



Sähkötoiminen mönkijä

Jyrki Tirkkonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

JYRKI TIRKKONEN:
Sähkötoiminen mönkijä

Opinnäytetyö 45 sivua
Toukokuu 2013

Pelkästään polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen aika alkaa olemaan ohitse nykypäivänä. Tästä syystä uusien energiamuotojen löytäminen polttomoottorikäytön rinnalle, on tullut monelle ajoneuvovalmistajalle yhdeksi tärkeimmäksi prioriteeteista. Tällä hetkellä varteen otettavin vaihtoehto polttomoottorin rinnalla on sähkökäyttö, joko hybridinä tai täysin sähköisenä. Täysin sähköisten ajoneuvojen kompastuskivenä on ollut pitkään akkuteknologia. Tästä syystä hybriditeknologia on yleistynyt huomattavasti uusissa ajoneuvoissa. Kehitys on kuitenkin kulkenut eteenpäin vain autoteollisuudessa, jättäen pienkoneet jälkeensä, muutamia yksittäistapauksia lukuunottamatta.

Tämän opinnäytetyön aiheena on muuntaa polttomoottorikäyttöinen mönkijä sähkökäyttöiseksi, sekä ottaa selvää mitä kaikkia vaatimuksia asetetaan, jotta sen saisi rekisteröityä tieliikenteeseen. Tällä pyritään selvittämään kuinka helppoa tänä päivänä on valmistaa täysin sähkökäyttöinen ajoneuvo.

Opinnäytetyössä käydään läpi ajoneuvon moottorin mitoittamisen perusasiat, sekä otetaan huomioon myös seikat, jotka vaikuttavat rekisteröintiin tieliikennekäyttöä varten. Lisäksi työssä käydään läpi erityisesti sähkömoottorikonversiossa huomioon otettavia asioita, kuten tarvittavat peruskomponentit sekä niiden tehtävät.

Valmis ajoneuvo on esitelty myös Jyväskylän MP-Näyttelyssä 2013. Samassa yhteydessä on myös selvitetty ihmisten suhtautumista sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Automobile and transport engineering
Automobile and garage engineering

JYRKI TIRKKONEN:
Electrical quad bike

Bachelor's thesis 45 pages
May 2013

Vehicles using internal combustion engines are currently reaching the end of their era. As a result of this finding new forms of energy has become one of the most important priorities for many vehicle manufacturers. At present the strongest alternative for internal combustion engines is electric motors used either in hybrid or completely electrical forms. The technology used in the batteries has been the stumbling stone for purely electrical vehicles for a while now and this is why hybrids are becoming more and more common. Although the hybrid technology has progressed considerably within the car industry, it has not been utilized in smaller vehicles except in a few isolated cases.

The subject of this thesis is to transform an internal combustion engine ATV (All-Terrain Vehicle) into an electrical one and to inspect what kind of legislations there are when it comes to registering such a thing for traffic use. The thesis seeks to determine how easy it currently is to manufacture an electric vehicle.

The thesis shows the basics of dimensioning an engine and takes into account the factors affecting the registration of such a device for road use. It also covers the points that have to be considered in electric conversion such as the basic components and their functions.

The completed vehicle has been on show in Jyväskylä MP-näyttely 2013. During this people have been inquired about their opinions on and attitudes towards electrical vehicles.

Key words: electrical, quad bike, dimensioning, conversion

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SÄHKÖKÄYTÖN TEORIA.....	6
2.1	Moottorit	6
2.2	Ohjainlaitteet.....	7
2.3	Akusto	8
3	LÄHTÖKOHDAT.....	11
3.1	Rekisteröinti.....	12
3.2	Tavoitteet	14
4	KOMPONENTIT	15
4.1	Runko.....	15
4.2	Moottori	15
4.3	Ohjainlaite.....	16
4.4	Akusto	17
4.5	Muut sähkökomponentit	17
5	RAKENTAMINEN.....	20
5.1	Sähkömoottorin mitoittaminen	20
5.1.1	Vierintävastus.....	20
5.1.2	Ilmanvastus	22
5.1.3	Mäenvastusvoima.....	23
5.1.4	Kokonaisvastusvoima	24
5.2	Välityssuhteen valinta.....	27
5.3	Akuston mitoitus.....	29
5.4	Akkutelineen rakentaminen	32
5.5	Moottoriteline	33
5.6	Ohjainlaiteteline.....	34
5.7	Komponenttien kytkentä.....	35
5.8	Ohjainlaitteen ohjelmointi	36
6	LOPPUTULOS	40
7	TULEVAISUUS	43
8	POHDINTAA.....	45
	LÄHTEET.....	46

1 JOHDANTO

Ajoneuvoteollisuus elää tällä hetkellä murrosvaihettaan, sillä ympäristöystävällisyyteen sekä samalla kulutukseen on alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota öljykriisien myötä. Tämän vuoksi vaihtoehtoisia energiamuotoja on aloitettu etsimään, jotta ajoneuvot saataisiin kulkemaan myös tulevaisuudessa.

Tällä hetkellä varteenotettavin vaihtoehto polttomoottorille on sähkökäyttö, joko täysin sähköisenä tai erilaisina hybridiversioina. Sähkön käyttöä ajoneuvoteollisuudessa puoltaa sen helppo saanti, sekä sähkömoottorien erittäin hyvä hyötysuhde. Sähköä on mahdollista tuottaa ajoneuvoihin esimerkiksi täysin uusiutuvilla luonnonvaroilla, kuten tuuli-, vesi- tai aurinkosähkönä. Tämä vähentää selvästi ajoneuvojen jättämää hiilijalanjälkeä. On kuitenkin totta, että vielä ei täysin pystytä tuottamaan täysin sitä sähköä, joka tarvitaan sähköajoneuvojen lataamiseen, pelkästään uusiutuvilla luonnonvaroilla, mikäli koko ajoneuvokanta muuttuisi sähkökäyttöisiksi. Sähkömoottorien erinomainen hyötysuhde kuitenkin paikkaa osan tästä aiheutuvasta haitasta. Verrattuna esimerkiksi bensiinimoottoreihin, joiden tyypillinen hyötysuhde on 20-25%, voi sähkömoottoreiden hyötysuhde olla paikoin jopa yli 90%.

Sähkökäyttöisiä autoja alkaa olla jo miltei jokaisella autovalmistajalla, mutta muihin ajoneuvoihin sähkökäyttö ei ole valitettavasti vielä kovinkaan paljoa lisääntynyt. Esimerkiksi juuri mönkijöitä ei ole tarjolla kuin muutamia yksittäiskappaleita ja nekin ovat lähinnä vain myynnissä Yhdysvalloissa.

Opinnäytetyöni tarkoituksena on ottaa selvää kuinka järkevää ja mahdollista on valmistaa täysin sähkökäyttöisiä pienkoneita. Tarkoituksena on tehdä konversio valmiin ajoneuvon puitteista. Tässä tapauksessa ajoneuvoksi valikoitui L7e luokan nelipyöräinen ajoneuvo, eli kansankielellä mönkijä. Syy miksi valitsin ajoneuvoksi mönkijän, on sen suuri koko sekä pieni massa.

Suomen tieliikennelaki asettaa tietyt puitteet ajoneuvojen valmistukselle, tästä syystä myös lakiin on syytä perehtyä, kun ajoneuvoa rakentaa. Opinnäytetyössä käydään läpi kaikki lain asettamat vaatimukset tieliikennerekisteröintiä varten. Sekä tarkastellaan niitä tämän projektin kannalta, kuinka vaikeaa yksittäisen ajoneuvon valmistaminen on niin, että sen saa rekisteröityä.

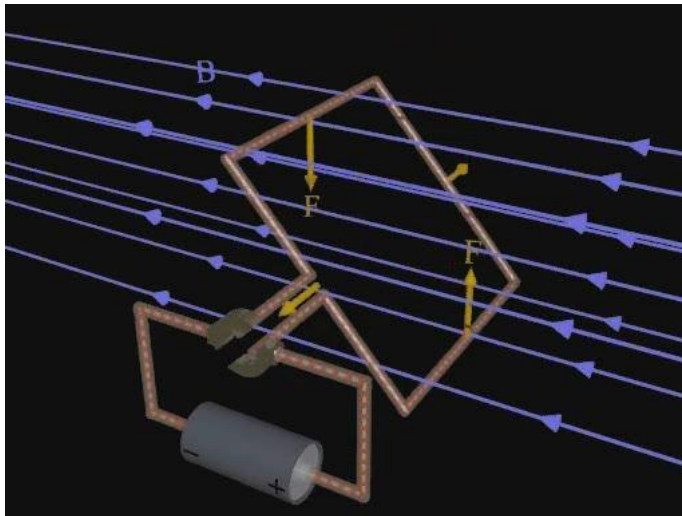
2 SÄHKÖKÄYTÖN TEORIA

2.1 Moottorit

Sähkökäyttöiset ajoneuvot jaetaan monesti niiden käyttämän moottorin sähkön laadun perusteella, joko tasasähköisiin tai vaihtosähköisiin. Kummallakin sähkökäytöllä on omat etunsa ja haittansa, mutta yleissääntönä voidaan pitää, että pienkoneet tehdään yleensä tasasähkökäyttöisiksi, sen edullisuuden ja yksinkertaisuuden vuoksi.

Tasavirtamoottoreissa haasteen muodostaa sen portaaton kierrosnopeuden säätö, sekä lisäksi siitä löytyy monesti myös kuluvat hiilet, jotka yhdistävät virtajohdot kommutaattoriin. Kun vertaa taas vaihtojännitemoottoriin, siitä ei kuluvia hiiliä tai muita kuluvia komponentteja löydy.

Seuraavassa kuvassa on selvennetty tasavirtamoottorin toimintaperiaatetta:



KUVA 1. Tasavirtamoottorin toimintaperiaate (www.pilvivene.com)

Kuvassa näkyy yksinkertaisen tasavirtamoottorin toimintaperiaate. Virtalähteestä tuodaan tasavirtaa kommutaattorille, josta virta johdetaan käämiin, joka synnyttää magneettikentän. Ankkurikäämiin muodostunut magneettikenttä pyrkii asettumaan samansuuntaisesti kuin kenttäämin magneettikenttä. Kun ankkurikäämin napaisuutta vaihdetaan tietyllä nopeudella saadaan aikaan pyörivä liike. Ankkurikäämin napaisuutta saadaan vaihdettua kommutaattorin ja hiilien avulla.

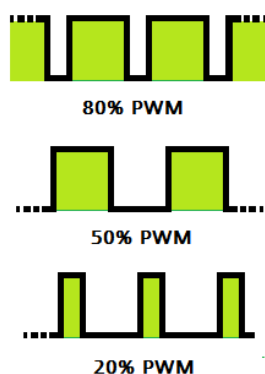
Vaihtovirtamoottori eroaa nimensämukaisesti tasavirtamoottorista sen käyttämän jännitteen laadulla. Vaihtovirtamoottoriin johdetaan yleensä sinimuotoista jännitettä, joko suoraan verkkovirrasta tai erillisen invertterin kautta esimerkiksi tasavirtalähteestä. Moottorin pyöriminen perustuu käytännössä samanlaiseen ilmiöön kuin tasavirtamoottorikin, eli magneettikenttien muutokseen.

2.2 Ohjainlaitteet

Vaihtovirtamoottorin ja tasavirtamoottorin ohjauksessa on suuria eroja. Tasavirtamoottoria ohjataan jännitteen tason muutoksilla, kun taas vaihtovirtamoottorissa ohjataan jännitteen taajuutta. Tästä syystä tasavirtamoottorin ohjaaminen on yleensä helpompaa kuin vaihtovirtamoottorin.

Tasavirtamoottorin ohjaaminen tapahtuu isommissa moottoreissa yleensä PWM-tekniikalla, eli jännitepulssin pituutta muuntelemalla. Tämä ohjaustapa on käytössä esimerkiksi myös CAN-väylää käyttävien autojen jarruvaloissa. Jännitepulssin ollessa lyhyt verrattuna nollajänniteaikaan, saadaan polttimo palamaan parkkivalona, kun jännitepulssin pituutta lisätään suhteessa nollajännitteeseen, saadaan polttimo palamaan kirkkaammin, toimien näin jarruvalona. Jännitepulssin pituuden suhdetta nollajännitteeseen kutsutaan pulssisuhteeksi.

