

Jussi Lähdekorpi

SÄHKÖAUTOKONVERSION MOOTTORIN VAURIOITUMISEN
TUTKIMUSPROSESSI

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2014

SÄHKÖAUTOKONVERSION
TUTKIMUSPROSESSI

MOOTTORIN

VAURIOITUMISEN

Lähdekorpi, Jussi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2014
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri
Sivumäärä: 26
Liitteitä: 10

Asiasanat: Sähköauto, moottori, laakeri

Satakunnan ammattikorkeakoulun opiskelijat rakensivat sähköauton vanhan VW Kleinbussin pohjalle. Lyhyen käytön jälkeen autoon asennettu sähkömoottori hajosi. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa syitä moottorin hajoamiseen. Tehdyt johtopäätökset perustuvat asiasta tehtyihin julkaisuihin ja asiantuntijoiden arvioihin. Tehdyt johtopäätökset ovat suuntaa antavia, kerätyn tiedon perusteella ei voi päätellä rikkoutumisen todellista syytä.

FAILURE REPORT OF THE ENGINE BREAK DOWN OF THE CONVERTED ELECTRIC CAR

Lähdekorpi, Jussi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

May 2014

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 26

Appendices: 10

Keywords: Electric car, motor, bearing

An conversion project an electric VW Kleinbus was built by the students. After a short usage the electric engine suddenly exploded. The subject of this thesis was to investigate the reasons for the damage of the electric motor installed in converted VW Kleinbus. The conclusions presented in this thesis are based on the publications and interviews of the experts. The conclusions made are not bullet proof, they function merely as guidelines. The actual reason for the engine break down remains a mystery.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SÄHKÖAUTOKONVERSIO.....	6
2.1	Tavoite	6
2.2	Lähtökohdat	6
2.3	Aikataulu.....	7
3	YLEISTIETOA SÄHKÖAUTOISTA	7
3.1	Historia.....	7
3.1.1	Lähtökohdat	7
3.1.2	Parempia akkuja	7
3.1.3	Amerikkalaista suunnittelua	8
3.1.4	Suosion kasvu	8
4	SÄHKÖMOOTTORIT.....	9
4.1	DC –MOOTTORI.....	10
4.2	AC –MOOTTORI.....	11
5	KLEINBUS	12
5.1	Lähtökohdat	12
5.2	Kori	12
5.3	Akusto.....	12
5.4	Moottori	13
5.5	Moottorin ohjaus.....	14
6	AJAMINEN.....	15
6.1	Testiajo.....	15
6.2	Moottorin hajoaminen.....	15
6.3	Laakerivaurio	17
6.3.1	Yleistä tietoa laakereista.....	18
6.3.2	Faktoja käytössä olevista laakereista.....	21
6.3.3	Laakerivirrat	22
6.3.4	Mahdollisia laakerivaurioita.....	22
7	LOPPUTULOS	25
7.1	Yhteenveto	25
	LÄHTEET.....	26
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämä maalla kulkeva ajoneuvo, auto, joka keksittiin helpottamaan elämää, siirtovälineeksi paikasta toiseen ja helpottamaan ihmisen työtaakkaa on kokenut ja tulee kokemaan suuria muutoksia aina 1769 rakennettusta kolmipyöräisestä omalla voimälähteellä olevasta auton edeltäjästä. Polttomoottorin keksimiseen tämän ajankohdan jälkeen meni hetki aikaa, mutta sen tapahduttua kehitys on ollut nopeaa ja jatkuvaa.

Totta on myös se, että sähköautot olivat hyvinkin yleisiä 1900-luvun alussa ennen polttomoottorikäyttöisten auton syrjäytettyä niitä. Tulevaisuudessa, sähköautojen tekniikan kehittyessä, nykypäivän tilanne on vielä hyvinkin mahdollista saada päälälleen. Nykyään keskitytään kuitenkin erittäin paljon päästöjen pienentämiseen kaikkein tavoin. Otsonikerroksen ohentuessa n. 3 miljardin autokanta on huomattava saastuttamisen lähde ja tämän vuoksi sähköautot kehittyvät ja yleistyvät jatkuvasti tielikenteessä. Tekniikan kehittyessä päästöt saataisiin kuriin ja sähköauto voisi ainakin osittain syrjäyttää polttomoottoriauton. Positiivisena puolena meluhaitat saataisiin lähelle nollaa.

Suurimpana ongelmana sähköautoissa on ollut akkujen kesto, paino ja kehitys. Nykyään toimintasäde on kasvanut ja latausajat lyhentyneet huomattavasti. Parhaimmillaan päästään jo jopa 500km matkoja yhdellä latauskerralla. Akkujen paino aina rajoittaa tietysti toimintasädettä. Uutta akkuteknologiaa on tulossa ja koko ajan kehiteillä, joten kehitys on kasvamassa positiivista vauhtia ylöspäin markkinoita ajatellen.

2 SÄHKÖAUTOKONVERSIO

2.1 Tavoite

Projektin tavoitteena on olemassa olevan VW Kleinbus –pakettiauton muuntaminen polttomoottorityyppisestä ratkaisusta sähköautoksi. Moottori vaihdetaan ja vaihde-laatikko riisutaan niin, että jäljelle jää vain kaksi vaihdetta, eteen ja taakse. Projektissa rakennetaan edullinen sähköauto, jota tullaan käyttämään SAMKin markkinoinnissa ja opiskelijayhdistys SAMMAKON toiminnassa. Sähköauton avulla SAMK saa positiivista julkisuutta eri medioissa. Projektin liittyvä tutkimustoiminta kasvattaa SAMKin osaamista tehoelektroniikan, sähkömoottoreiden ja akkuteknologian saroilta. Projektissa tuodaan näyttävästi esille kestävä kehitys ja uusiutuva energia.

2.2 Lähtökohdat

Aihiona toimii Vw Kleinbus –pakettiauto, johon on tarkoitus vaihtaa akusto, moottori, ohjainyksikkö, muuntaa vaihteistoa ja tuunata uudestaan, niin ulkoa kuin sisältäkin, tieliikennekäyttöön polttomoottoriautosta sähköautoksi.



Kuva 1. Aihio projektille. (Myntti 2013)

2.3 Aikataulu

Aikatauluna on tähän mennessä suunniteltu syksyä -2012, jolloin auton pitäisi olla kaikin puolin kunnossa ja tieliikennekäytössä.

3 YLEISTIETOA SÄHKÖAUTOISTA

3.1 Historia

Sähköauto tai SA, määritelmän mukaan käyttää sähkömoottoria käyttövoimanaan sen sijaan, että voimanlähteenä olisi bensiinikäyttöinen moottori. Sähköauton lisäksi: polkupyörät, moottoripyörät, veneet, lentokoneet ja junat käyttävät voimalähteenään sähköä. (Bellis 2012)

3.1.1 Lähtökohdat

Kuka keksi ensimmäisen sähköauton on epävarmaa ja monet keksijät ovat tunnustaneet sen tehneensä. Vuonna 1828, Unkarialainen, Ányos Jedlik keksi auton pienoismallin käyttövoimanaan keksimänsä sähkömoottori. 1832-1839 (tarkka vuosiluku on epävarmaa tietoa), Robert Anderson Skotlannista keksi sähkökäyttöisen kuljetukseen tarkoitetun raakaversio. 1835 toisen pienikokoisen sähköauton suunnitteli professori Stratingh Groningenista, Hollannista, jonka rakensi hänen apulaisensa Christopher Becker. 1835 Thomas Davenport, seppä Brandonista, Vermontista, rakensi pienikokoisen sähköauton. Davenport oli myös ensimmäisen amerikkalaisen DC-moottorin keksijä. (Bellis 2012)

3.1.2 Parempia akkuja

Käytännöllisempien ja menestyksekkäämpien sähköisten ajoneuvojen keksijät olivat Thomas Davenport ja Skotlantilainen Robert Davison noin vuonna 1842. Molemmat olivat ensimmäisiä juuri keksityn mutta ei ladattavan sähköisten kennojen tai patteri-

en käyttäjiä. Ranskalainen Gaston Plante keksi paremman akuston vuonna 1865 ja myöhemmin hänen maamiehensä Camille Faure parannellun version akustosta 1881. Suuremman kapasiteetin omaavia akkuja tarvittiin sähköautojen tullessa käytännöllisemmiksi. (Bellis 2012)

3.1.3 Amerikkalaista suunnittelua

1800-luvun alussa, Ranska ja Iso-Britannia olivat ensimmäiset kansakunnat, jotka tukivat laajalle levinnyttä sähköautojen kehitystä. Vuonna 1899, Belgiassa rakennettu, Camille Jénatzyn suunnittelema, sähköinen kilpa-auto, jota kutsuttiin nimellä ”La Jamais Contente”, teki maailmanennätyksen maalla - 68mph. (Bellis 2012)

Vasta vuonna 1895 Amerikkalaiset omistautuivat huomiomaan sähköisiä kulkuneuvoja, kun A. L. Ryker rakensi sähköisen kolmipyörän ja William Morrison 6-paikkaisen vaunun/farmarin, molemmat vuonna 1891. Monia innovaatioita syntyi ja kiinnostus moottoriajoneuvoihin lisääntyi 1890-luvun lopussa ja 1900-luvun alussa. Kuitenkin, William Morrisonin suunnittelemaa ajoneuvoa, jossa on tilaa matkustajille, pidetään useimmiten ensimmäisenä ja oikeana käytännöllisenä sähköautona. (Bellis 2012)

