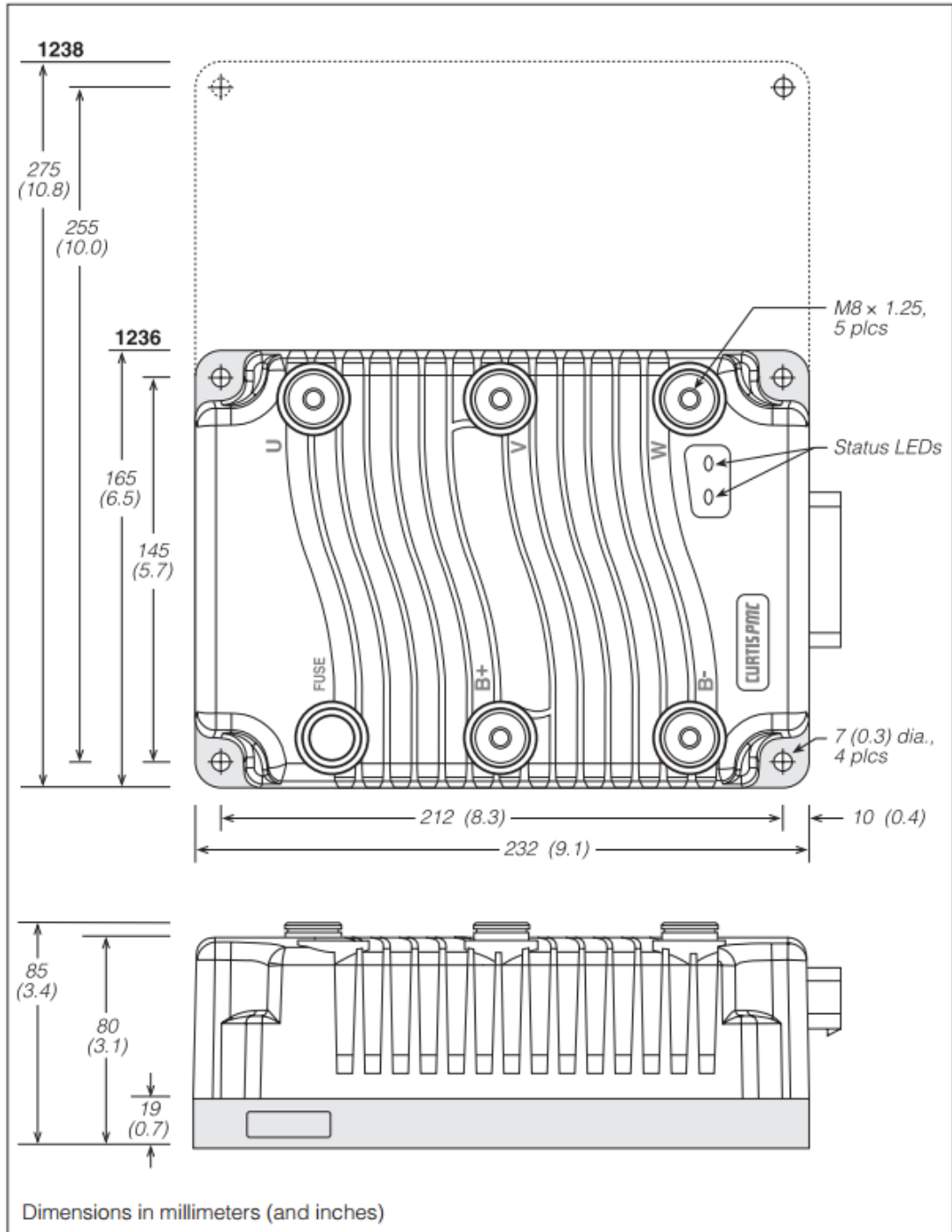


Fig. 3 Basic wiring diagram, Curtis 1234/36/38 motor controller.

# LIITE 2.

## Curtisin mitoitus



**LIITE 3.**

## Akkujen testaus/lataus

Kenno

	Aloituspännite (V)	Ladattu määrä (Ah)	Lopullinen jännite
1	3,71	31,98	4,163
2	3,716	27,75	4,174
3	3,582	36,2	4,148
4	3,754	28	4,147
5	3,749	23,5	4,141
6	3,61	36,4	4,16
7	3,514	31,3	4,144
8	3,716	31,5	4,155
9	3,714	27,2	4,154
10	3,727	32,1	4,154
11	3,724	31,1	4,149
12	3,705	34,3	4,157
13	3,709	33,8	4,158
14	3,679	28	4,151
15	3,529	34,5	4,115
	<b>Keskiarvo:</b>	31,17533333	4,151333333