Seuraava kuva selventää hieman kuinka PWM-teknologia ja pulssisuhteen muutos toimii:



KUVA 2. PWM-teknologia (www.hutasu.net)

Kuvassa ylimpänä on 80% pulssisuhde. Tällöin jännitepulssin pituus on nelinkertainen verrattuna nollajänniteeseen. 50% pulssisuhteessa jännitepulssi sekä nollajännite ovat yhtäpitkiä.

Pieniä sähkömoottoreita voidaan ohjata potentiometreillä. Tällöin potentiometri toimii sähkömoottorin etuvastuksena. Kun potentiometrin vastusta muutetaan, muuttuu moottorille jäävän jänniteen määrä myös. Tämä ohjaus on halpa ja yksinkertainen, mutta toisaalta potentiometrin läpi ei yleensä voida johtaa suuria virtoja, sekä lisäksi sen hyötysuhde on erittäin huono, verrattuna pulssisuhdetta muuttavaan hakkuritekologiaan. Hyötysuhde on huono, koska potentiometrille jää piiristä suurin sähköteho.

Vaihtosähkömoottoria ohjatessa ajoneuvokäytössä, tarvitaan akkujen ja moottorin väliin ohjainlaitteen lisäksi myös invertteri, joka muuntaa akuilta tulevan tasajänniteen vaihtojänniteeksi. Invertterit toimivat hakkuritekniikalla. Inverttereissä on yleensä myös samassa taajuusmuuttaja, jolla saadaan säädettyä moottorille tulevan vaihtojännitteen taajuutta. Taajuutta muuttamalla on mahdollista muokata moottorin pyörintänopeutta.

2.3 Akusto

Tärkein ja tällä hetkellä vaativin sekä rajoittavin komponentti sähköajoneuvokäytössä on akusto. Tällä hetkellä se toimii rajoittavana tekijänä sähköajoneuvojen yleistymiselle. Akkujen energiakapasiteetti on vielä liian pieni, jotta niillä päästäisiin samoihin kilometrilukemiin polttomoottoriajoneuvojen kanssa. Lisäksi akkujen latausteknologia on vielä sen verran heikkoa, että pitkän matkan ajajalle ei ole mitään järkeä ostaa sähköajoneuvoa. Lisäksi vielä harvat latauspisteet edelleen laskevat sähköajoneuvojen suosiota.

Tällä hetkellä yleisimmät akut, joita käytetään sähköajoneuvoissa ovat erilaiset versiot litiumakuista. Niiden energiatiheys on moninkertainen verrattuna esimerkiksi tavallisiin lyijyakkuihin. Lisäksi niitä pystytään kuormittamaan suurilla tehotarpeilla, niiden pienen sisäresistanssin sekä kemiallisten ominaisuuksien vuoksi.

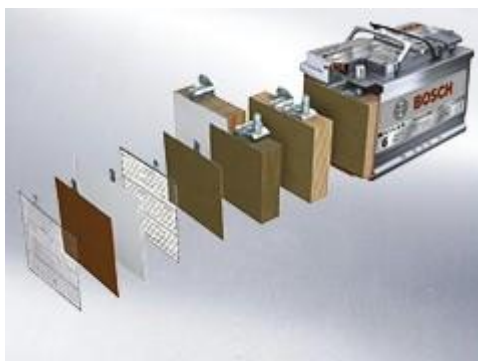
Yleisimmin käytetyt litiumakut ovat LiFePO_4 - (litium-rauta-fosfaatti) tai litium-ioni-akkuja. Litiumakkujen heikkoutena on kuitenkin niiden korkea hinta, sekä niiden

vaatima latauselektroniikka. Sähköajoneuvokäytössä on myös havaittu muutamien litium-akkujen räjähtäneen käytössä tai latauksessa, joten se tekee niistä myös hieman epävakaita käyttäjä.

Toinen, esimerkiksi Toyotan käyttämä, akkutyyppi on NiMH- (nikkelimetallihybridi) akku. Ne ovat myös energiatiheydeltään huomattavasti parempia kuin lyijyakut. Niiden heikkoutena on kuitenkin niiden muita akkuja alhaisempi kennojännite, tästä syystä tarvittavien kennojen määrä on suurempi tavoiteltaessa suuria jännitteitä. Lisäksi niiden itsepurkautuminen on yleensä suurempaa kuin muilla akkutyypeillä. Tästä syystä niitä käytetään yleensä hybridi-autoissa, jolloin polttomoottori on turvaamassa liikkeelle pääsyn.

Tässä opinnäytetyössä käytössä on kuitenkin lyijyakut, koska niitä on helposti saatavilla ja ne ovat moninkertaisesti edullisempia kuin tehokkaammat akut. Lisäksi tarvittava teho on vielä sen verran pieni, että se on mahdollista tuottaa myös lyijyakuilla.

Lyijyakut ovat vanhimpia akkutyyppisiä, joita on markkinoilla. Ne ovat luotettavia, yksinkertaisia sekä edullisia. Ainoastaan niiden energiatiheys ja kuormitettavuus ovat hieman heikompia kuin paremmilla akuilla. Lyijyakkujen saralla on kuitenkin tapahtunut myös suurta kehitystä eteenpäin, tehden niiden energiatiheydestä entistä parempia. Mullistavin keksintö on ollut AGM-teknologia, jossa lyijylevyt on aikaisemman rikkihapon sijasta kytketty lasikuituteknologialla. Tällä tavoin on saavutettu suurempi syklikestävyys, parempi kuormitettavuus, suuremmat kapasiteetit sekä erittäin hyvä värinänkestävyys.



KUVA 3. Bosch AGM-akkujen läpileikkaus

Kuvasta 3 voidaan nähdä, että rikkihappo on saatu poistettua nestemäisestä muodosta imeyttämällä se lasikuitumattoihin, jotka ovat kennojen välissä.

AGM-akkuja käytettäessä on kuitenkin huomioitava niiden lataaminen, sillä niitä ei saa ladata tavallisilla lyijyakkulatureilla, koska ne saattavat pilata akun. AGM-akuilla latausjännitettä on seurattava koko latausprosessin ajan. Lisäksi ne tarvitsevat hieman pienemmän latausjännitteen, kuin tyyppillinen lyijyakku. Tästä syystä AGM-akkuja saa ladata vain ”älylatureilla”, jotka pystyvät seuraamaan koko lataustapahtumaa ja mukautumaan lataustilanteen mukaan.

3 LÄHTÖKOHDAT

Lähtökohtana toimii tarve saada selville, onko mahdollista rakentaa yksinkertaisesti ja edullisesti toimiva sähköajoneuvo. Lähtökohtana autot suljin kokonaan pois konversiosta, koska niiden tarvitsema teknologia on kallista sekä teho suuri. Tästä syystä konversion lähtökohdaksi jäi jäljelle pienkoneet. Koska tarkoituksena oli tehdä tieliikenteeseen sopiva ajoneuvo, jäivät moottoripyörä puolelta crossipyörät pois, vaikka niiden saralla sähkökäyttö onkin jo selkeästi yleistynyt. Jäljelle jäivät siis mopot, moottoripyörät sekä mönkijät.

Mönkijän valitseminen konversion ahioksi oli melko helppo päätös, sillä ne ovat suuria, joten niihin on helppo mahduttaa kaikki se teknologia, jota sähköajoneuvo tarvitsee. Lisäksi niiden kokonaismassat ovat yleensä suuria, joten pelkoa sille, että runko ei kestäisi akkujen ja moottorin painoa, ei ole.

Seuraavassa kuvassa näkyy tämän projektin aihio:



KUVA 4. Projektin aihio Kymco MXU 250

Seuraavaan taulukkoon on kirjattu alkuperäisen polttomoottoriversion tarkempia tietoja:

TAULUKKO 1. Kymco MXU 250 tekniset tiedot

Moottori	4-tahtinen OHC
Kuutiotilavuus	249cc
Sylinterit	1
Jäähdytys	Vesi
Maksimiteho	12,5 kW/ 7000 rpm
Maksimivääntö	19,6 Nm/ 5500 rpm
Tankin tilavuus	12,5 L
Kuivapaino	223 kg
Renkaat E/T	22*7-10 / 22*10-10

Tarkoituksena on riisua rungosta moottori kaikkine laitteineen, sekä suunnitella ja toteuttaa sähkömoottorille, akuille sekä sähkökomponenteille telineet ja paikat. Lisäksi ajoneuvon massan tavoitellaan pysyvän lähes samana, vaikka ajoneuvon kokonaismassa onkin 400 kg. Tällöin ajoneuvo voidaan pitää edelleen kaksipaikkaisena, eikä siitä tarvitse poistaa kyytiläisen paikkaa massan vuoksi. Huippunopeudeksi valmistaja lupaa ajoneuvolle noin 80 km/h. Vastaavaa huippunopeutta tavoitellaan myös sähkökonversiolle.

3.1 Rekisteröinti

Tieliikennemönkijää rakentaessa on otettava huomioon muutamia asioita, joita laki velvoittaa. Seuraava teksti on lainattu suoraan Tieliikennelaista Ajoneuvolain toisen luvun 13§:sta neljännestä kohdasta:

” *L_{7e}-luokan ajoneuvo (nelipyörä)* on nelipyöräinen moottorikäyttöinen ajoneuvo, jonka kuormittamaton massa on enintään 400 kg tai tavarankuljetusajoneuvon osalta enintään 550 kg, sähköajoneuvon kyseessä ollessa kummassakin tapauksessa lukuun ottamatta akkujen massaa, ja jonka moottorin suurin nettoteho on enintään 15 kW.” (Tieliikennelaki, ajoneuvolaki, 2 luku, kohta 4)

Tällöin sähkökäyttöinen mönkijän massaksi saisi tulla 400 kg, ilman akkujen massaa. Sekä lisäksi sähkömoottorin suurin tuottama teho pitää olla alle 15 kW.

Muutostarkastusta varten on lisäksi otettava muutama muu seikka huomioon.

Koska alkuperäinen mönkijä on ollut joskus kilvissä, on kilvittäminen huomattavasti helpompaa kuin täysin uuden mönkijän saaminen kilpiin. Sillä mönkijältä vaadittavat hyväksynät vastaavat 2006 vuoden arvoja, kun taas ajoneuvo, jota ei olisi vielä rekisteröity, pitäisi vastata täysin tämän vuoden arvoja. Lisäksi tieliikenteeseen saaminen helpottuu huomattavasti, koska valmiilta konversiolta vaaditaan vain muutoskatsastus, jossa todetaan ajoneuvon täyttävän kaikki normit.

Seuraavassa listassa on koottu pääasiat, joita pitää ottaa huomioon kun konversiota aiotaan saada tieliikenteeseen:

- Ajoneuvon on täytettävä EMC- hyväksynät vuodesta 2002 alkaen
- Ajoneuvosta on löydyttävä ”Ajo päällä” valo, josta käy ilmi milloin virrat ovat päällä
- Akselimassat eivät saa ylittyä
- Mikäli nopeusmittaria muutetaan, on siitä hankittava asiantuntijan lausunto
- Mikäli runkoa hitsataan on osoitettava vähintään laskelmilla todeksi, että lujuudet ovat riittävät
- Valot, vilkut ja äänimerkki ovat toimittava normaalisti
- Akkujen kiinnitykset on oltava riittävät
- Teho ei saa ylittää sallittua (15kW tässä tapauksessa)
- Melutaso ei saa ylittyä

Eniten ongelmia rekisteröinnissä tuottaa EMC-hyväksynät, sillä niiden mittaaminen on haastavaa, eikä sitä tee kovin moni yritys Suomessa. EMC-hyväksyntä tarkoittaa sitä, että ajoneuvo vastaa sen vuoden taseisia sähköhäiriöarvoja. Toiseksi eniten ongelmia tulee tuottamaan nopeusmittarin muuttaminen. Nopeusmittaria joudutaan muuttamaan, koska alkuperäisessä versiossa nopeusmittarin anturi sijaitsi vaihteistossa, mutta koska tässä tapauksessa vaihteisto jää kokonaan pois, on tilalle keksittävä jotain vastaavaa, josta voidaan lukea luotettavasti nopeudet.

Nopeusmittareista on lisäksi todettu, että GPS-pohjaisia mittareita ei saa käyttää, joten ainoat vaihtoehdot jäävät optisiin antureihin, joissa pyörän nopeutta tunnustellaan optisen anturin avulla. Tällöin esimerkiksi jarrulevyssä on magneetti, joka antaa signaalin anturille, joka tunnistaa magneettikentän muutoksen, aina kun pyörä pyörähtää kerran ympäri. Ongelmat tällaisen mittarin kanssa tulevat anturin sijoituksella, mutta muutoin ne ovat helposti kalibroituavissa eri pyöräkoolle.