Vuonna 1897, ensimmäinen kaupallinen sähkökäyttöinen ajoneuvo julkaistiin New Yorkin taksikäyttöön Philadelphiassa sijaitsevan Electric Carriage and Wagon –yhtiön rakentamana. (Bellis 2012)

3.1.4 Suosion kasvu

Vuosisadan vaihteessa, Amerikka oli menestyksekkäs ja autot, joista vaihtoehtoina olivat niin höyry-, sähkö-, kuin myös bensiinikäyttöiset versiot, tulivat yhä enemmän ja enemmän suosituimmiksi. Vuodet 1899 ja 1900 olivat sähköautojen parasta aikaa Amerikassa, kuten myös muutkin ajoneuvotyypit loppuunmyytiin. Yksi esimerkki oli Chicagon Woods Motor Vehicle –yhtiön rakentama 1902 Phaeton, jolla oli 18 mailin kantomatka, 14mph huippunopeus ja jonka hinta oli 2000\$. Myöhemmin, 1916,

Woods keksi hybridauton, jossa oli molemmat, sisäinen polttomoottori ja sähkömoottori. (Bellis 2012)

Sähköisillä kulkuneuvoilla oli huomattavasti etuja 1900 –luvun alussa verrattuna niiden kilpailijoihin. Niissä ei ollut värinää, hajua ja melua polttomoottoriautoihin verrattuna. Polttomoottoriautojen vaihteiden vaihtaminen oli suurin ongelma niiden kanssa ajaessa, kun taas sähköautot eivät vaatineet vaihteiden vaihtamista ollenkaan. Kun höyrymoottokäyttöisissä autoissakaan ei ollut vaihteiden vaihtamista, he silti kärsivät pitkistä käynnistysajoista, jopa 45 minuuttia kylminä aamuina. Höyryautoilla oli pienempi kantama ennen kuin tarvitsivat vettä kuin sähköautolla yhdellä latauksella. Ainoat ajanjakson hyvät hetket olivat kaupungissa, matkustamisen olla paikallista, paras tilanne siis sähköisille ajoneuvoille, johtuen niiden rajoitetusta ajomat-kasta. Sähköauto oli ensisijainen vaihtoehto monelle, koska se ei vaatinut manuaalista voimaa käynnistyäkseen, kuten myös käsiveivillä käynnistettävät polttomoottoriautot, ja niiden ei tarvinnut painia vaihteiden vaihtamisen kanssa. (Bellis 2012)

Vaikka normaalit sähköautot maksoivat alle 1000\$, useimmat aikaisemmat sähköautot olivat koristeltuja ja massiivilla vaunuilla varustetuja ylemmän luokan ajoneuvoja. Niissä oli hienostuneita sisutuksia, laadukkailla materiaaleilla ja maksoivat keskimäärin 3000\$. Sähköautot nauttivat suosiostaan aina vuoteen 1920 tuotannon ollessa suurimmillaan 1912. (Bellis 2012)

4 SÄHKÖMOOTTORIT

Sähkömoottorit muuttavat niihin syötettyä sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi ja generaattorit päinvastoin voimakoneen niille antamaa mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Koneita on useaa eri tyyppiä. Tärkeimmät tyypit ovat epätahti-, tahti- ja tasavirtakoneet.

Epätahti- ja tahtikoneet ovat vaihtovirtakoneita, joiden toiminta perustuu pyörivään magneetikenttään koneen sisällä. Jokainen konetyyppi voidaan toteuttaa monella eri

tavalla, jolloin niiden ominaisuudet ja rakenne poikkeavat toisistaan. Kaikista normaalirakenteisista koneista voidaan erottaa seuraavat perusosat: pyörivä roottori (pyöröjä) akseleineen, staattori (seisoja), laakerikilvet tai laakeripukit (isoilla koneilla) ja laakerit. Roottori on laakereiden varassa staattoriaukossa. Roottorin ja staattorin välissä on ilmarako niin, että roottori voi pyöriä vapaasti. Laakerit, jotka voivat olla rulla-, kuula- tai liukulaakereita, on kiinnitetty laakerikilpiin, jotka kannattavat roottoria. Laakerikilvet ovat kiinni staattorissa, joka muodostaa koneen rungon. Staattoriin ja roottoriin on sijoitettu käämitykset, joiden muoto ja rakenne vaihtelevat konetyypin mukaan. Koneissa on yleensä päällä myös liitinkotelo, johon syöttökaapeli kytketään.

Kaikkien sähkökoneiden, erikoistapauksia lukuun ottamatta, toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin voimavaikutuksiin. Koneiden käämityksistä puhuttaessa erotetaan usein toisistaan magnetointikäänitys ja työvirtakäänitys. Magnetointikäänityksellä luodaan koneen toiminnalle välttämättömän magneettikentän. Koneen työvirtakäänityksessä kulkee koneen “varsinainen sähköteho”. Koneen ollessa generaattorina kone luovuttaa sähkötehoa eli virta on koneesta pois päin ja koneen ollessa moottorina kone ottaa sähkötehoa eli virta kulkee verkosta koneeseen päin. Työvirtakäänityksestä käytetään myös nimitystä ankkurikäänitys. Ankkurinimityksen kanssa kannattaa olla varovainen, jos ei ole aivan varma mitä sillä tarkoitetaan, sillä esimerkiksi tahtikoneissa ankkurikäänitys on staattorissa ja tasavirtakoneissa se on roottorissa. Siksi kannattaa puhua roottori- ja staattorikäänityksistä. (Aura L., Tonteri A. 1996)

4.1 DC –MOOTTORI

Hiiliharjallinen DC-moottori ei ole huoltovapaa moottori. Käytöstä riippuen hiilien uusiminen tulee kyseeseen 2000-10000 kilometrin välein. Jos hiilien ja kommutaattorin välissä tapahtuu kipinöintiä (esim. väärät jännite- tai virta-arvot) voi roottori hajota käytössä. DC-moottori vaatii toimiakseen puhallinjäähdytyksen koska harjalliset moottorit tuottavat erittäin paljon lämpöä ja voivat kiinnileikkautua lämmön vaikutuksesta.

Konversioissa käytetään yleensä DC-moottoria sen helpposäätöisyyden vuoksi.

DC-moottorin ohjaus tapahtuu pulssisuhdeohjaimella (PWM), joka on huomattavasti yksinkertaisempi, kuin taajuusmuuttaja. (Sähköautot – NYT! [www-sivut](#))

4.2 AC –MOOTTORI

Tasavirtakoneet toimivat nimensä mukaan tasavirralla, jota niihin syötetään tasavirtalähteestä. Tahti- ja epätahtikoneet puolestaan vaativat vaihtovirtaa toimiakseen. Vaihtovirtakoneet ovat yleensä sähkön jakelujärjestelmän mukaan kolmivaiheisiä. Kyseisten koneiden toiminta perustuu koneen sisällä pyörivään magneettikenttään eli kiertokenttään. Kiertokenttäkoneiden staattorissa on symmetrinen kolmivaiheinen urakäämitys, joka synnyttää koneen sisälle pyörivän magneettikentän, kun niitä syötetään kolmivaihevirralla. Oikosulkumoottori on yksinkertaisen rakenteensa vuoksi erittäin suosittu moottori. Verrattuna muihin yleisimpiin moottorityyppeihin, oikosulkumoottorissa on ainoastaan staattori- ja roottorikäämitykset. Ainoat moottorin kuluvat osat ovatkin laakerit. (Aura L., Tonteri A. 1996)

AC-moottori suuren vääntömomentin vuoksi vaihteistoa ei välttämättä tarvita ja moottori voi olla myös nestejäähdytteinen. AC-moottori on kalliimpi moottori hinnaltaan, mutta DC-moottoriin verrattaessa siinä on parempi hyötysuhde. Moottorin ohjaus tapahtuu taajuusmuuttajalla tai invertterillä. Tekniikan kehittyessä AC-moottoreita käytetään nykyään enemmän uusia projekteja laadittaessa, kuin DC-moottoreita. (Sähköautot – NYT! [www-sivut](#))

5 KLEINBUS

5.1 Lähtökohdat

Lähtökohtana oli siis Volkswagen Kleinbus T2 vuosimallia -74, joka on hankittu Noormarkusta toimintakuntoisena autonä. Autosta purettiin ensinnäkin kaikki osat, joten jäljelle jäi pelkästään kori. Auto piti siis käytännössä tehdä kokonaan uusiksi.