3.2 Tavoitteet

Tavoitteena on saada valmis konversio esille Jyväskylän moottoripyöränäyttelyyn 6.-7.4.2013. Tähän päivään mennessä ei ole kuitenkaan tarkoitus saada kilvitettyä ajoneuvoa, koska EMC-hyväksyntöjen hankkiminen vie oman aikansa.

Tavoitteena on lisäksi saada mönkijä kulkemaan suunnilleen samaa vauhtia kuin alkuperäinen polttomoottoriversiokin kulki, eli noin 80km/h. Tämä ei vaikuttaisi olevan mikään täysin mahdoton tavoite, kun tarkastellaan lähemmin laskelmia, jolla moottori on mitoittu.

Ajomatkatavoitteena on noin 50km, mutta todennäköisesti rauhallisessa kaupunkiajossa kilometrejä saattaa tulla myös hieman lisää jopa noin 70-80km kokonaismatkana. Matkatavoite jää hieman alkuperäisestä, sillä alkuperäisellä versiolla on päästy jopa vajaan 200 kilometriä yhdellä tankillisella. Mutta täysin sähkökäyttöiselle ajoneuvolle 50km on erittäin hyvä matka. Sillä suorittaa jo esimerkiksi päivittäiset työmatka-ajot.

Tarkoitus on myös selvittää mitä kaikkia vaatimuksia sähkökonversiolta vaaditaan, jotta ajoneuvo saataisiin tieliikenteeseen. Selviteltyäni vaatimukset, näyttää siltä että mönkijä on melko helposti saatavissa tieliikenteeseen.

4 KOMPONENTIT

4.1 Runko

Konversion runkona toimii 4-tahtinen Kymco MXU 250, joka on valmiiksi rekisteröity tieliikenteeseen. Ajoneuvossa on ollut vesijäähdytteinen 12,5kW polttomoottori, joka on tarkoitus irroittaa kokonaan rungosta.

Erikoisen moottorista tekee sen vetotapa. Kampiakselilta veto välitetään variaattorin avulla vaihteistolle, josta veto välittyy takapyörille ketjuvedolla. Tämä on melko painava ratkaisu, joten toisaalta siitä saadaan paljon painoa pudotettua akkuja ja sähkömoottoria varten.

Rungossa on lisäksi ollut sähkövinssi, joka otetaan pois, koska sille ei ole varsinaista tarvetta tieliikenteessä, lisäksi se kuluttaa sähköä erittäin paljon kun sitä käytetään. Tällä saa lisäksi pudotettua rungon painoa hieman.

4.2 Moottori

Sähkömoottoriksi on valittu Mars Electricin valmistama EMC-R Zero-X tasavirtamoottori. Jatkuvaa tehoa valmistaja lupaa moottorille noin 8 hv eli noin 6 kW. Maksimiteho moottorilla on 15hp eli noin 11,2 kW. Tämä vastaa hyvin lähelle alkuperäistä polttomoottoria.

Moottorin käyttämä jännite on melko alhainen eli 48 V, mutta toisaalta, kun tällaisella jännitteellä rakennetaan ajoneuvoa, ei tarvitse hankkia todistuksia sähköasennuksista luvan omaavilta sähköasentajilta. Raja on tasavirta käytössä 60V. 48 voltin jännitteellä sähkömoottori pyörii noin 3500 rpm eli 72 rpm voltia kohti. Painoa moottorilla on 12,7 kg. Eli verrattuna polttomoottoriin paino on moninkertaisesti pienempi.

Alla on kuva asennettavasta moottorista:



KUVA 5. Mars Electricin valmistama sähkömoottori (www.electricmotorsport.com)

Moottori on melko pienikokoinen, (halkaisija 201 mm), joten sen sijoittaminen on melko helppoa, ainoastaan kannattimen suunnittelu ja valmistus voivat tuottaa hieman ongelmia.

4.3 Ohjainlaite

Moottorin ohjainlaitteeksi projektille valitsin Alltraxin valmistaman AXE 4834 mallisen ohjaimen. Ohjainlaite hyödyntää PWM-tekniikkaa, koska tällöin sen hyötysuhde on erittäin hyvä. Ohjainlaitteelle luvataan virran kestoksi hetkellisesti 30 sekunniksi jopa 300 ampeerin virta. Tämä vastaa 48 V jännitteellä 14,4 kW tehoa.

Alla olevasta kuvasta näkyy ohjainlaitteen runko:



KUVA 6. Alltraxin valmistama tasavirtamoottorin ohjainlaite (www.electricmotorsport.com)

Ohjainlaite on täysin ohjelmoitavissa siinä olevan RS-232 sarjaportin kautta. Muutettavia parametrejä ovat muun muassa kaasun vaste, maksimi teho, moottorijarrun tehokkuus sekä peruutusvaihteen ohjelmoiminen.

4.4 Akusto

Akkuina projektissa toimii Sznajderin valmistamat 12 V 70Ah AGM akut. Massaa yhdellä akulla on noin 18kg, joten kokonaismassaksi neljälle akulle tulee 72 kg.

Seuraavassa kuvassa näkyy konversion voimanlähteet:



KUVA 7. Konversiossa käytettävät voimanlähteet (www.sznajder.eu)

Nämä akut päätyivät konversion voimanlähteeksi niiden helpon saatavuuden, toimivan takuun, luotettavan maineen sekä hyvän suorituskyvyn vuoksi. Akuston suorituskykyä käydään läpi myöhemmässä vaiheessa opinnäytetyössä.

4.5 Muut sähkökomponentit

Toimiva konversio tarvitsee pääkomponenttien lisäksi myös muita pienempiä sähkökomponentteja. Muun muassa seuraavat komponentit ovat välttämättömiä, jotta ajoneuvo toimii:

- Solenoidi
- Latausvastus
- Diodeja
- Sulakkeet
- Suuria virtoja kestävät virtapiuhat
- Kaasukahvapotentimetri

Solenoidin tehtävänä on toimia virtapiirissä katkaisijan tavoin. Tällöin ajoneuvoon saadaan kytkettyä virrat päälle ja pois tarvittaessa. Ilman solenoidia ajoneuvossa olisi käytännössä virrat kokoajan päällä. Lisäksi koska käytettävät virrat ovat suuria, ei virtapiuhoja voi kierrättää virtalukon kautta, koska tällöin pitkissä johdoissa syntyisi turhia häviöitä.

Solenoidin toiminta perustuu magneettikytkimeen, jossa sen kelalle johdetaan pienempi virta, tällöin kela magnetisoituu ja vetää solenoidin kärjet kiinni. Kun virta sammutetaan magneettikelalta, palautuu kärjet auki asentoon jousivoiman ansiosta.

Latausvastuksen tehtävänä on tasoittaa virtapiikkejä, joita syntyy kun solenoidin kärkiä avataan ja suljetaan. Latausvastus on käytännössä asennettu solenoidin kärkien rinnalle, jolloin sen kautta ohjainyksikössä oleva kondensaattori varautuu ja hävittää sähköenergian pikku hiljaa, tasoittaen näin virtapiikkejä.

Diodit toimivat sähköajoneuvossa osittain vikavirtasuojana. Ne estävät virran kulun väärään suuntaan. Toinen diodi on kytketty ennen virtalukkoa, jolloin virtalukon kautta kulkeva virta ei pääse väärään suuntaan kulkemaan, eli ohjainyksiköltä akustolle päin. Toinen diodi on kytketty solenoidin magneettikäämin väliin. Tällä tavoin saadaan purettua turvallisesti magneettikäämässä oleva virta, kun virrat sammutetaan ajoneuvosta.

Ajoneuvossa on lisäksi 48 V järjestelmässä kaksi sulaketta, jotka suojaavat ajoneuvon sähköjärjestelmää vikatilanteessa. Suurempi 250 A sulake on kytketty akuston ja ohjainyksikön väliin moottorille tulevia virtoja varten. Sulake suojaa sähkökomponentteja esimerkiksi siinä tilanteessa, jos sähkömoottorissa syntyy oikosulku. Toinen pienempi sulake (5 A) on kytketty solenoidin ohjauspiiriin virtalukolle.

Koska sähkömoottori vaatii erittäin suuria virtoja 48 V jännitteellä, jotta saavutettaisiin tarpeeksi suuria tehoja, on sähkökomponenttien välissä olevien piuhojen oltava tarpeeksi suuria, sekä lyhyitä, jotta niiden resistanssi on mahdollisimman pieni. Tällöin niissä syntyy mahdollisimman vähän häviötä. Mikäli johdot ovat mitoitettu liian pieniksi, ne palavat poikki, koska johdoissa syntyvä häviöt muuntuvat lähes kokonaan lämpöenergiaksi.

Alkuperäisessä polttomoottoriversiossa moottorin kierroksia ohjattiin kaasuttimella, jota ohjattiin vaijereiden avulla kaasukahvasta. Koska tällainen ratkaisu ei ole enää mahdollinen, täytyy moottoria ohjata jollain muulla tavoin. Järkevin ratkaisu tähän on kaasukahva, jossa on potentiometri sisällä. Tällöin kaasukahvan resistanssi muuttuu kun kahvaa käännetään. Näin saadaan tieto halutusta momentista ohjainyksikölle.

5 RAKENTAMINEN

Sähkökonversion rakentaminen alkoi aluksi oikeanlaisen rungon etsimisellä. Ainoaksi järkeväksi vaihtoehdoksi paljastui melko nopeasti valmiin tieliikennemönkijän runko. Siinä on tarvittava tila kaikille komponenteille, sekä valmius saada ajoneuvo tieliikenteeseen.

Kun alustan lähtökohta oli selvillä, alkoi sopivan aihion etsiminen. Mahdollisia aihioita löytyi Nettimoto.com:ista muutamia, mutta valittu Kymco oli niistä selkeästi paras. Se oli rungoltaan täysin ehjä, vain alkuperäinen moottori oli rikki. Lisäksi ajoneuvon kantavuus oli huomattavasti parempi verrattuna muihin verrokkeihin.

Kun runko oli hankittu, alkoi moottorin ja sen oheislaitteiden purkaminen siitä. Tämän jälkeen oli huomattavasti helpompi hahmotella mahdollisia paikkoja eri sähkökomponenteille. Seuraava vaihe olikin sähkökomponenttien mittoittaminen

5.1 Sähkömoottorin mitoittaminen

Sähkömoottorin mitoittaminen on käytännössä lähes samanlainen prosessi kuin minkä tahansa moottorin. Aluksi tarvitsee selvittää minkälaisia suoritusarvoja tarvitaan liikkuttamaan ajoneuvoa. Sekä minkälaisia tehoja tarvitaan, jotta tavoitearvot saavutettaisiin.

Moottorin mitoittamiseksi on tiedettävä minkälaisia vastuksia ajoneuvon on voitettava, jotta se liikkuu eteenpäin. Ajoneuvon liikettä vastustavia voimia ovat vierintävastus-, ilmanvastus- sekä mäenvastusvoima

Kun nämä kolme arvoa lasketaan yhteen, saadaan tarvittava kokonaisvoima, jotta ajoneuvo liikkuu tietyllä nopeudella.

5.1.1 Vierintävastus

Ajoneuvon vierintävastus kertoo sen kuinka paljon ajoneuvon renkaista syntyy liikettä vastustavaa voimaa. Vierintävastusvoima lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$F_r = m * g * f_r * \cos\alpha \quad (1.1)$$

jossa:

F_r = Vierintävastusvoima [N]

m = Ajoneuvon massa [kg]

g = Gravitaatiovakio [9,81 m/s²]

f_r = Vierintävastuskerroin

$\cos\alpha$ = Mäen nousukulma [°]

Lisäksi voidaan olettaa, että vierintävastuskerroin kasvaa lineaarisesti nopeuden kasvaessa kaavalla:

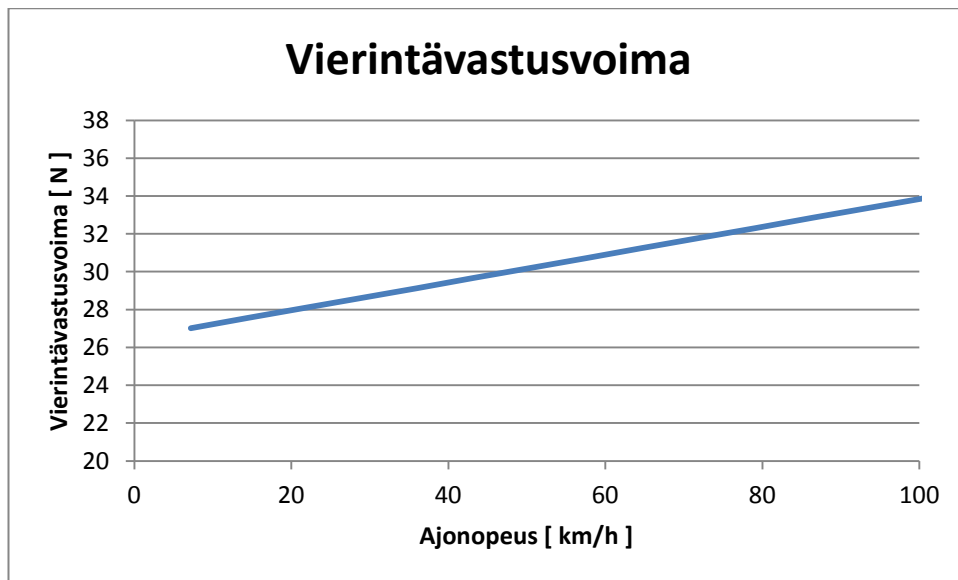
$$f_r = 0,01 * (1 + \frac{v}{100}) \quad (1.2)$$

jossa:

v = Ajoneuvon nopeus [m/s]

Sijoittamalla kaava 1.2 kaavaan 1.1 saadaan yhtälö, jossa muuttujina on ainoastaan ajoneuvon massa sekä ajonopeus. Koska ajoneuvon massa ei muutu ajoneuvon liikkuesssa ainoaksi muuttuvaksi tekijäksi jää ajonopeus. Lisäksi jos oletetaan mitoittamisperusteeksi tasainen alusta, ei mäennousuvastusta tarvitse huomioida.

Ajoneuvon massaksi on mitoittamista varten arvioitu 270 kg. Seuraava kuvio on saatu kun kyseinen massa on sijoitettu edellisiin kaavoihin eri ajonopeuksilla:



KUVIO 1. Vierintävastusvoima

Yllä olevasta kuvaajasta on havaittavissa, että vierintävastuksen voittamiseen tarvittava voima ei vaihtele paljoa eri nopeuksilla (vain 27 N-34 N välillä). Lisäksi tarvittava voima on melko vähäinen.

5.1.2 Ilmanvastus

Ajoneuvoilla suurin liikettä vastustava voima on yleensä ilmanvastus. Tästä syystä ajoneuvojen ilmanvastuskertoimiin ja otsapinta-aloihin on alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Tällä tavoin saadaan helposti pudotettua polttoaineen kulutusta. Sillä ilmanvastusvoima kasvaa nopeuden neliössä. Eli kun nopeus kaksinkertaistuu, ilmanvastusvoima nelinkertaistuu. Tästä syystä ajettaessa suurilla ajonopeuksilla, pienikin ajonopeuden muutos lisää ilmanvastusvoimaa huomattavasti.

Ilmanvastusvoima lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$F_{\omega} = \frac{1}{2} * \rho * A_f * C_d * (v + v_{\omega})^2 \quad (2.1)$$

jossa:

$$F_{\omega} = \text{Ilmanvastusvoima [N]}$$

$$\rho = \text{Ilman tiheys [kg/m}^3 \text{]}$$

$$A_f = \text{Otsapinta-ala [m}^2 \text{]}$$

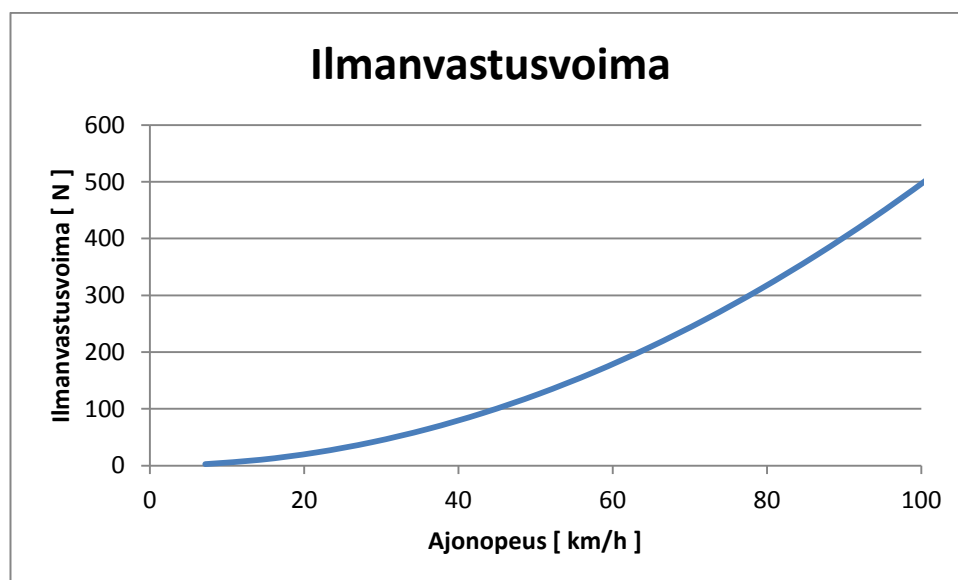
$$C_d = \text{Ilmanvastuskerroin}$$

$$v = \text{Ajonopeus [m/s]}$$

$$v_w = \text{Ilmanvastainen nopeus [m/s]}$$

Ajoneuvolle on annettu otsapinta-ala arvoksi $1,5 \text{ m}^2$ sekä ilmanvastuskertoimeksi 0,7. Mitoitustarkoituksessa voidaan olettaa, että ilmanvastainen nopeus on 0, eli mitoitus tehdään täysin tyynelle kelille. Lisäksi ilman tiheydeksi on oletettu $1,225 \text{ kg/m}^3$, tämä arvo vaihtelee hieman ilman eri lämpötiloilla. Sillä ei kuitenkaan ole juuri käytännön merkitystä tässä laskutoimituksessa.

Kun annetut arvot on sijoitettu kaavaan 2.1, saadaan tulokseksi seuraavanlainen kuvio:



KUVIO 2. Ilmanvastusvoima

Kuvio 2:sta on nähtävissä, että ilmanvastusvoima on huomattavasti suurempi verrattuna aikasemmassa kuviossa 1 olevaan vierintävastusvoimaan. Lisäksi ilmanvastusvoima kasvaa eksponentiaalisesti nopeuden kasvaessa.

5.1.3 Mäenvastusvoima

Moottorin mitoittamista varten ei tässä tapauksessa ole otettu huomioon mäenvastusvoimaa, vaan tilanne on ajateltu optimitilannetta varten. Tarkasteluun on kuitenkin esitetty tilanne, jossa on laskettu minkälaisen mäen ajoneuvolla voi nousta, joten kaava, jolla mäenvastusvoima saadaan laskettua on esitelty alla.

$$F_g = m * g * \sin\alpha \quad (3.1)$$

jossa:

$$F_g = \text{Mäenvastusvoima [N]}$$

$$m = \text{Ajoneuvon massa [kg]}$$

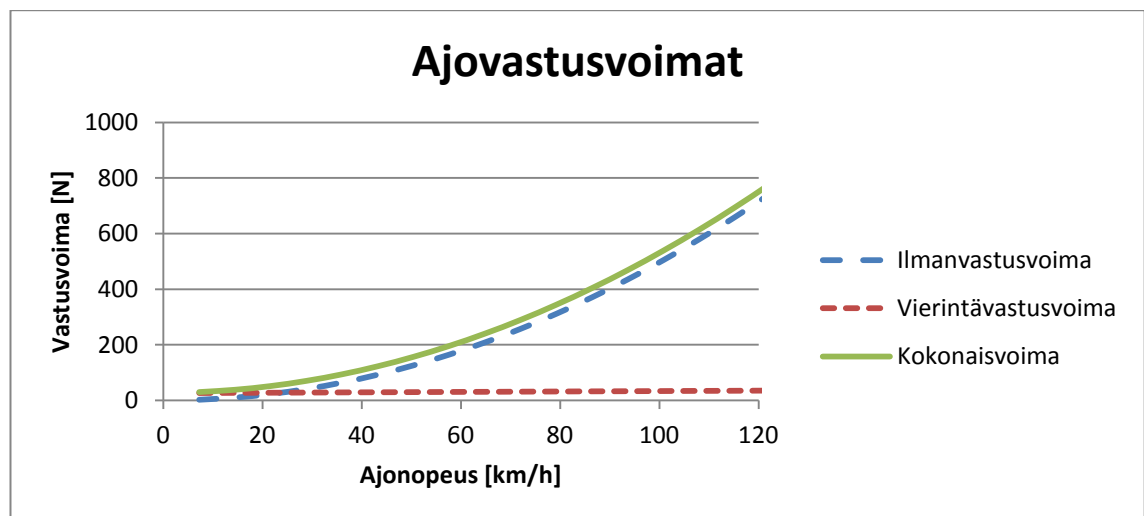
$$g = \text{Gravitaatiovakio [9,81 m/s}^2 \text{]}$$

$$\sin\alpha = \text{Mäennousukulma [}^\circ \text{]}$$

Esimerkkitilanne on laskettu 50 km/h nopeudelle, joka vastaa kaupunkiajotilannetta. Tällöin lähtöoletuksena voidaan katsoa kuviosta 4, että ajoneuvo tarvitsee noin 2 kW tehon, jotta se liikkuu. Tällöin mikäli sähkömoottori tuottaa 11,2 kW tehon, jää mäenvastuksen voittamiseen noin 9,2 kW teho. Tämä vastaa 50 km/h nopeudella (kaava 4.1) 662,4 N voimaa. Tällöin kaavan 3.1 mukaan saadaan laskettua teoreettinen mäennousukulma, kun ratkaistaan yhtälöstä $\sin\alpha$. Teoreettisena mäennousukulmana ajoneuvolla on $14,5^\circ$. Mäennousukykyyn vaikuttaa kuitenkin myös valittu välityssuhde, joten käytännössä ajoneuvo pystyy nousemaan myös huomattavasti jyrkempiä mäkiä.

5.1.4 Kokonaisvastusvoima

Ajoneuvon liikettä vastustava kokonaisvoima saadaan laskettua kun lasketaan edellä olleet vastusvoimat yhteen. Näistä arvoista on piirretty seuraava kuvio:



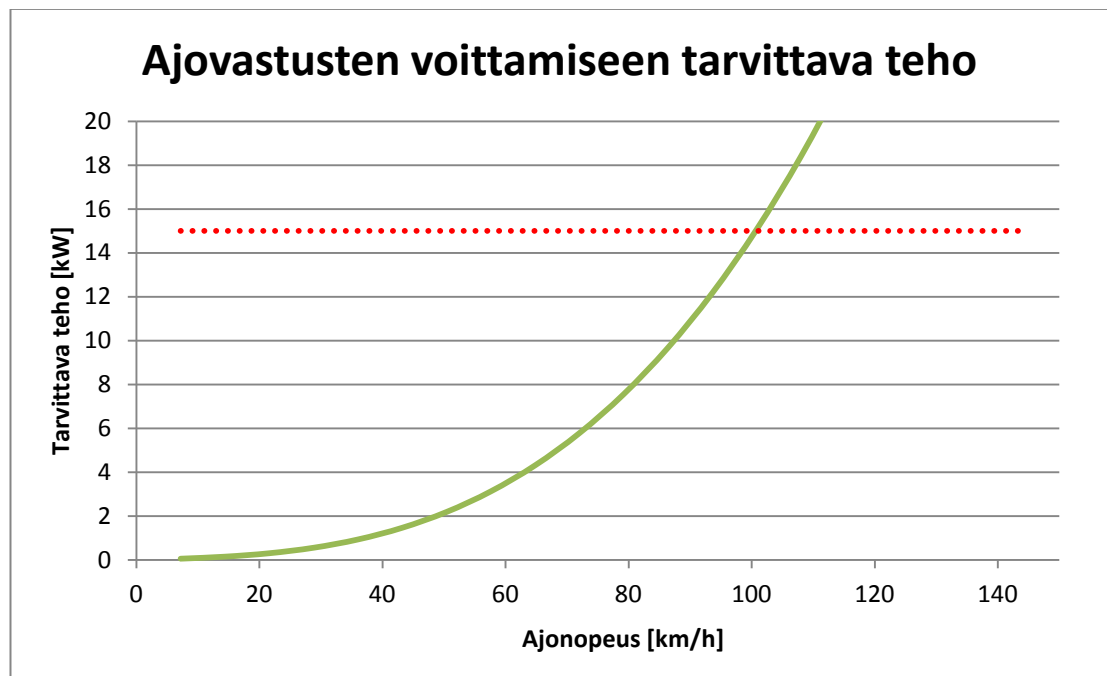
KUVIO 3. Ajovastusvoimat

Kuviosta 3 on nähtävillä, että ilmanvastusvoima nousee nopeasti suuremmaksi kuin vierintävastusvoima. Sekä lisäksi se, että ilmanvastuksen voittamiseen kuluu huomattavasti enemmän voimaa kuin vierintävastuksen normaaleilla ajonopeuksilla.