5.2 Kori



Kuva 2. Korin aihio ennen muokkausta. (Myntti 2013)

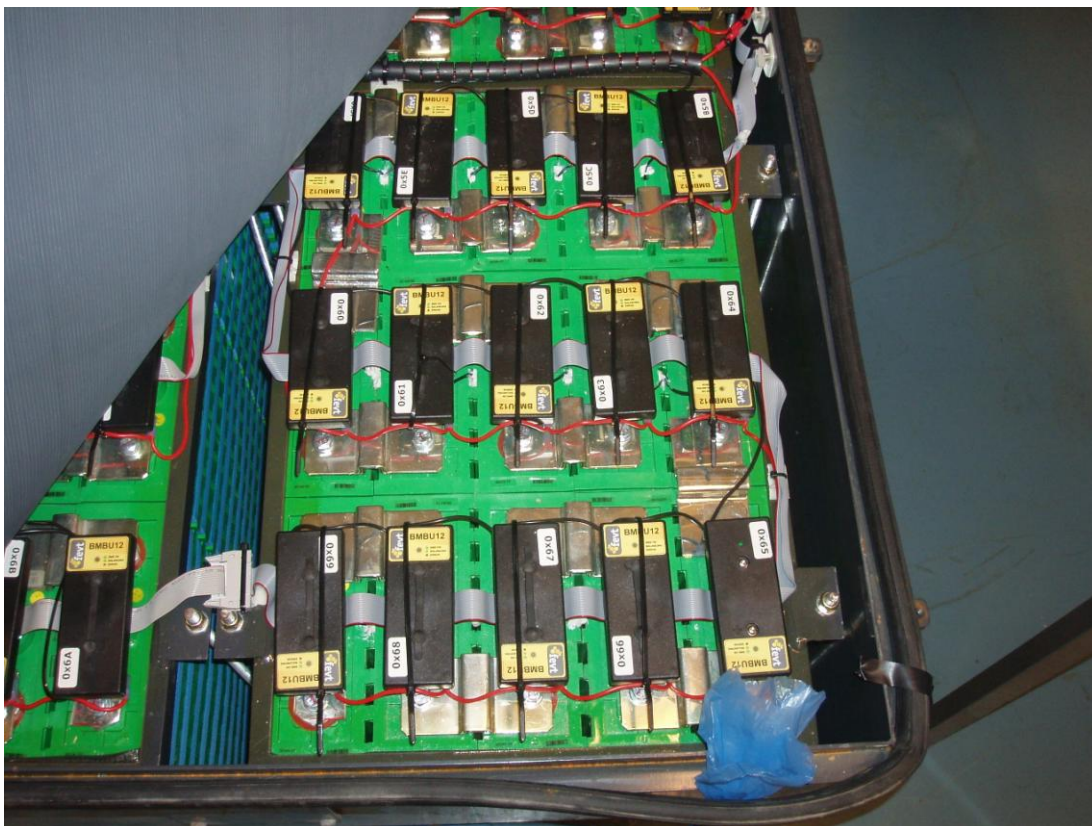
Korityöt, maalaukset, ajoneuvotekniikka

Autosta poistettiin ja hävitettiin kaikki ylimääräiset osat. Ne osat korjattiin, jotka pystyi vielä hyödyntämään käyttöä ajatellen. Varaosia autoon sai hyvinkin helposti, mikä edisti asiaa huomattavasti. Mekaaniset osat piti uusina melkeinpä kokonaan. Projektissa oli mukana myös Volkswagen-harrastajia, ja heiltä sai hyviä neuvoja projektiin.

5.3 Akusto

Akusto koostuu 60 sarjaan kytketystä kennosta, joista jokaisen kennon nimellisjännite on 3.2V. Tällöin nimelliseksi kokonaisjännitteeksi muodostuu 192V. Kennot ovat jaettu 15 kennon ryhmiin. Akkukennot ovat lithium, rauta, fosfaatti -kennoja (LiFe-

PO4). Jokaisella akulla on yksilöllinen BMS (Battery Management System) kennon päällä, joka mittaa napajännitettä sekä kennon ympäristön lämpötilaa. Kotelointi jouduttiin jakamaan kahteen osaan, jotta akusto mahtuisi autoon.



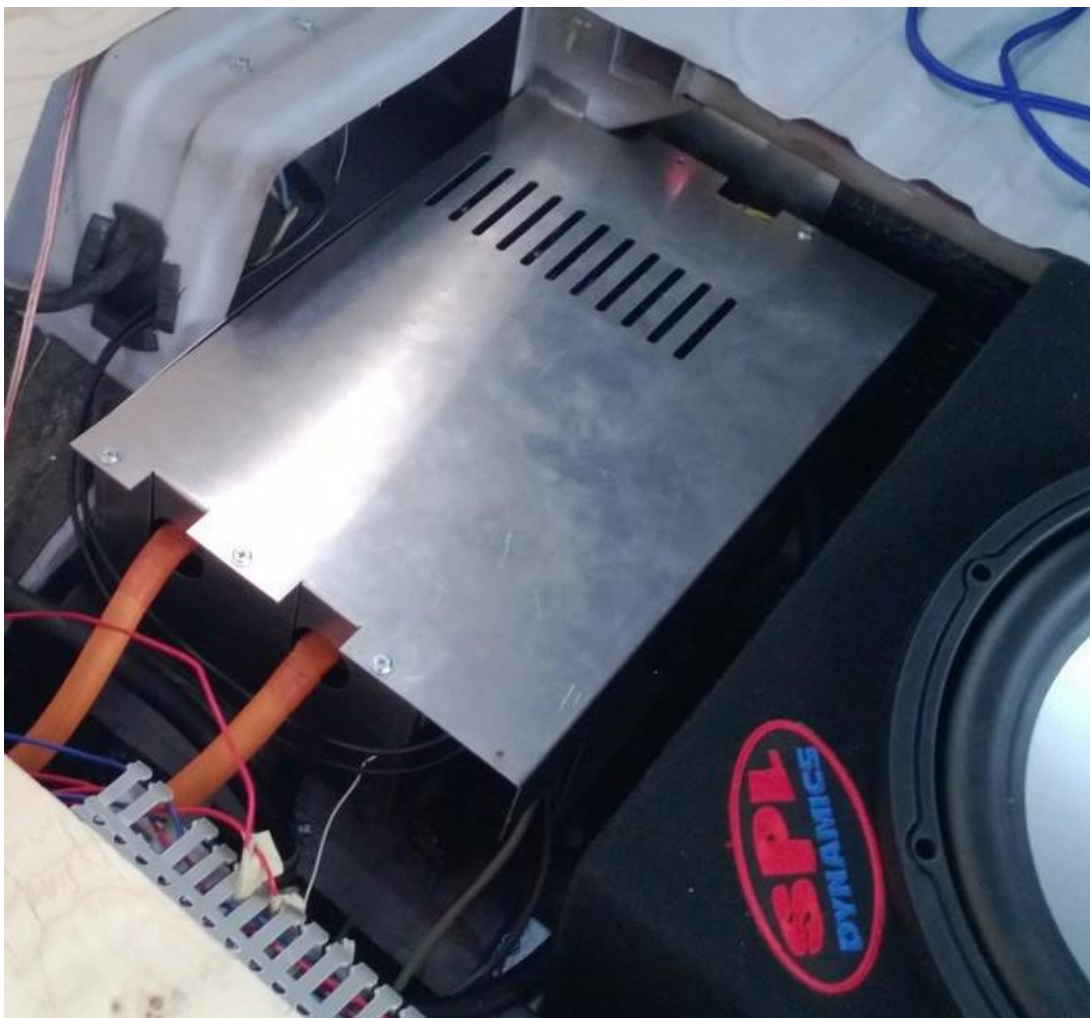
Kuva 3. Akusto ja BMS. (Myntti 2013)

5.4 Moottori

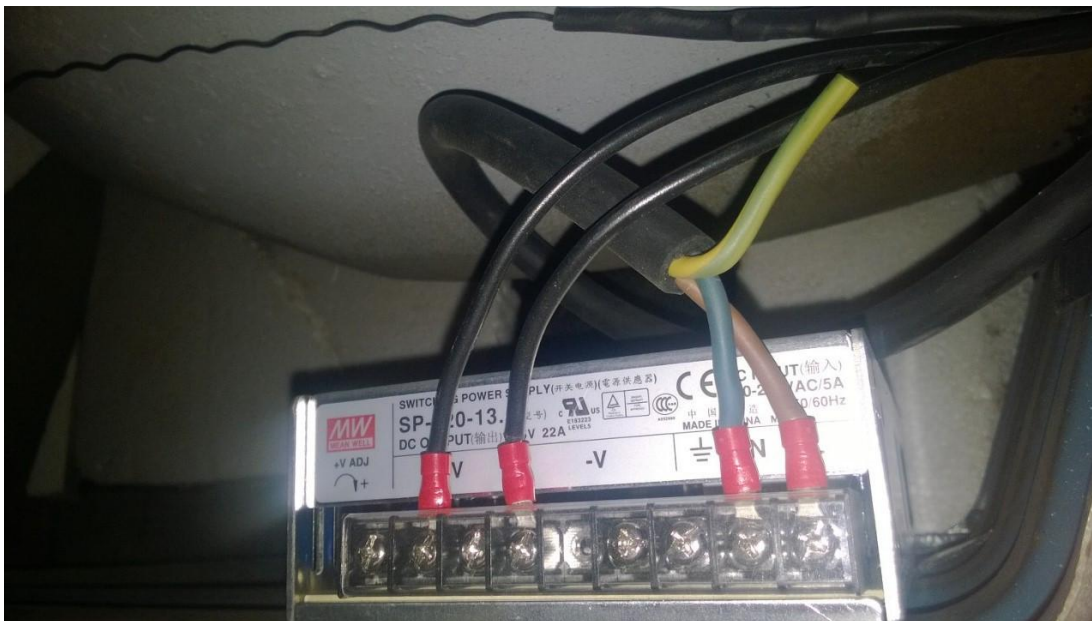
Moottoriksi autoon valittiin Kostov Motorsin K11 Alpha 192V. Nimellistä tehoa löytyy niinkin paljon, kuin 50kW/85Nm ja painoa on 75kg. Ilmanvirtaus on todella hyvä, joten jäähdytys toimii kunnolla, kun molemmissa päissä on tuulettimet. Moottori on myös suunniteltu niin, että se on mahdollisimman hiljainen. Moottoriin on sisäänrakennettu myös pulssianturi, jonka avulla saadaan rajoitettua kierroslukua ja täten voidaan huoletta ajaa rikkomatta moottoria.