Kokonaisvoimasta on mahdollista laskea ajoneuvon liikuttamiseen tarvittava teho seuraavalla kaavalla:

$$P = F_k * v \quad (4.1)$$

Kyseyseen kaavaan sijoittamalla eri ajonopeuksia saadaan seuraavanlainen kuvio, jossa teho kasvaa kolmannessa potensissa nopeuteen nähden:



KUVIO 4. Kokonaisteho

Kuviossa on merkattu punaisella pisteviivalla tieliikennemönkijöiden 15 kW raja. Tällä teholla mönkijällä pitäisi päästä noin 100 km/h. Kuten kuviosta huomata saattaa, nousee teho erittäin jyrkästi mitä suurempi ajonopeus on.

Kuvaavampi kuvio moottorin mitoittamiselle on tarvittavan momentin kuvio. Kuviosta on helppo tehdä johtopäätöksiä muun muassa välitysten suhteen. Momentin tarpeeseen renkaalla vaikuttaa myös rengaskoko, joka tässä tapauksessa oli ulkohalkaisijaltaan 22'

eli noin 0,55 m, mikäli ajatellaan dynaamista vierintäsädettä. Seuraava kaava selventää momentin ja tehon välistä yhteyttä:

$$M = \frac{9550 \cdot P_k}{rpm} \quad (5.1)$$

jossa:

$$M = \text{Momentti [Nm]}$$

$$rpm = \text{Kierrosnopeus [1/min]}$$

$$P_k = \text{Kokonaisteho [kW]}$$

Kierrosnopeudeksi kaavaan on ensin selvitettävä minkälaisia pyörintänopeuksia rengas pyörii milläkin ajonopeudella. Se tapahtuu seuraavalla kaavalla:

$$rpm = \frac{v}{d \cdot \pi} * 60 \quad (5.2)$$

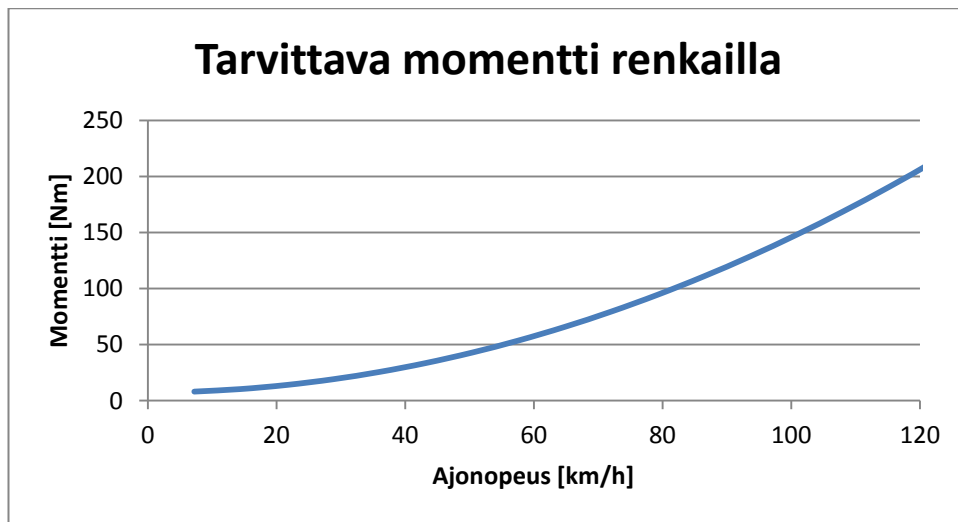
jossa:

$$v = \text{Ajonopeus [m/s]}$$

$$d = \text{Pyörän halkaisija [m]}$$

$$rpm = \text{Kierrosnopeus [1/min]}$$

Kun kaava 5.2 sijoitetaan kaavaan 5.1 eri ajonopeuksille saadaan laskettua tarvittava momentti renkailla, jotta ajovastusvoimat voitettaisiin. Tuloksista on piirretty seuraava kuvio:

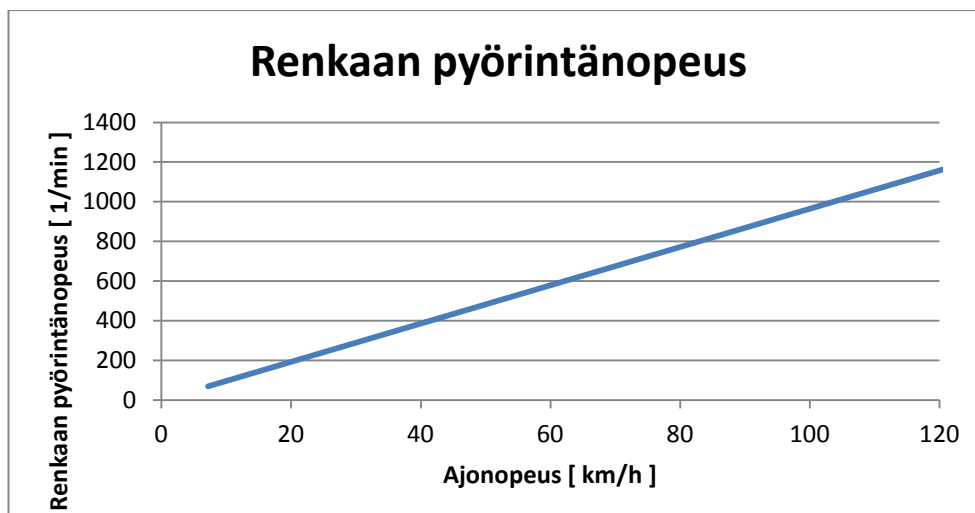


KUVIO 7. Momentin tarve renkailla

Tavoitenopeudessa 80 km/h tarvittavan momentin suuruus on noin 100 Nm. Valittu Mars Electricin moottori pystyy tuottamaan maksimissaan noin 30 Nm väännön lyhytaikaisesti, sekä jatkuvan momentin tuotto on noin 16,5 Nm. Sopivalla välityksellä 100 Nm tuottaminen ei ole siis mitenkään mahdotonta.

5.2 Välityssuhteen valinta

Sopivalla välityssuhteella on mahdollista saada tuotettua tarpeeksi momenttia renkailla, jotta tavoitenopeus 80 km/h täyttyy. Rajoittavana tekijänä välityssuhteen valinnassa on kuitenkin moottorin maksimikiertoaika, joka on 3500 rpm. Lisäksi rattaiden ja ketjujen olisi vielä oltava sellaisia, että ne on mahdollista asentaa ajoneuvoon. Kaavasta 5.2 on piirretty seuraava kuvio, helpottamaan välityssuhteiden valintaa:



KUVIO 8. Renkaan pyörintänopeus

Renkaan pyörintänopeus 80 km/h nopeudessa on noin 760 1/min. Tästä voidaan tehdä karkea lähtökohta valittavalle välityssuhteelle, mikäli ajatellaan että ajoneuvo kulkisi 80 km/h moottorin pyöriessä maksiminopeudellaan eli 3500 1/min. Tällöin välityssuhteeksi tulisi:

$$\text{Välityssuhde} = \frac{3500}{760} = 4,605$$

Tämä tarkoittaisi käytännössä sitä, että vetävän rattaan olisi oltava 4,6 kertaa pienempi kuin vedettävän.

Välityssuhteen valinnassa on vielä huomioitava täyttykö momenttiehto kyseisellä välityssuhteella. Mikäli valittu välityssuhde olisi 4,605 olisi jatkuvan tuoton momentti 75,98 Nm ja maksimi vääntömomentti 138,15Nm. Tällöin tarvittava 100Nm momentti saavutettaisiin.

Kuitenkin tarvittavien rattaiden löytäminen on melko hankalaa, varsinkin alkuperäiselle ketjukoolle 520. Tästä syystä ketjukokoa joutui pienentämään kokoon 428. Tällöin löytyi 12 hampainen eturatas, sekä 49 hampainen takaratas. Takaratas kävi lähes suoraan alkuperäisen rattaan paikalle, mutta eturattaaseen joutui sorvaamaan holkin, jotta se sopisi sähkömoottorin akselille. Kyseisellä hammastuksella välityssuhteeksi tuli 4,0833. Ensimmäisten kokeilujen jälkeen ne osoittautuivat kuitenkin hieman liian raskaiksi ajettaessa jyrkkään ylämäkeen. Tästä syystä takaratas jouduttiin vaihtamaan 57 hampaiseksi. Tällöin välityssuhteeksi tulee 4,75. Takaratasta joutui kuitenkin hieman muokkaamaan, jotta se sopi alkuperäisen rattaan kiinnityksiin.

Valittu välityssuhde 4,75 vaikutti erittäin sopivalta ajatellen mönkijän kulkua. Teoreettiseksi maksiminopeudeksi tällä välityssuhteella tulee noin 75 km/h, tämä on riittävän lähellä tavoiteltua ajonopeutta. Vääntömomentiksi renkaalle tulee 78,375 Nm jatkuvaa tuottoa ja maksimituotoksi 142,5 Nm.

5.3 Akuston mitoitus

Koska valittu moottori toimii 48 V tasajännitteellä, on akuston mitoittamisen lähtökohdaksi otettava 48 V kokonaisjännite. Mahdollisia vaihtoehtoja on ostaa valmis litiumakusto tai vastaava, tai ostaa 4 lyijyakkua ja kytkeä ne sarjaan. Koska sarjaan kytkettäessä akustojen kokonaissisäresistanssi kasvaa nelinkertaiseksi, olisi järkevää lisätä akkujen rinnalle toinen 4 kappaleen akkupaketti, jolloin akuston kapasiteetti kaksinkertaistuisi, sekä sisäresistanssi puolittuisi.

Akkujen sisäinen resistanssi on erittäin merkittävässä asemassa valittaessa akustoa ajoneuvoon, koska tarvittavat virrat ovat hyvin suuria. Tästä syystä myös tehohäviöt kasvavat nopeasti moninkertaisiksi. Tämä ilmiö on havaittavissa seuraavasta sähkötehon kaavasta:

$$P = R * I^2 \quad (6.1)$$

jossa:

$$P = \text{Teho [W]}$$

$$R = \text{Resistanssi [} \Omega \text{]}$$

$$I = \text{Virta [A]}$$

Kaavasta 6.1 on havaittavissa, että teho kasvaa virran neliössä, eli kun virta kaksinkertaistuu, teho nelinkertaistuu. Tästä syystä akkujen pienetkin erot sisäresistanssissa ovat ratkaisevia tehohäviöiden kannalta.

Ajoneuvo on suunniteltu käytettäväksi pääasiassa kaupungissa liikkumiseen, joten tavallisin ajettava nopeus on noin 50 km/h. Tähän nopeuteen ajoneuvo tarvitsee noin 2,1 kW tehoa. Tämän tehon tuottamiseen kuluu virtaa 48 V jännitteellä 43,75 A. Tähän on kuitenkin otettava huomioon myös akuston sisäiset häviöt, sekä moottorin ja ohjainlaitteen että myös johtojen häviöt. Karkeasti voidaan tehdä oletus, jossa hyötysuhteeksi otetaan 80 %, tällöin tarvittava virta kasvaa 54,7A. Tämä saadaan laskettua kaavalla:

$$\frac{43,75A}{80\%} = 54,7A$$

Tämän perusteella voidaan ruveta hahmottamaan akuston kapasiteettia.

Valituksi kapasiteetiksi tuli 70 Ah, tämän pitäisi riittää helposti reilun tunnin mittaiseen ajomatkaan kaupunkiajossa. Kilometreissä tämä vastaa noin 65 kilometriä. Tällöin tavoiteajomatka täyttyisi. Lisäksi sen pitäisi riittää helposti täyttämään esimerkiksi normaalin työmatka-ajon päivittäin.