5.5 Moottorin ohjaus

Moottorinohjaimena toimii Evneticsin vesijäähdytteinen Soliton JR, joka säätelee virtaa moottorille kaasupolkimen asennon mukaan ja joka tukee myös kierroslukuanturia, jolla saadaan rajoitettua kierroslukua. Kaasupolkimeen on kytketty potentiometri jolta vastustieto kulkee ohjaimelle. Ohjain on häiriösuojattu elektromagneettisilta häiriöiltä. Akuston pääjännitteen 192VDC virta kulkee ohjaimen läpi. Kuitenkin moottorinohjaimen käyttöjännite on 11-15VDC. Ohjain sisältää suuren määrän pien-elektroniikkaa ja tarvitsee toimiakseen erittäin tasaisen jännitteen. Tämän vuoksi moottorinohjaimen jännitelähteeksi valittiin 200VDC/13,8VDC/22A muunnin, joka ottaa virtansa pääakustolta ja tarjoaa hyvin tasaisen pienjännitteen ohjaimelle. (Myntti 2014)



Kuva 4. Häiriösuojattu moottorinohjain. Etualalla oranssit syöttökaapelit (Taberman 2013)



Kuva 5. Moottorinhajaimen 200VDC/13,8VDC 22A jännitelähde (Taberman 2013)

6 AJAMINEN

6.1 Testiajo

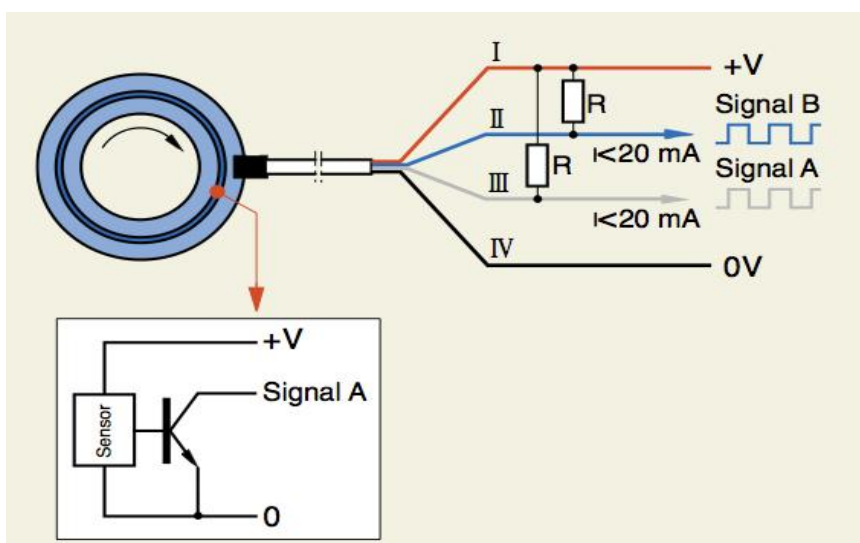
Projekti saatiin hienosti päätökseen ja sähköautolla ajaminenkin sujui mutkitta. Autoa vietiin ympäri näyttelyitä ja kaikki näytti olevan hyvin. Kuitenkin 2013 syksyllä tuli mutkia matkaan. Sähköauton moottori hajosi totaalisesti tien päälle noin kilometrin ajon jälkeen.

6.2 Moottorin hajoaminen

Moottorin hajotessa autossa oli 1-vaihte päällä ja kierrokset nimellinopeudellaan. Moottori ei siis ilmeisesti kestänyt nimellisiä kierroksia ja tällöin ei ollut kierrosrajoitinta kytketty. Moottoria tutkiessani havaitsin kuitenkin valuvikoja moottorin tukirungon toisessa päässä. Syitä, jotka johtivat moottorin hajoamiseen on monia, mutta päällimmäiseksi tuli mieleen liian suuri kierrosluku joka mm. saa moottorin resonoi- maan liikaa, jolloin alumiiniset tukirakenteet antavat periksi, ja suuren väännön vuoksi moottori hajoaa. Lujuuslaskelmien mukaan autossa oli myös liian heikot

moottorin kannakkeet. Myös väännön aiheuttamat voimat kohdistuvat moottorin kannakkeisiin ja liian heikkoina voivat antaa hieman periksi, jolloin moottori pääsee vääntymään akselistaan. Mielestäni moottoripukki pitäisi myös varustaa iskunvaimentimilla, koska vääntö on huomattavan vaihtelevaa ja voimakasta ja moottoriin kohdistuu hyvin paljon iskuja ja värinöitä.

Keskustelin moottorin hajoamisesta ja valuvirheistä moottorin toimittajan kanssa, ja heillä oli ollut samoja ongelmia kierrosluvun suhteen. Jos siis liikaa kierroksia, niin sen seurauksena moottorin alumiinirakenne ei kestä sitä ja hajoaa. Ongelmia oli ollut myös akselistossa, mutta nekin on korjattu uudessa versiossa, joka projektissa on jo käytössä. Moottoriin on siis suositeltavaa ja oikeastaan pakollista asentaa kierroslukurajoitin (Liite 1), joka pitäisi toimia moottorin ja ohjainyksikön välillä ilman mitään lisälaitteita, yhtä vastusta lukuunottamatta. Eli tämä pieni piirilevy moottorin sisällä tekee Kostov Alphan ja Solition JR:n yhteensopivaksi keskenään nyt myös kierroslukurajoittimen osalta. Ainoa, minkä laite vaatii toimiakseen, on 787Ω vastus $+12V$ ja sisäänmenopulssin välille.



Kuva 6. Kierroslukurajoittimen kytkentäohje. (SKF www-sivut 2014)

Hollannissa, mistä moottori on hankittu, he olivat koittaneet monella eri virta-/jänniteyhdistelmällä ja viimeisin (300A/250V) hajoitti moottoriohjaimen, joten on hyvin tarkaan mietittävä millä raja-arvoilla moottoria käytetään ja ohjataan.

6.3 Laakerivaurio

Keskustelin kuitenkin asiasta jälkeinpäin alan asiantuntijan, Sataservice Oy:n Rauman sähkökonehuollon huoltopäällikön, Hannu Rinteen kanssa ja hänellä oli hyvin vahva mielipide asioiden kulkuun moottorin hajoamisen suhteen. Suurimmaksi syyksi hän mainitsi heti laakerivaurion. Esimerkiksi liian suuri pyörimisnopeus aiheuttaa laakerin lämpenemistä ja näin synnyttää hyvin helposti laakerivaurion. Jokaiselle laakerille on erikseen määrätty pyörimisnopeusraja, jolla estetään laakerin vaurioituminen normaaleissa olosuhteissa. Laakerivaurion syntyessä laakeri ylikuumenee, jolloin vierintäelinten pitimet pottävät ja tällöin koko roottori menee epätasapainoon ja osuu kenttään, joka johtaa koko koneen hajoamiseen. (Rinne henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2014). Tapahtumien johdosta oli syytä tutkia moottorin ja laakereiden toimintaa ja niiden herkkyyttä vikaantua hieman yksityiskohtaisemmin.

Tasasähkökone (DC machine) on vanhin säädetyissä käytöissä käytetty konetyyppi (kuva). Sen staattorissa on napoja ympäröivä magnetointikäänitys (field winding tai excitation winding), jota syötetään tasasähköllä. Koneen roottorissa on uriin sijoitettu ankkurikäänitys (armature winding), jota syötetään vaihtosähköllä.

Vaihtosähkön tuottaa roottorin kanssa samalla akselilla oleva kommutaattori (commutator), joka mekaanisesti vaihtosuuntaa kommutattorin liuskoille, eli lamelleille (commutator segment) harjojen välityksellä syötetyn tasasähkön. Kommutaattorin johdosta roottorin kääntymisessä kulkevan virran taajuus vastaa aina pyörimisnopeutta, ts. tasasähkökoneella kaikki nopeudet ovat kaavan (1a) mukaisesti tahtinopeuksia, eikä kone voi pudota tahdistista. (Niiranen 1999, 26-29)

Tasasähkökoneen tyhjäkäyntinopeus $n_o = U_a / (2\pi K \phi)$

jossa U_a on kommutattorin harjojen välinen tasajännite eli ankkurijännite (armature voltage), ϕ on magnetointikäänityksen virran aikaansaama vuo ja K on konekohtainen vakio, joka riippuu mm. koneen napaluvusta. Kaavasta nähdään, että tasasähkökoneen nopeutta voi kasvattaa sekä kasvattamalla ankkurijännitettä, että pienentämällä vuota. Tässä yhteydessä on erityisesti huomautettava, että magnetointivirran

katkeaminen voi kasvattaa koneen pyörimisnopeuden niin suureksi, että moottori hajoaa. (Niiranen 1999, 26-29)



Kuva 7. Laakerin vaurioituminen ja akselin kiilan leikkautuminen.

6.3.1 Yleistä tietoa laakereista

Laakerien tehtävä on tukea ja ohjata pyöriä tai edestakaisin kiertyviä koneenosia. Tukivoimien vaikuttaessa akselia vastaan kohtisuoraan puhutaan säteislaakerista; jos laakeriin kohdistuu akselin suuntaisia voimia, tarvitaan erillinen aksiaalilaakeri. Varsinaisen rakenneratkaisun suhteen laakerit jaetaan liukulaakereihin ja vierintälaakereihin. Useat vierintälaakerityypit voivat kantaa sekä aksiaalisia että radiaalisia kuormia samanaikaisesti. Liukulaakereissa voimat siirtyvät voitelukalvon kautta akselistä laakeriin. Pinnat voivat koskettaa toisiaan laajalla alueella. Vierintälaakereissa voimia välittävät erityisesti vierintäosat: kuulat, rullat tai neulat. Kosketus on teoreettisesti vain piste tai viiva. Voiteluainetta on pidettävä laakerin yhtenä rakenneosana.

Laakerin häiriötön toiminta edellyttää aina paikallisten liukupintojen lämpötilan pysymistä tietyn laakerirakenteelle sallitun lämpötilan alapuolella. Voitelemattomissa laakereissa tämä perustuu riittävän pieneen kitkakertoimeen ja kuormitukseen. Laakerimateriaalien merkitys korostuu voiteluaineen huonontuessa. (Niiranen 1999, 155)

Vierintälaakerit ovat asennettaviksi valmiita koneenosia. Useimmissa vierintälaakereissa on kaksi rengasta, joiden välissä olevat vierintäelimet pitävät renkaat likimain samankeskeisinä. Vierintäosien jako pidetään tasaisena erityisillä pitimillä. Kuulalaakereissa kuulien ja vierintäratojen välillä on elliptinen kosketus. Rullalaakereilla kosketuskuvio on viiva, jolla on rajallinen leveys. Laakerit on asennettava siten, että laakeriin jää riittävä välys. Etenkin suurten laakerien asennuksessa käytetään paineöljyvälineitä, kuten ns. hydraulista mutteria ja vetoholkkia. Vierintälaakereiden asennuksessa on aina muistettava, ettei asennusvoimia johdeta vierintäosien kautta. Akseleiden laakeroinnissa voidaan aksiaaliset voimat ottaa vastaan vain yhdessä kohdassa ns. ohjauslaakerilla. Toiset laakerit ovat vapaita laakereita, joiden tulee sallia akselin pituudenmuutokset. Vapaa laakeri voi olla rullalaakeri, joka pääsee vapaasti siirtymään aksiaalisesti. (Niiranen 1999, 182,193)

Laakerivika on todennäköisesti ainoa mekaaninen vika, mitä käytössä tapahtuu. Muut mekaaniset viat kuten staattorin rikki meneminen ja ylikuumeneminen ovat yleensä juuri laakerin pettämisen seurausta. Mikään laakeri ei täysin kestä vettä. SKF:n yleissuositus on, ettei öljyssä ole enempää kuin 200 ppm vettä emulgoituneena eikä vapaata vettä saa olla lainkaan. Nopein veden aiheuttama tuho on seisontakorrosio, jossa voiteluaineessa oleva vesi jättää korrosio jäljet alimmille rullariveille. Tietenkin myös tarpeeksi suuri määrä emulgoituneena voiteluaineeseen aiheuttaa vierintäpinnoille kulumista ja lopulta tuhon. Veden aiheuttamia tuhoja on hyvin hankala estää, sillä mikään voiteluaine ei ole täysin veden kestävä. Moottoreiden laakereiden pettämisiin eivät vaikuta lämpötila ja moottorin rasitus, vaan ongelmana ovat laakereiden suojauksen tiivyyden pettäminen. Tällöin pöly tunkeutuu voiteluaineeseen sekaan ja aiheuttaa kitkan kasvua. Tämä on suurin syy laakereiden tuhoutumiseen. Toisena yleisenä syynä on vesi, joka aiheuttaa myös kitkan lisääntymisen. Kemiallisten ominaisuuksien vuoksi voiteluaine, kuten kaikki rasva on vettä kevyempää jolloin vesi ja rasva eivät pääse yhdistymään. Saattaakin käydä niin, että jokin osa laakerista ei ole enää voitelussa, vaan veden ympäröimänä, mikä kuluttaa laakeripin-

nat nopeasti käyttökelpottomaan kuntoon. Veden ja kemikaalien vuoksi kaikki automaattisen voitelun piirissä olevat laakerit toimivat ylisytöllä. Tällä pyritään ehkäisemään veden tunkeutuminen laakereihin. (Räty 2002, 35-37)



Kuva 8. Uuden sähkömoottorin laakeri.

6.3.2 Faktoja käytössä olevista laakereista

SKF E2 deep groove ball bearings – product data

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C ₀		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min		kg	-
25	47	12	11,1	6,1	0,26	35 000	18 000	0,08	E2.6005-2Z
	52	15	13,8	7,65	0,325	30 000	16 000	0,13	E2.6205-2Z
	62	17	22,9	11,6	0,49	27 000	15 000	0,23	E2.6305-2Z
30	55	13	12,7	7,35	0,31	31 000	16 000	0,12	E2.6006-2Z
	62	16	19,5	11,2	0,475	26 000	14 000	0,20	E2.6206-2Z
	72	19	28,6	16	0,67	22 000	13 000	0,35	E2.6306-2Z
35	62	14	15,3	9,15	0,39	26 000	13 000	0,15	E2.6007-2Z
	72	17	25,5	15,3	0,64	22 000	12 000	0,29	E2.6207-2Z
	80	21	33,8	19	0,815	21 000	11 000	0,46	E2.6307-2Z
40	68	15	15,9	9,65	0,405	24 000	12 000	0,19	E2.6008-2Z
	80	18	30,7	18,6	0,78	19 000	10 000	0,37	E2.6208-2Z
	90	23	41	24	1,02	19 000	9 900	0,63	E2.6308-2Z
45	85	19	32,5	20,4	0,865	18 000	9 900	0,41	E2.6209-2Z
	100	25	52,7	31,5	1,34	17 000	8 700	0,83	E2.6309-2Z
	110	27	62,4	38	1,6	15 000	7 800	1,05	E2.6310-2Z
55	120	29	71,5	45	1,9	14 000	7 300	1,35	E2.6311-2Z
60	130	31	81,9	52	2,2	13 000	6 500	1,70	E2.6312-2Z
65	140	33	93,6	60	2,5	11 000	5 300	2,17	E2.6313-2Z
70	150	35	104	68	2,75	11 000	5 000	2,63	E2.6314-2Z
75	160	37	114	76,5	3,05	10 000	4 500	3,14	E2.6315-2Z
80	170	39	124	86,5	3,25	9 500	4 300	3,75	E2.6316-2Z

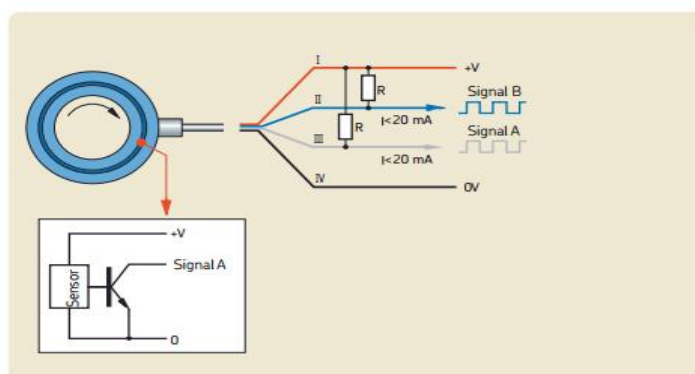
The bearings shown here are only part of the total assortment. Additional information is available online at www.skf.com/bearings

Kuva 9. Tuulettimen pään laakerin tyyppi: 6306-2Z/C3. ((SKF www-sivut 2014)

Motor encoder unit

Principal dimensions			Rotational speed max	Electronic specifications			Phase shift	Designation*
d	D	T		No. of pulses	Period accuracy	Duty cycle		
mm			r/min	-	%		degrees	-
15	35	17	13 000	32	± 3	50 ± 10	90 ± 30	BMB-6202/032S2/EA002A
20	47	20	10 000	48	± 3	50 ± 10	90 ± 30	BMB-6204/048S2/EA002A
25	52	21	8 500	48	± 3	50 ± 10	90 ± 30	BMB-6205/048S2/EA002A
30	62	22	7 500	64	± 4	50 ± 10	90 ± 45	BMB-6206/064S2/EA002A
40	80	24	5 600	80	± 5	50 ± 10	90 ± 45	BMB-6208/080S2/EB002A
45	85	25	5 000	80	± 5	50 ± 10	90 ± 45	BMB-6209/080S2/EB002A

* For USA replace "E" with "U", e.g. BMB-6202/032S2/UA002A



Circuit diagram

Table 1

Voltage	Recommended resistors R
+V DC	Ω
5	270
9	470
12	680
24	1 500

Electrical parameters

Kuva 10. Vaihteistopään laakerin tyyppi on: BMP-6208/080S2/UB002A. (SKF www-sivut 2014)

Nykyisen moottorin nimelliskierrokset ovat siis 5600 rpm. Kuten kuvasta 8 näkyy, niin käytössä olevan laakerin maksimikierrokset ovat myös 5600 rpm. On siis mahdollista, että laakerin maksimikierrokset ovat ylittyneet ja sen myötä mm. kuumentuneet liikaa, joka aiheuttaa kiinnileikkaantumisen vaaran. (Kuva 6) Mielenkiintoista on se, että tätä laakerityyppiä testaavat henkilöt ovat saaneet vastuksen arvoksi 787Ω vaikka SKF antaa arvoksi taulukon mukaan 680Ω.