Näiden tietojen perusteella alkoi akkupaketin etsiminen ja valituksi akustoksi tuli 4 kpl:ta Sznajderin AGM-akkuja, joiden kapasiteetti on 70 Ah. Kylmäkäynnistysvirraksi valmistaja lupaa peräti 640A. Painoa yhdellä akulla on noin 18 kg, joten paketin painoksi tulee 72 kg. Lisäksi sisäresistanssimittauksissa akustojen sisäresistanssiksi tuli alle 10 mΩ. Tämä arvo kuitenkin nelinkertaistuu, koska akut on kytkettävä sarjaan oikean jännitteen saavuttamiseksi. Seuraava taulukko kertoo akkupaketin suorituskyvystä:

TAULUKKO 2. Akuston suorituskyky

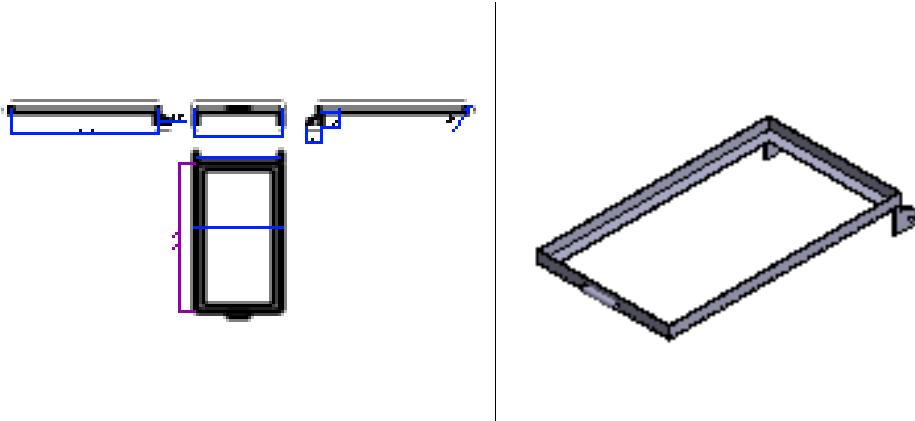
Virta [A]	Kokonaissisäresistanssi [Ω]	Kokonaistehohäviö [kW]	Anto teho [kW]	Hyötysuhde
10	0,04	0,004	0,476	0,99
20	0,04	0,016	0,944	0,98
30	0,04	0,036	1,404	0,98
40	0,04	0,064	1,856	0,97
50	0,04	0,1	2,3	0,96
60	0,04	0,144	2,736	0,95
70	0,04	0,196	3,164	0,94
80	0,04	0,256	3,584	0,93
90	0,04	0,324	3,996	0,93
100	0,04	0,4	4,4	0,92
110	0,04	0,484	4,796	0,91
120	0,04	0,576	5,184	0,90
130	0,04	0,676	5,564	0,89
140	0,04	0,784	5,936	0,88
150	0,04	0,9	6,3	0,88
160	0,04	1,024	6,656	0,87
170	0,04	1,156	7,004	0,86
180	0,04	1,296	7,344	0,85
190	0,04	1,444	7,676	0,84
200	0,04	1,6	8	0,83

Ajettaessa kaupunkinopeutta 50 km/h, akustolta tarvittava virta on noin 50 A, tällöin akkujen hyötysuhteeksi tulee 0,96. Tämä tarkoittaa sitä että tehosta jää noin 100 W

hukkaan. Koska tehohäviö muuttuu lähes kokonaan lämpöenergiaksi, tarvitsee akkujen jäähdytys olla riittävä. Tämän vuoksi ne on sijoitettava niin, että jäähdytysilma pääsee vapaasti kulkemaan akkujen vierestä. Mikäli näyttää siltä, että akut muodostavat liikaa lämpöä, on niille kehitettävä erillinen jäähdytysjärjestelmä. Yksinkertaisin tapa toteuttaa se, on lisätä jäähdytysrivoitus akuille. Tällöin jäähdyttävä pinta-ala moninkertaistuu ja jäähdytys tehostuu. Vaikeampi ja kalliimpi ratkaisu olisi nestejäähdytys, mutta se tuo mukanaan niin paljon ongelmia, että sitä ei kannata edes harkita tähän projektiin.

5.4 Akkutelineen rakentaminen

Koska alkuperäisessä rungossa ei ole paikkaa sijoittaa 4:ää isoa auton akkua, joutuu niille rakentamaan oman telineen. Järkevin paikka akuille osoittautui olevan alkuperäisen moottorin paikalle. Siihen sai sijoitettua akut niin, että akut ovat kahdessa kerroksessa. Kaksi akkua rungon päällä ja kaksi telineessä. Alla olevasta kuvasta näkyy piirrustukset akkutelineelle:



KUVA 8. Akkutelineen piirrustukset

Akkuteline on valmistettu 25mm kulmaraudasta hitsaamalla. Lisäksi siinä on kiinnityspaikat alkuperäiseen runkoon. Näin alkuperäistä runkoa ei tarvitse hitsata tai muokata, sillä akkuteline käy suoraan pulteilla runkoon. Seuraavissa kuvassa näkyy akkuteline valmiina maalattuna sekä kiinnitettynä runkoon:



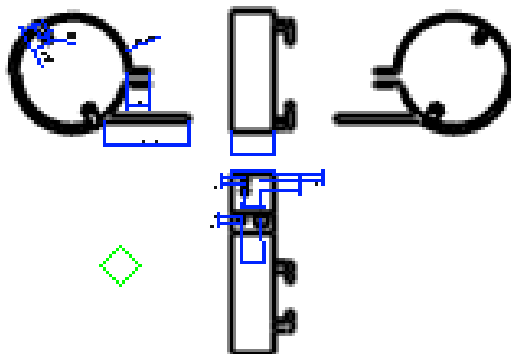
KUVA 9. Valmis akkuteline



KUVA 10. Akkuteline ja akut kiinni rungossa

5.5 Moottoriteline

Koska sähkömoottori on melko pienikokoinen, antoi se useita mahdollisuuksia sen sijoittamiselle ajoneuvoon. Parhaaksi ratkaisuksi osoittautui kuitenkin sijoittaa se entisen vetokoukun tilalle taka-akselin päälle. Hyvänä puolena tässä on sen suhteellisen helppo toteutus, sekä se, että ketjun pituus ei muutu vaikka takapäässä joustoa tapahtuisikin. Huonona puolena on se, että se lisää jousittamatonta massaa taka-akselille. Täytyy kuitenkin huomioda, että mönkijässä on jäykkä taka-akseli, joten vaikka jousittamaton massa hieman lisääntyikin, ei se vaikuta merkittävästi ohjattavuuteen. Seuraavasta kuvioista selviää moottoritelineen rakenne:



KUVA 11. Moottoriteline

Kuvassa näkyy moottoritelineen piirustukset. Keskellä kuvaa on kuvattu moottoriteline takaapäin. Siinä näkyvät korvakkeet, joihin moottori kiinnitetään pulteilla. Kuvan vieressä on sivukuvat telineestä. Näistä näkyy telineen pyöreä muoto, sekä sen pantamainen pulttikiristyssystemi. Sivukuvassa näkyy lisäksi rauta, jolla teline kiinnittyy alkuperäisen peräkoukun tilalle pulteilla. Alimpana kuvassa on kuvattu moottoriteline ylhäältä päin.

Moottoritelineen valmistus tapahtui muotoilemalla metallista aluksi ympyrä, jonka sisälle moottori mahtuu. Tämän jälkeen siihen hitsattiin kiristyspannan tavoin ulokkeet, jotta panta saataisiin kiristettyä kireälle moottorin ympärille. Pantaan lisättiin lisäksi kaksi korvaketta, josta moottorin sai pultilla kiinni. Tämä estää moottoria pyörähtämästä akselinsa ympäri, kun siitä syntyy pyörittäviä momenteja. Lisäksi pantaan lisättiin vielä kiinnitys rauta, josta sen sai pulteilla kiinni runkoon, entisen vetokoukun tilalle. Seuraavassa kuvassa moottori on kiinnitetty telineeseen ja teline on paikallaan rungossa:



KUVA 12. Moottoriteline valmiina

5.6 Ohjainlaiteteline

Lopulta tarvitsi vielä löytää paikat loppuille sähkökomponenteille. Ne oli mielestäni järkevintä sijoittaa yhdelle levyille, josta ne on mahdollista poistaa helposti, mikäli tarve

vaatii. Levyyn täytyi kiinnittää ohjainlaite, solenoidi, sekä isompi sulake. Seuraavassa kuvassa näkyvät laitteet kiinnitettynä telineeseen:



KUVA 13. Ohjainlaiteteline

Teline täytyi vielä suunnitella niin, että sen sai sijoitettua entisen ilmanputsarikotelon tilalle. Näin säästettiin paljon tilaa, sekä saatiin virtajohtojen pituuksia lyhennettyä huomattavasti. Lisäksi ohjainlaitteen ohjelmointiin käytettävä sarjaportti jäi hyvin esille, kuten seuraavasta kuvasta on mahdollista huomata:

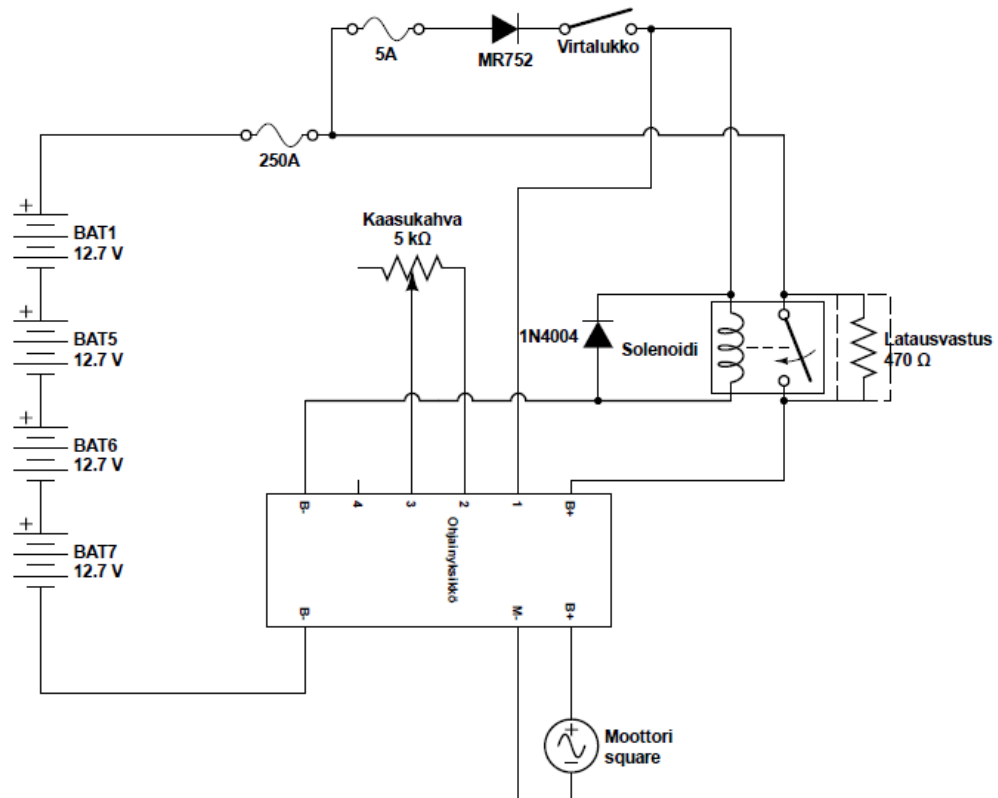


KUVA 14. Ohjainlaitteen kiinnityspiste

5.7 Komponenttien kytkentä

Komponenttien kytkemistä varten, täytyi aluksi suunnitella kytkentäkaavio, millä tavoin komponentit yhdistetään toisiinsa. Lisäksi diodeja juottaessa kytkentään, täytyy muistaa

olla lämmittämättä niitä liikaa. Loistava keino on laittaa jokin metalliesine diodin jalkaan kiinni, jonne ylimääräinen lämpö johdetaan kolvattaessa. Seuraavassa kuvassa näkyy suunniteltu kytkentäkaavio:



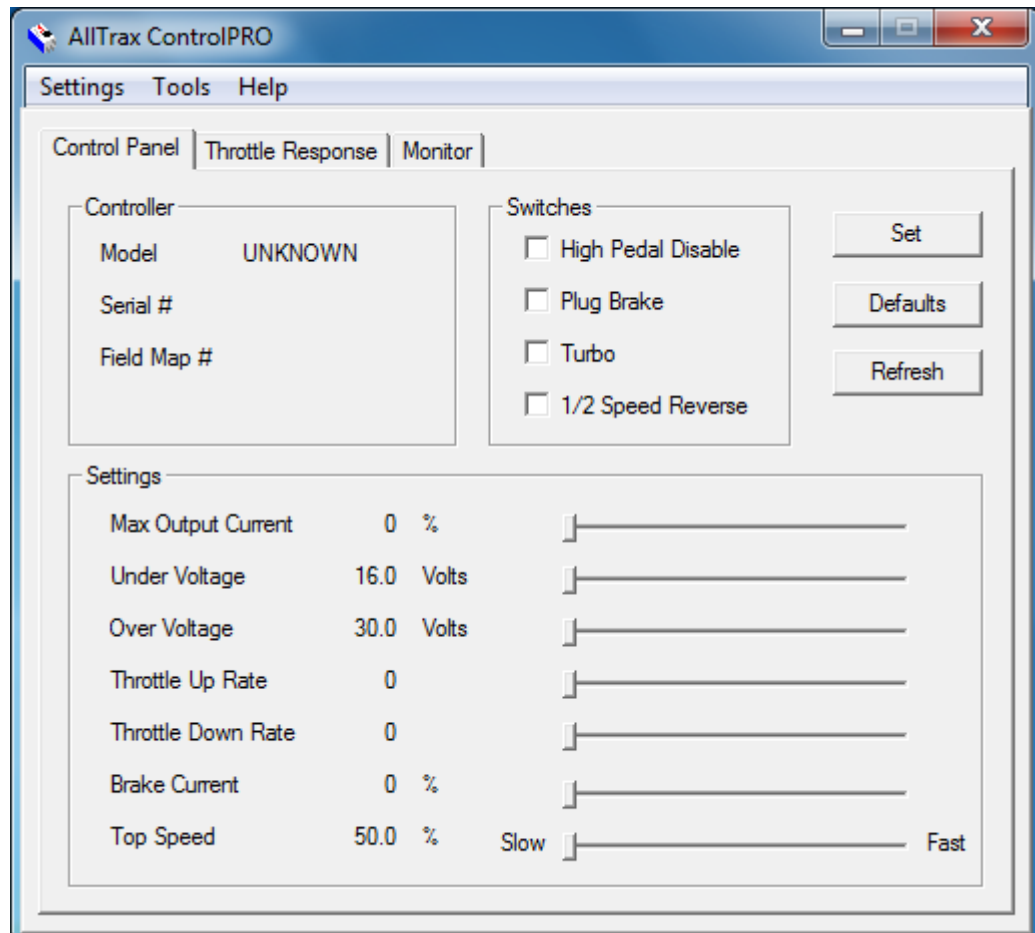
KUVA 15. Kytkentäkaavio

Komponenttien kytkeminen on melko yksinkertaista, koska niiden määrä on niin vähäinen. Ainoat ongelmat tulevat osien sijoittelusta sekä johdotuksien vetämisestä. Kytkentäkaaviosta on havaittavissa, että ohjainyksikön yksi pinni jää käyttämättä. Tätä voi tulevaisuudessa käyttää peruutusvaihteen tekemiseen. Ajoneuvolain mukaan kuitenkin peruutusvaihte ei ole pakollinen L7e ajoneuvoissa, joten se jääkööt pois näin aluksi.

5.8 Ohjainlaitteen ohjelmointi

Kun komponentit oli saatu kytkettyä ja ensimmäiset testiajot suoritettua, täytyi vielä ohjainlaitetta hienosäätää ohjelmoimalla. Muun muassa tehoja täytyi hieman rajoittaa, jotta välttyttäisiin tilanteelta, jossa akut ylikuumentuisivat liian kuormituksen vuoksi. Lisäksi kaasuun vastaavuutta hieman muutin progressiivisemmaksi, jolloin kaasuun

vastaavuus on pientä pienillä kääntökulmilla, kun taas suurta isoilla kahvan kääntökulmilla. Alla olevasta kuvasta näkyy ohjelmointiohjelman päänäyttö:



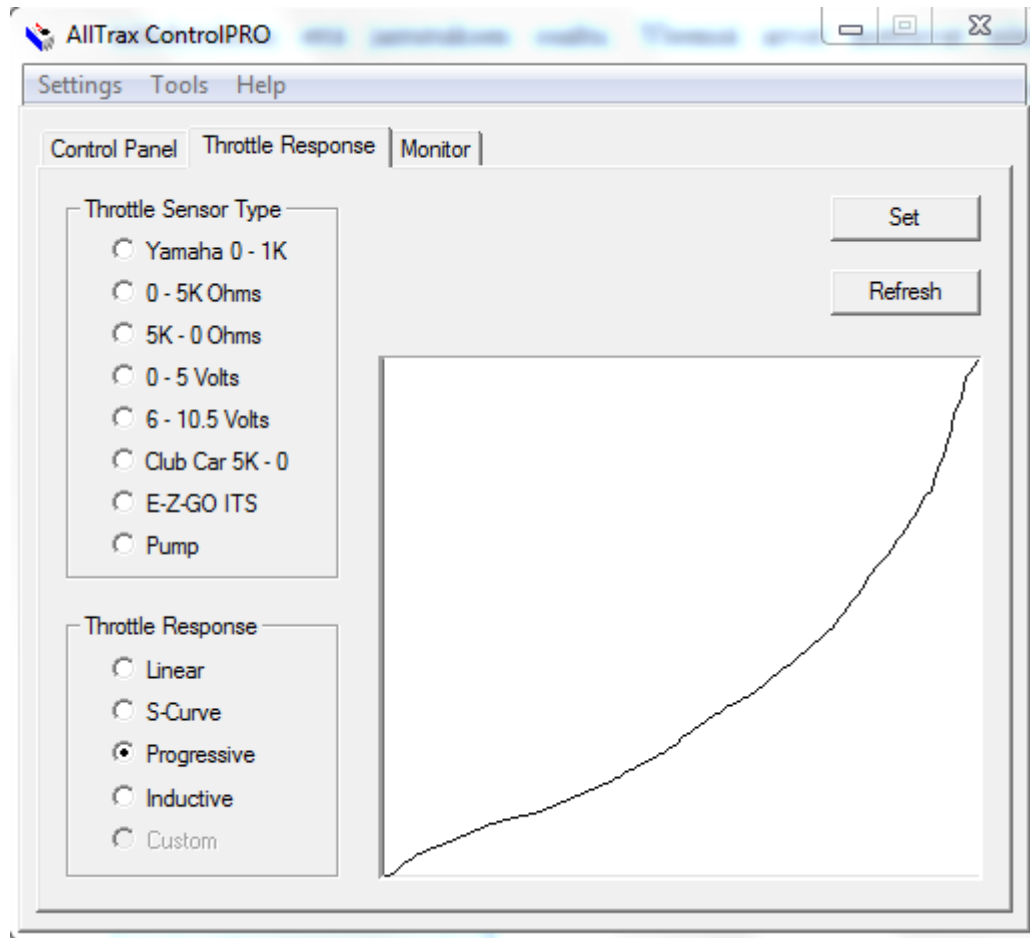
KUVA 16. Ohjelmointiohjelman päänäyttö

Ohjelman käyttäminen on hyvin yksinkertaista ja johdonmukaista, kuten kuvasta selviää. Lisäksi se sisältää monipuolisesti eri säätöparametreja.

Tehon rajoitus tapahtuu suoraan virran määrää rajoittamalla. Kaavalla $P=U \cdot I$ voidaan helposti selvittää teoreettinen teho, mikä saadaan kun virtaa rajoitetaan. Lisäksi ohjelmassa on myös jännitevahti, joka seuraa akuston jännitettä ja sulkee tarvittaessa itsensä, mikäli se havaitsee joko ylijännitettä tai alijännitettä.

Sähkömoottorin nopeutta seurata kaasun liikettä pystyy myös muokkaamaan sekä kiihdytyksen että jarrutuksen osalta. Yleensä arvot asettuvat niin, että moottori kiihdyttää nopeammin kierroksia kuin laskee niitä. Tällä vältetään terävät moottorijarrutukset.

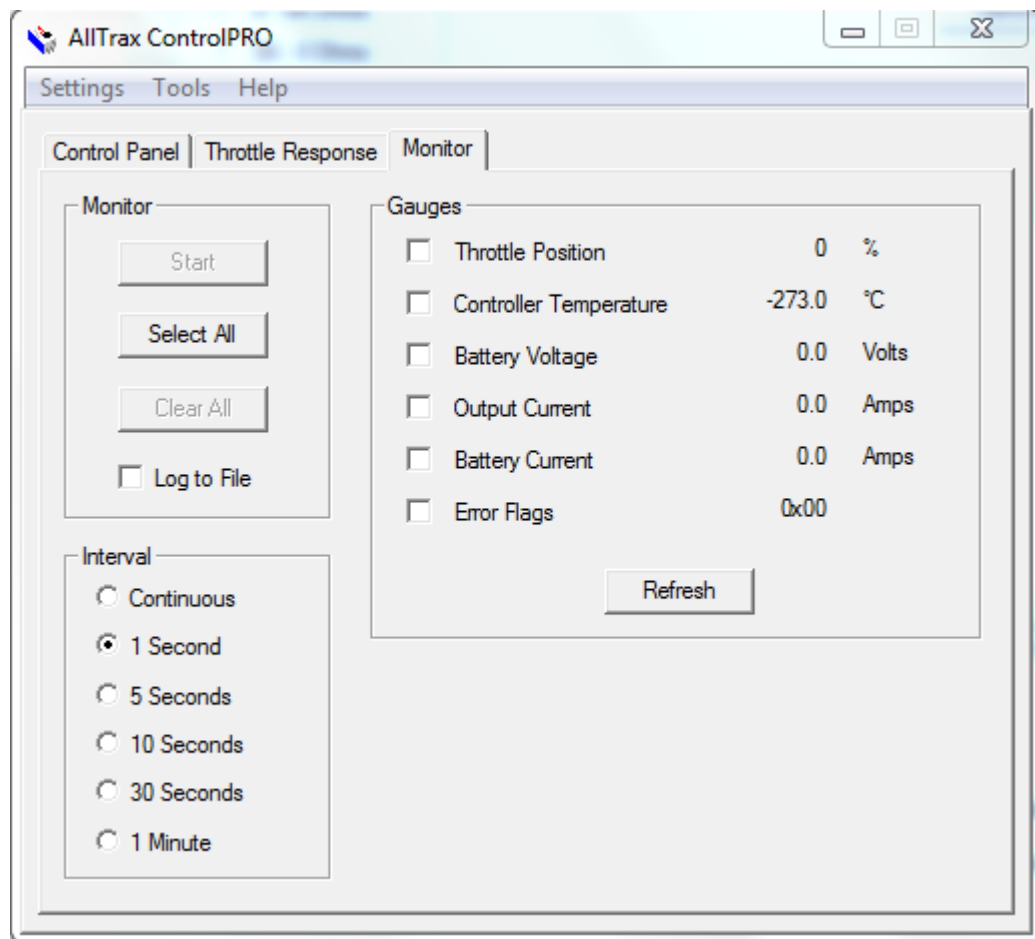
Toisella sivulla ohjelmasta pystyy vaikuttamaan kaasun käyttäytymiseen, sekä käytettävän anturin valintaan.



KUVA 17. Ohjelman toinen sivu

Kuvassa näkyy progressiivisen kaasun käyrä, josta käy ilmi kuinka ajoneuvon kaasukahva käyttäytyy. Käytettävänä anturina toimii potentiometri, jonka vastusarvot muuttuivat 0-5 k Ω välillä.

Viimeisellä sivulla oli mahdollista vaikuttaa datatietojen keräykseen. Laite kerää ajonaikaista dataa, sen mukaan mitä käyttäjä on valinnut sen keräämään. Valittavina parametreina kaasun asento, ohjainlaitteen lämpötila, akkujännite, ulos lähtevä virta, sisään tuleva virta sekä mahdolliset vikakoodit.



KUVVA 18. Ohjelman viimeinen sivu

6 LOPPUTULOS

Valmis mönkijä lähti liikkumaan ensimmäisellä yrittämällä, joten kytkennät menivät oikein kerralla. Lisäksi rattaiden linjaukset osuivat kohdilleen, koska ketju ei pidä mitään ylimääräistä ääntä ja pysyy hyvin rattailla. Ajoneuvo toimii johdonmukaisesti ja seuraa kaasukahvan liikkeitä, lisäksi latauslaitteet lataavat akkuja moitteetta. Työn toteutuskin pysyi suunnitellussa aikataulussa ja valmistui ennen Jyväskylän MP-näyttelyä. Alla on kuva valmistaa laitteesta Jyväskylän MP-näyttelystä.