6.3.3 Laakerivirrat

Kuten edellä mainittiin, suurin yksittäinen syy moottoreiden rikkoontumisiin ovat laakerivauriot. Laakerivaurioihin on olemassa monta syytä ja yleensä laakerin tuhoutuminen ei johdu yhdestä ainoasta syystä. Yhtenä vaihtoehtona ja todellisena syynä pidetään laakereiden läpi kulkevia sähkövirtoja eli laakerivirtoja. (7,8,11)

Laakerivirtojen esiintyminen on mahdollista koko sähkömoottoreiden eliniän ja käytön aikana. Etenkin viime vuosina laakerivirtojen esiintymiset ja niiden aiheuttamat vahingot ovat lisääntymään päin. Laakerivirtojen suuriin esiintymistiheyksiin vaikuttavat uudet nopeussäädetyt sähkömoottorikäytöt, eli toisin sanoen taajuusmuuttajakäytöt. (7,8,11)

Nopeussäädetyissä käytöissä tehoasteiden nousevat jännitepulssit ja korkeat kytkentä-taajuuudet voivat aiheuttaa laakereiden kautta purkautuvia virtapulsseja. (7,8,11)

6.3.4 Mahdollisia laakerivaurioita

Laakerit voivat alkaa tärinästä, pitää epämääräistä ääntä, kuumentua tai vierintävastus voi olla epänormaali. Näihin liittyviä syitä on taas erittäin paljon, joten tässä muutama esimerkki mahdollisista syistä:

- kuoriutuma
- nopea kuluminen: vieraat aineet
- ruostuminen
- tasapainottoman kuorman aiheuttama kuluminen

- liian suuri vällys
- löyhä sovite
- vierintäelimien puristuminen
- kuoriutumet
- painaumat (tärinästä aiheutuvia)
- vieraat hiukkaset
- ruoste
- laakerin vällyksen häviäminen johtuen liian tiukasta sovitteesta
- pitimen tai vierintäelimien vauriot
- ylivoitelu tai puutteellinen voitelu
- laakerivällyksen häviäminen
- aksiaalinen ylikuorma johtuen virheellisestä asennuksesta
- pidikkeen vääntyminen
- voitelun huonontuminen
- tiivistevaurio tai tiivisteen siirtyminen

Laakerivaurioita on mahdollista myös korjata, mutta on hyvä muistaa muutama asia ennen irroittamista ja sen jälkeen:

Ennen irroittamista

- Olosuhteet tulee merkitä muistiin:
- lika
- lämpötila
- voiteluainehävikki
- ääni
- vierintävastus
- vaurion kehitys
- laakerin asento laakeroinnissa

Irroituksen jälkeen on tarkistettava:

- pidikkeen ja vierintäelimen kunto
- vieraiden hiukkasten esiintyminen selviää pesemällä laakeri ja suodattamalla pesuneste
- voiteluaine, tiivisteet ja suoja pellit tulee säilyttää
- akselin ja pesän sovitteen tarkistus
- olakkeet: epäsuoruudet, lohkeilut, soviteruoste jne.

(Laakerikeskuksen [www-sivut](#).)

7 LOPPUTULOS

7.1 Yhteenveto

Moottorin hajoamiseen johtaneen lopputuloksen syyn toteaminen on mahdotonta, mahdollisuuksien laajuuden vuoksi. On kuitenkin asioita teoriassa esitettävänä, mitkä johtivat rikkoutumiseen. Alunperin tutkein asiaa moottorin alumiinirakenteen rikkoutumisella, ja siinä olevilla valuvioilla. Kuitenkin asioiden edetessä ja asiantuntijoita haastatellessa tuli eteen se todennäköisempi vaihtoehto ja suurin ja yleisin syy moottoreiden hajoamiseen, laakerivaurio. Akselin toisen pään laakeri on irroitettaessa vahingoittunut niin pahasti, että siitä ei saanut todettua vikaa, mutta toisen pään laakeria testatessa ilmeni laakerivika, joka voi olla mahdollisesti tullut myös moottorin rikkoutumisen aikana. Kuitenkin on selvää, että laakerivaurion sattuessa se ylikuumenee, joka voi johtaa suuriin tuhoihin esim. kiinnileikkautuessaan. Tällöin moottori hajoaa (kuten tässä tapauksessa kävi), eli roottori ottaa staattoriin kiinni ja sen seurauksena myös suuret voimat hajoittavat moottorin fyysisesti. Laakeri on myös sellaisessa paikassa, että se voi saada vettä ja se ei missään nimessä ole hyvä vaihtoehto laakerin kestävyuden kannalta. Seuraavaa moottoria asennettaessa olisikin siis syytä kytkeä moottoriin kierroslukurajoitin ja suojata laakeri huomattavasti paremmin vedeltä ja liialta. Myös akselin värinän mittaus ja laakereiden kuuntelu pitäisi tehdä ennen käyttöä ja hetken käytön jälkeen, jotta saataisiin mahdolliset tulevat vikatilanteet ja sen myötä tulevat vauriot estettyä ja estettyä. Tämän projektin aikana on tullut erittäin paljon merkittävää tietoa sähkömoottoreista, laakereista ja laakerivioista.

LÄHTEET

1. Bellis, M. 2012. History of Electric Vehicles. Viitattu 19.6.2012. <http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>
2. Sähköautot – NYT! www-sivut. Viitattu 30.6.2012. <http://www.sahkoautot.fi>
3. Rinne, H. Huoltopäällikkö. Rauman sähkökonehuolto puhelinhaastattelu 31.03.2014
4. Rätty, H. 2011. Sähkömoottoreiden kunnonvalvonta. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.4.2014. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105168029>
5. Myntti, M. 2014. Satakunnan ammattikorkeakoulun sähköautoprojektin moottori, moottoriohjain ja latauksen ohjaus. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.4.2014.
6. Taberman, J. 2014. Satakunnan ammattikorkeakoulun sähköautoprojektin 12V järjestelmä. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.4.2014.
7. Fläkt Woods Oy. Laakerivauriot kuriin oikealla asennuksella [verkkodokumentti]. Fläkt Woods Oy. 2007. <http://www.flaktwoods.com/df8d0d8-9af5-4ec6-8dca-95e79283eb4a>. 15.12.2010
8. Fläkt Woods Oy. Taajuusmuuttajakäyttöjen laakerivikoja voidaan välttää [verkkodokumentti]. Fläkt Woods Oy. 2005. <http://www.flaktwoods.com/2f950ca9-9360-44eb-af6c-054c85411850>. 15.12.2010
9. Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Valopaino.
10. ABB. Tekninen opas nro 5 [verkkodokumentti]. ABB. 2000. [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccb5eb991fc1256d280083a4d2/\\$file/Tekninenopasnro5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccb5eb991fc1256d280083a4d2/$file/Tekninenopasnro5.pdf). 3.1.2011
11. Laakerikeskuksen www-sivut. 2014. <http://laakerikeskus.fi/laakerivaurio.html>
12. Aura L., Tonteri A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY.
13. SKF www-sivut. 2014. Viitattu 1.4.2014. <http://www.skf.com>.

The RPM Reducer has four wires soldered to the PCB.

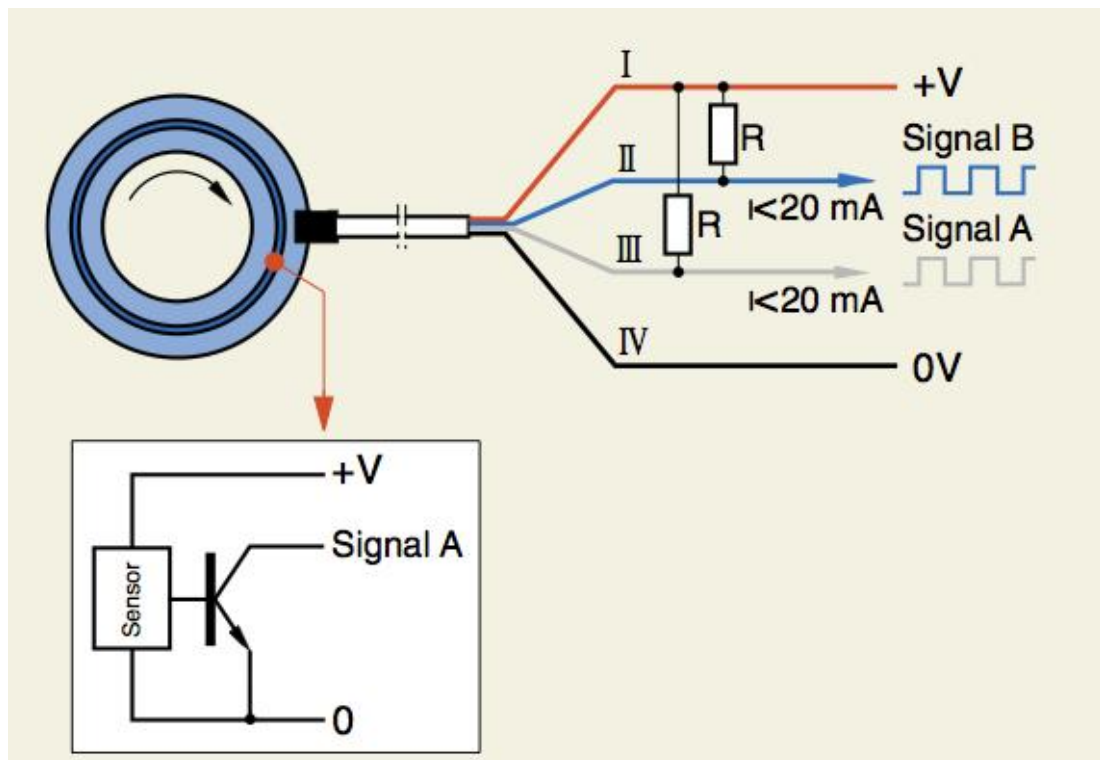
Red: " " +12V

Black: " Ground

Brown:" Signal (Pulse in and Pulse out as written on the PCB)

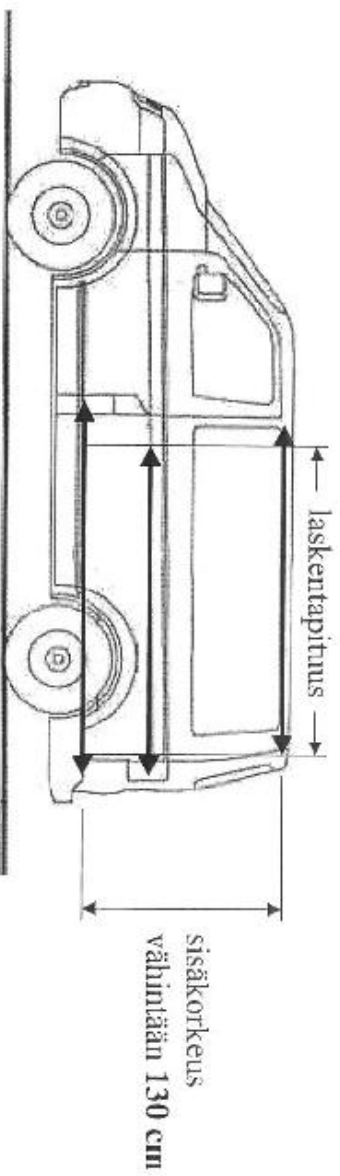
There are two more soldering pads, one next to each of the signal cables, which are unused. They are connected to ground. You have to connect one of the resistors (787Ω) between +12V and the pulse in signal from the RPM sensor bearing at the Kostov alpha. So one resistor per RPM Reducer. The 2nd is spare. From the RPM sensor, you can use either the blue wire or the white one. Both wires have the same signal, just time shifted to recognize the rotational direction, which we don't need. (Picture attached)

The Alpha puts out 80ppt and the RPM Reducer divides this signal by 40. So make sure, you set the Soliton Tach input to 2ppt.



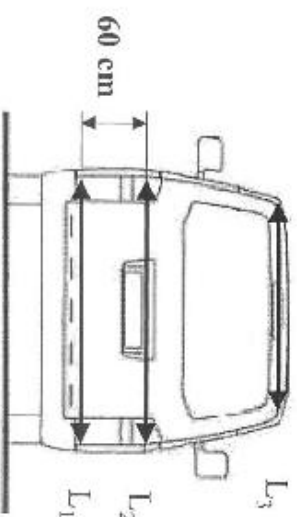
Alennetun veron pakettiautot, umpinainen tavaratila, Autoverolaki 23 §

Ylimmän suorakulmion pituus vähintään 120 cm

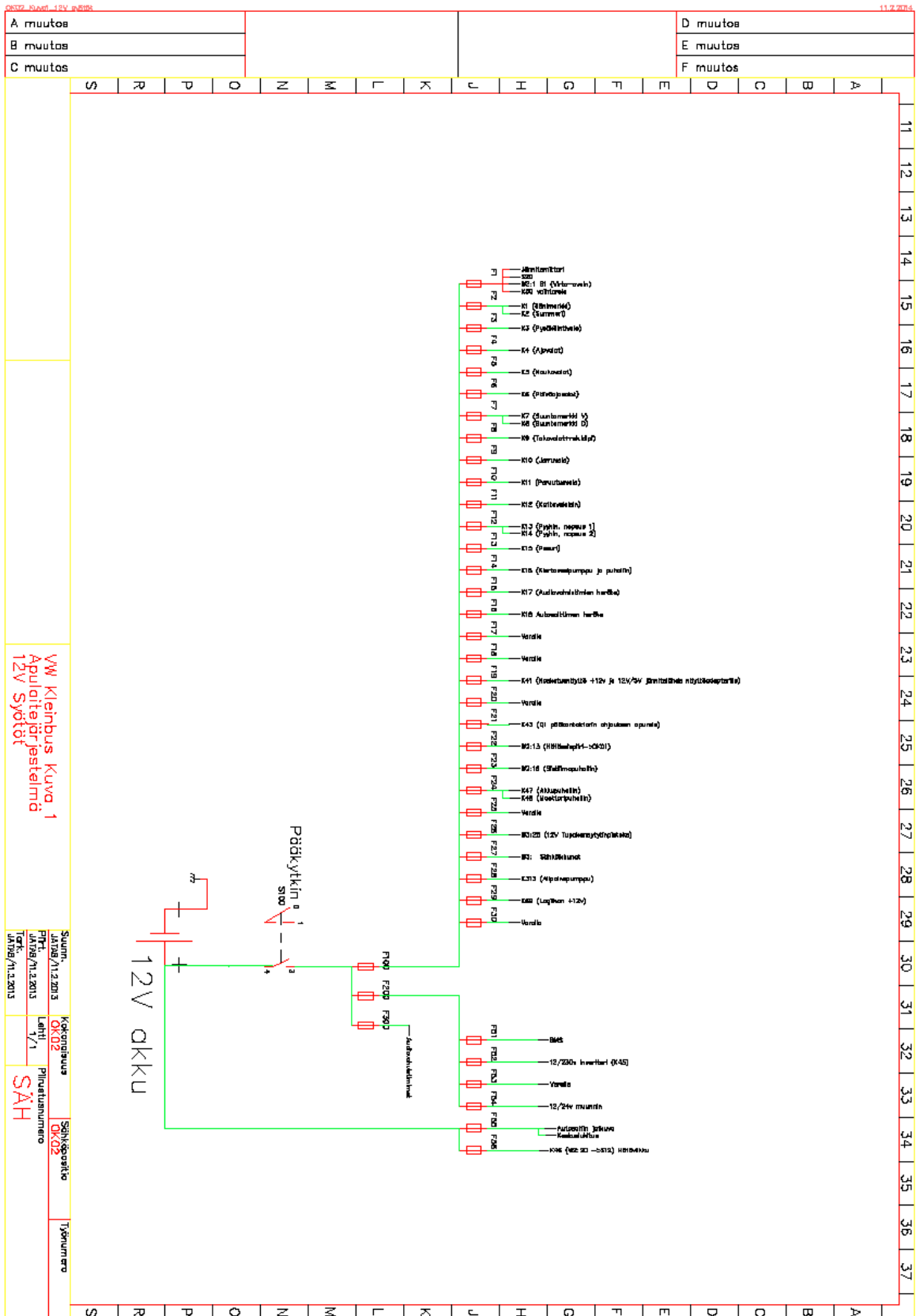


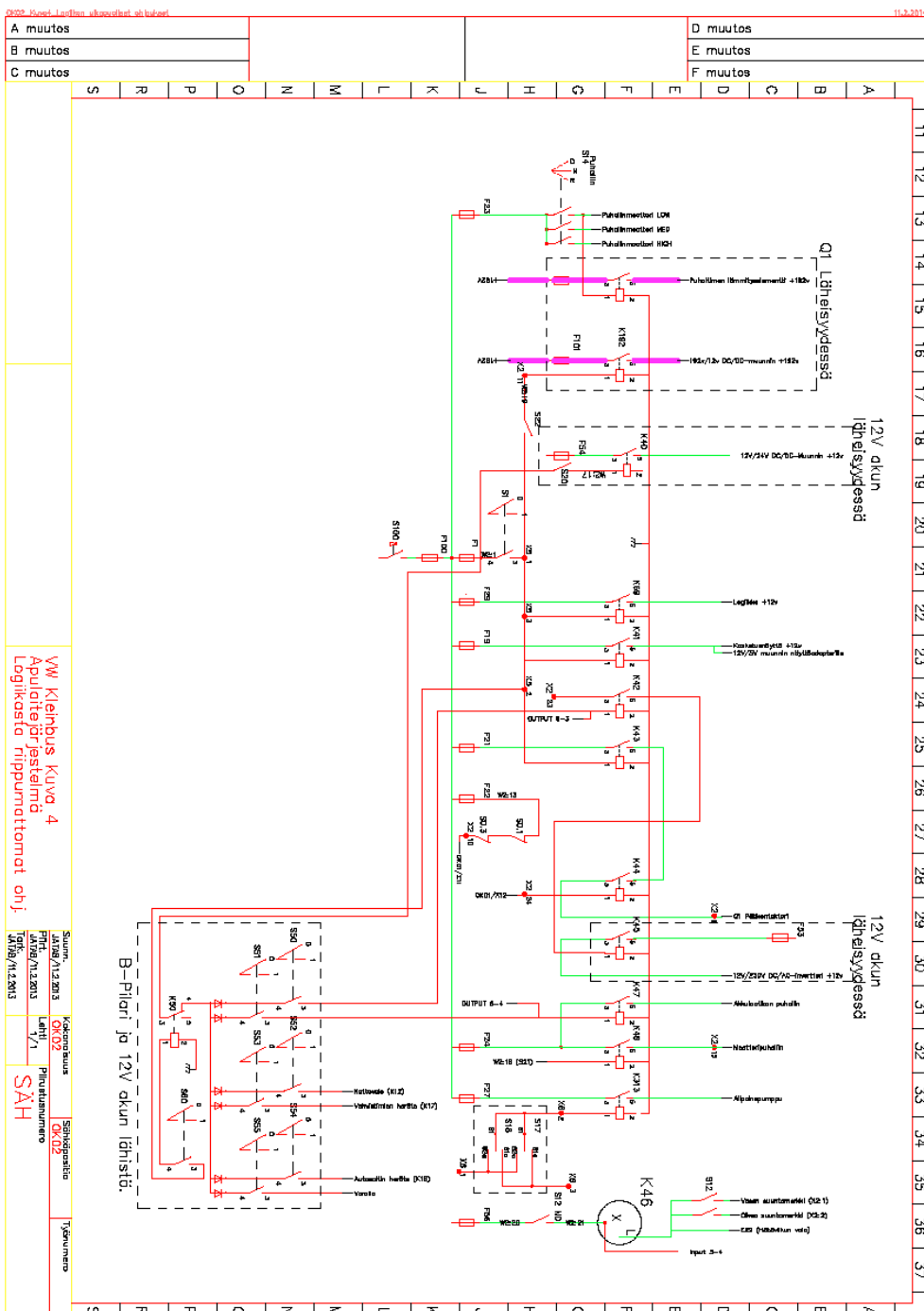
- tilavuus vähintään 3 m³
- lasketaan seuraavalla tavalla:
 - pinta-alat kolmella tasolla (laskentapituus x leveys $L_{1,2,3}$) ja niiden keskiarvo
 - kerrotaan korkeudella
 - vähennetään pyöränkotelot ja muut rakenteet
- kokonaismassan ja oman massan erotus vähintään 525 kg

Ylimmän suorakulmion leveys vähintään 80 cm



LIITE 3





WI Kleinhuis Kuva 4
 Apulaitteiden ja
 Logiikasta riippumattomat ohj.