KUVA 19. Valmis mönkijä Jyväskylän MP-Näyttelyssä

Osakseen se sai ihmettelyä ja hämmästelyä laitteen toiminnasta ynnä muista käytännön asioista. Lisäksi mönkijän kilvitysprosessi tuntui kiinnostavan monia. Mitä kaikkia vaatimuksia asetetaan, jotta kilvitys olisi mahdollinen. Monet tuntuivat yllättyvän, kun kerroin, että vaatimukset eivät ole edes kovin hankalat saavuttaa.

Osaltaan kertoo kuinka harvinaisia sähkökäyttöiset laitteet ovat, koska moni ei tuntunut käsittävän, miten on mahdollista, että tämä ajoneuvo liikkuu, vaikka siinä ei ole ”moottoria”.

Ensimmäiset varsinaiset testimittaukset joutuvat odottamaan ajoneuvon kilvittämistä. Tällöin pystytään todella selvittämään minkälaisiin suorituskykyihin mönkijä kykenee.

Alustavassa testissä kuitenkin osottautui, että tavoitenopeus täyttyi. Ajettaessa tasaisella asvaltitiellä saatiin huippunopeudeksi n. 80km/h nopeus perässä ajavan auton mittarilla mitattuna.

Ajoneuvon hyötysuhteeksi sähkökomponenttien osalta täyttyi arvioitu 80 % raja. Ohjainyksikön jännitehäviö 100 A virralla on noin 0,3 V luokkaa. Tämä tarkoittaa hyötysuhteena 99%:a. Akuston hyötysuhteeksi 100 A:lle tuli noin 92%:a. Loput akulta lähtevästä energiasta muuttuu lämmöksi. Lisäksi johdotuksien häviöt voidaan laskea seuraavalla kaavalla sen resistanssin avulla:

$$R = \left(res * \frac{l}{A} \right) * (1 + ltk * (t - 20)) \quad (7.1)$$

jossa:

$R =$ Johtimen resistanssi (Ω)

$res =$ Johtimen resistiivisyys (kupari 0,0175)

$l =$ Johtimen pituus (m)

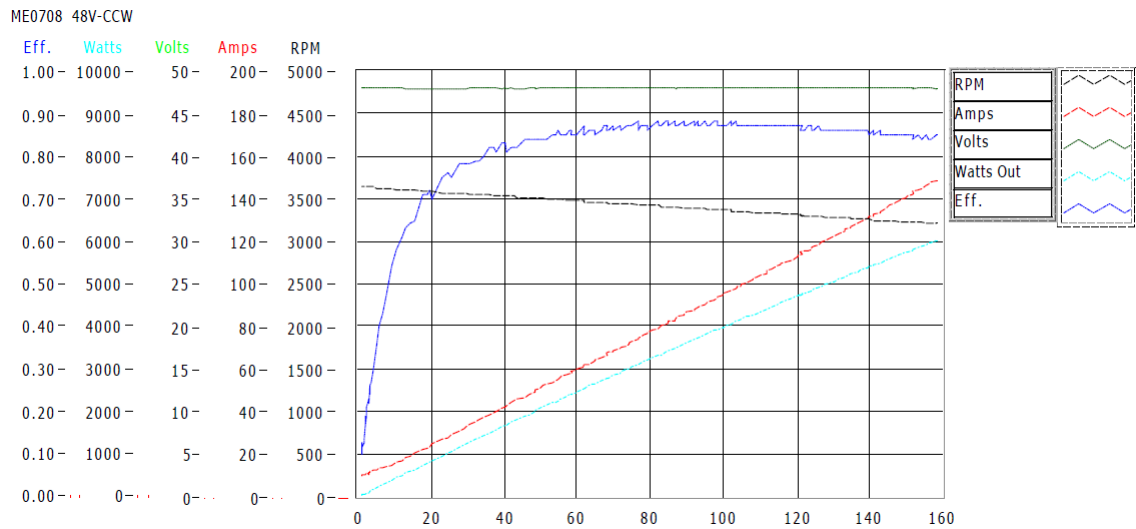
$A =$ Johtimen poikkipinta-ala (m^2)

$ltk =$ Lämpötilakerroin (kupari 0,0039)

$t =$ Johtimen lämpötila ($^{\circ}C$)

Kun johtimen resistanssi on laskettu, saadaan sen tehohäviö laskettua kaavalla 6.1. Koska käytössä oli 35 mm² kuparijohto, jota käytettiin yhteensä noin 2,5 metriä, saadaan sen resistanssiksi 1,3 m Ω :a. Tällöin jännitehäviö 100 A virralla on 0,125 V. Johtimien hyötysuhde on tällöin 99% luokkaa.

Sähkömoottorin hyötysuhteeksi valmistaja antaa seuraavanlaisen kuvion:



KUVIO 9. Sähkömoottorin hyötysuhdekuvaaja

Kuvaajasta voidaan lukea, että sähkömoottorin hyötysuhde 100A virralla on noin 88% luokkaa. Tällöin sähkökomponenttien kokonaishyötysuhteeksi tulee:

$$\eta_{kok} = \eta_{ohj} * \eta_{moot} * \eta_{joht} * \eta_{akk} \quad (8.1)$$

jossa:

η_{kok} = Kokonaishyötysuhde

η_{ohj} = Ohjainyksikön hyötysuhde

η_{moot} = Moottorin hyötysuhde

η_{joht} = Johtimien hyötysuhde

η_{akk} = Akuston hyötysuhde

Sijoittamalla edellä selvitettyt arvot kaavaan 8.1 saadaan sähkökomponenttien kokonaishyötysuhteeksi 100 A virralla 80%. Todelliseen kokonaishyötysuhteeseen täytyy vielä ottaa huomioon ketjuvedossa syntyvä tehohäviö. Mekaaninen hyötysuhde on tavallisesti yli 90 %. Tällöin kokonaishyötysuhteeksi tulee noin 72 %.

7 TULEVAISUUS

Tulevaisuudessa tämä projekti tulee saamaan tieliikennekelpoisuuden, heti kun se vaan saa vaatimustenmukaisuustodistuksen EMC-hyväksynnöistä. Lisäksi nykyisen valojärjestelmän tilalle voisi kehittää jonkin muunlaisen järjestelmän. Sillä tällä hetkellä valot toimivat erillisen pienemmän akun voimalla. Tästä voi syntyä tilanne, jolloin ajoneuvo liikkuu, mutta sen valot eivät toimi, koska akku on tyhjä.

Valojärjestelmän kehittämiseksi sain monia ideoita, varteenotettavin ja järkevin olisi varmasti ottaa valoille virta suoraan 48 V jännitteestä hakkuriteholähteen avulla alentamalla jännite 12 V:iin. Tällöin virta loppuu valoilta samaan aikaan kun moottorikin lakkaa pyörimästä. Itse asiassa moottori todennäköisesti lopettaa pyörimisen ennen valojen sammumista, koska moottori tarvitsee virtaa todella paljon verrattuna valoihin ja kun akun varaus tyhjenee, ei se kykene tuottamaan enää niin suuria virtoja.

Toinen idea valojen kehittämiseksi on ladata pientä akkua aurinkokennojärjestelmällä. Tässä heikkoutena on aurinkokennojen huono tehon tuotto, sekä erittäin epävarma toimivuus. Lisäksi se tuo painoa paljon ja vaatii tilaa vielä enemmän. Siksi tämän päivän aurinkokennoja ei ole järkeä käyttää ajoneuvotekniikassa lataamaan akkua. Yksittäisiä valoja se voisi jaksaa polttaa mikäli ne olisivat led-valoja.

Kolmas vaihtoehto olisi rakentaa dynamo, joka pyörisi renkaiden pyöriessä. Tätä ideaa ei ole järkevä taas toteuttaa, koska dynamon hyötysuhde on sen verran huono. Moottorilta kuluu turhaa energiaa dynamon pyörittämiseen, verrattuna sen tuottamaan energiamäärään. Lisäksi dynamon sijoittaminen saattaisi tuottaa jonkin verran ongelmia.

Neljäs toteutettavissa oleva idea olisi lisätä vetojärjestelmään auton laturi, joka saisi käyttövoimansa suoraan ketjuvedosta rattaan välityksellä. Tässäkin tapauksessa heikkoutena on se, että laturi vie enemmän energiaa kuin se pystyy tuottamaan. Lisäksi se tuo painoa lisää taka-akselille.

Kehitettävää ajoneuvossa on myös akustossa. Joskus tulevaisuudessa kun akustojen hinnat tulevat roimasti alaspäin, olisi järkevää vaihtaa ajoneuvoon esimerkiksi

litiumakusto. Tällöin akuston paino putoaisi kolmannekseen nykyisestä. Lisäksi kapasiteetti ja suorituskyky lisääntyisi. Ainoa ongelma tulisi latausjärjestelmästä, sillä litiumakusto vaatisi oman latauselektroniikan.

Järkevää olisi myös vaihtaa ohjainyksikkö sellaiseen malliin, joka pystyisi ottamaan jarrutusenergiaa talteen jarrutettaessa. Tällöin ajomatka lisääntyisi huomattavasti. Eikä se olisi edes kovin vaikeaa vaihtaa ohjainyksikköä toiseen, sillä tälläkin hetkellä on myynnissä ohjainyksiköitä, jotka pystyvät ottamaan virtaa tasavirtamoottorista ja lataamaan sillä akkuja. Hyötysuhteen taso ei tietenkään ole varmasti samaa luokkaan kuin on vaihtosähkölaitteilla, mutta juuri esimerkiksi kaupunkiajossa, jossa jarrutuksia tulee paljon olisi järkevää saada edes osa siitä energiasta talteen.

8 POHDINTAA

Opinnäytetyön aiheena sähkömönkijä oli erittäin antoisa, sillä sen parissa sai tutustua erittäin moneen osa-alueeseen niin ajoneuvo- kuin myös sähköpuolella. Lisäksi siinä tarvitsi osata suunnitella niin sähkökomponenttien kytkennät kuin myös ihan fyysiset telineet. Lisäksi komponenttien sijoittelu, johdotukset ynnä muut toivat suunnitteluun oman haasteensa.

Sähkökäyttö ajoneuvoteollisuudessa tulee todennäköisesti yleistymään erittäin paljon seuraavien vuosien aikana. Tämän vuoksi oli erittäin opettavaista ottaa selvää, kuinka ajoneuvon liikuttaminen sähköön voimalla toimii. Lisäksi samalla sai selville, mitkä kaikki tekijät ovat tällä hetkellä esteenä sähkökäytön yleistymiselle. Lähinnä järkevät latausasemat, sekä akkuteknologia vielä toistaiseksi jarruttavat sähkökäytön yleistymistä.

Mikäli sähkökäyttöä verrataan nykyiseen polttomoottorikäyttöön, löytyy sähkökäytön puoltamiselle monia syitä. Tärkein on varmasti se, että mikäli jatkossakin halutaan kulkea ajoneuvoilla paikasta toiseen, on keksittävä uusia ratkaisuja nykyiselle polttoaineelle. Varteenotettavin vaihtoehto tällä hetkellä onkin sähkökäyttö, sillä sitä pystytään tuottamaan helposti ympäristöstä uusituvilla luonnonvaroilla.

Sähkökäytön etuna on myös sähkömoottorien erittäin hyvä hyötysuhde sekä huoltovapaus. Eniten käytettyjä vaihtosähkö- eli oikosulkumoottoreita ei tarvitse käytännössä huoltaa lainkaan, sillä kuluvia osia ei ole. Käytännössä ainoa huollon tarve tulee akkupakettien vaihdosta muutaman vuoden välein. Jäteakut pystytään osittain kierrättämään, joten suurta jäteongelmaa ei niistäkään synny.

LÄHTEET

Alltrax, ohjainlaite. Käyttöohje. Luettu 20.3.2013
http://www.alltraxinc.com/Doc_Depot.html

Electricmotorport, EV-parts, sähköajoneuvon komponentit.
www.electricmotorport.com

Karhu Esko, K1-katsastajat tekniikka, sähköpostikeskustelu 19.3.2013

Kulojärvi Tauno. Liikedyneramiikan opetusmateriaali. Luettu 15.1.2013

Sznajder Batterien. Akuston mitoitus ja tiedot.
<http://www.sznajder.pl/index.php?lang=en>