Suunn.
 JAVR/11.2013
 Piltti: JAVR/11.2013
 Pilttitunnus: 1/1
 SÄHKÖSUUNNITTELU
 Käynnistys
 Tyyppinumero

Taulukko1

Kleinbus kytkentälista

IO -lista Nimike	Tyyppi	Input	Kytkenä: Liitin/johdin
Aänimerkki	Input	1-1	W2:3
Suuntamerkki,vasen	Input	1-2	W2:4
Suuntamerkki,oikea	Input	1-3	W2:5
Valokytkin kaukoajovalot	Input	1-4	W2:6
tuuliasin pyyhin asento 1	Input	2-1	W2:7
tuuliasin pyyhin asento 2	Input	2-2	W2:8
Pesu	Input	2-3	W2:9
valokytkin parkkivalot	Input	2-4	W2:10
valokytkin lähijovalot	Input	3-1	W2:12
Valokytkin Pälväajovalot	Input	3-2	W2:11
Hätäviikut pääliä-öeto	Input	3-3	W2:21 (K46)
Eteenpäin	Input	3-4	X2:4
"Vapaa" vaihde	Input	4-1	W2:14
Peruutus	Input	4-2	X2:6
Hätäseis/Johto seinässä	Input	4-3	X2:8 (K44)
Etuovien aukiototeleto	Input	4-4	W3:38
Jarrun toimintahäiriö	Input	5-1	X6:3
Jarrun tilatoteleto	Input	5-2	X6:2
Moottorinohjaimen toimintahäiriö	Input	5-3	X2:19
Latauksessa	Input	5-4	X2:9
Nopeusanturi	Input	6-1	
Varalla	Input	6-2	
Varalla	Input	6-3	
Varalla	Input	6-4	
Varalla	Input	7-1	

Nimike	Tyyppi	Sulake/syöttävä	Rele	Output	Liitin/johdin
äänimerkki	Output	F2	K1	1-1	W3:36
Varoitusääni sisälle	Output	F2	K2	1-2	Summerin
Pysäköintivalot	Output	F3	K3	1-3	W3:30
Lähijovalot	Output	F4	K4	1-4	W3:31
Kaukoajovalot	Output	F5	K5	2-1	W3:32
Pälväajovalot	Output	F6	K6	2-2	W3:33
Suuntamerkki,vasen	Output	F7	K7	2-3	X2:1
Suuntamerkki,oikea	Output	F7	K8	2-4	X2:2
Takavalot+rekisterikilven valo	Output	F8	K9	3-1	X2:3
Jarruvalot	Output	F9	K10	3-2	X2:5
Peruutusvalo	Output	F10	K11	3-3	X2:7
Sisävalo,matkustamo	Output	F11	K12	3-4	Sisävalolle
tuuliasin pyyhin asento 1	Output	F12	K13	4-1	W3:27
tuuliasin pyyhin asento 2	Output	F12	K14	4-2	W3:28
Pissapöika	Output	F13	K15	4-3	W3:29
Kiertovesipumppu+puhallin	Output	F14	K16	4-4	Pumpulle
Audiovahvistimien heräte	Output	F15	K17	5-1	Vahvistimille
Autosoitinien heräte	Output	F16	K18	5-2	W3
Varalla	Output	F17	K19	5-3	
Invertterin ohjaus	Output	X2:23	K42	6-3	K45
Akkuaatikon puhallin	Output	F24	K47	6-4	Puhallimille

Taulukko1

OK02/X1 kytkentäräma kojelaudassa		
Liitin	Tulo	Lähtö
0	X1:0	
0	X1:0	12 Source ratiile (pyyhin)
0	X1:2	12v Source ratiile (vilkku)
1	W2:1	S1
2	W2:2	S1
3	W2:3	S6 (äänimerkki)
4	W2:4	S7 (suuntamerkki V)
5	W2:5	S7 (suuntamerkki O)
6	W2:6	S8 (Kaukovaio)
7	W2:7	S9 (Pyyhkiä 1)
8	W2:8	S9 (Pyyhkiä 2)
9	W2:9	S10 (Pesu)
10	W2:10	S11 (Valokytkin P)
11	W2:12	S11 (Valokytkin Ajo)
12	W2:11	S11 (Valokytkin Päiva)
13	W2:13	S13 (Vaihde D)
14	W2:14	S13 (Vaihde N ei käytössä)
15	W2:15	S13 (Vaihde R)
16	W2:16	Puhallin
17	W2:17	S20
18	W2:18	S21
19	W2:19	S22
20	W2:20	S12
21	W2:21	S13
22	W2:22	S14
23	W2:23	S0.1 (Hätä-sele)
24	W2:24	S0.1 (Hätä-sele)

OK02/X2 kytkentäräma penkin alla		
Liitin	Tulo	Lähtö
1	W1:1	K7:5
2	W1:2	K8:5
3	W1:3	K9:5
4	W1:4	W2:13+Input 3-4
5	W1:5	K10:5
6	W1:6	W2:15+Input 4-2
7	W1:7	K11:5
8	W1:8	Input 4-3
9	W1:9	Input 5-4
10	W1:10	S0.3
11	W1:11	W2:19
12	W1:12	Varalla
13	W1:13	Varalla
14	W1:14	Kytkemättä
15	W1:15	Kytkemättä
16	W1:16	Kytkemättä
17	W1:17	Kytkemättä
18	W1:18	Kytkemättä
19	W1:19	Input 5-3
20	W1:20	Varalla
21	W1:21	Varalla
22	W1:22	Varalla
23	W1:23	K42:3
24	W1:24	K44:1

Taulukko1

OK02/X3 kytkentäräma moottoriliassa

Liitin	Tulo	Lähtö
	1W1:1	Suuntamerkki, Vasen
	2W1:2	Suuntamerkki, Oikea
	3W1:3	Talka-ajovalot
	4W1:4	R-valhde kontaktorille+MC IP 1
	5W1:5	MC brake input
	6W1:6	D-Valhde kontaktorille
	7W1:7	Peruutusvalot
	8W1:8	Q1:A1
	9W1:9	OK01/X:12
	10W1:10	OK01/X:11
	11W1:11	K192:A1
	12W1:12	Varalla
	13W1:13	Varalla
	14W1:14	MCOP1
	15W1:15	MCOP2
	16W1:16	MCOP3
	17W1:17	MCIP2
	18W1:18	MCIP3
	19W1:19	MC ERR OP
	20W1:20	Varalla
	21W1:21	Varalla
	22W1:22	Varalla
	23W1:23	OK01/X13
	24W1:24	OK01/X14

OK02/X6 kytkentäräma penkin alla

Liitin	Tulo	Lähtö
	1S17:82a+S18:82a	X5:6
	2S17:81+S18:81	K313:A1+input 5-2
	3S17:81a+S1881a	input 5-1
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	

Sulakelista

Sulake	Koko [A]	Syöttää
F100	100	F1-F30
F200	80	F51-F54
F300	100	Audiovahvistimet

F1	5	Jännitemittari+S1+K50
F2	5	K1 Äänimerkki+K2 summeri
F3	5	K3 Pysäköintivalot
F4	15	K4 Ajovalot
F5	15	K5 Kaukoajovalot
F6	5	K6 Päiväajovalot
F7	5	K7+K8 suuntamerkit
F8	5	K9 Taka-ajovalot+rek. Kilv valo
F9	5	K10 Jarruvalot
F10	5	K11 Peruutusvalot
F11	5	K12 Kattovalo
F12	10	K13+K14 Pyyhinnopeudet 1 ja 2
F13	5	K15 Pesuri
F14	5	K16 Moottorinohjaimen KV-pumppu ja puhallin
F15	5	K17 Audiovahvistimien heräte
F16	5	K18 Autosoitinheräte
F17		
F18		
F19	5	K41 Kosketusnäyttö ja signaaliadapterin 5v jännitelähde
F20		
F21	10	K43 Q1 pääkontaktorin ohjauksen apurele
F22	5	Hätäseis-piiri (syöttää +12v OK01:lle)
F23	5	Sisäilmapuhallin
F24	10	K47+K48 akkupuhallin + moottoripuhallin
F25		
F26	30	12V Tupakansytytinpistoke
F27	25	Sähköikkunat
F28	15	K313 Jarrutehostimen alipainepumppu
F29	10	K69 Logiikan +12v
F30		

F51	20	BMS
F52	30	12VDC/230VAC Invertteri
F53		
F54	30	12VDC/24VDC convertteri
F55	20	Autosoitin ja keskuslukituksen jatkuva jännite
F56	10	K46 hätävilkkureleen jatkuva syöttö