

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2017

Jarmo Pesonen

Sähköautokonversion ja ohjausjärjestelmien suunnittelu sekä toteutus

Jarmo Pesonen

SÄHKÖAUTOKONVERSION JA OHJAUSJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU SEKÄ TOTEUTUS

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa tieliikenneläillinen henkilöauto, joka täyttää Euroopan talouskomission asettaman e100 -säännöksen ja sen alaviitteet. Työssä pyrittiin ottamaan huomioon myös standardin ISO26262 -vaatimat määräykset, joka on tuore ajoneuvojen toiminnallista turvallisuutta soveltava standardi. Käytössä oli itsekantava korikehikko, johon integroitii sähköisen voimalinjan sekä muut tarvittavat komponentit. Sähköistystä varten vaadittavat mekaaniset muutostyöt toteutettiin omassa tallissani, joka sijaitsee turussa. Ohjainlaitteiden elektroniikan suunnittelu, rakentaminen ja perusohjelmointi tehtiin turun ammattikorkeakoululla sulautettujen järjestelmien -laboratoriossa. Koneistusta vaativat osat valmistettiin Koneteknologiakeskuksen koneistuslaitteita.

Aloitin opinnäytetyön tekemisen hyvissä ajoin, kun olin saanut opintoni puoleen väliin. Tavoitteeni oli saada auto valmiiksi 20kk aikana. Teoriavaiheen testaukset ja sopeutukset suoritin testipenkissä, johon auto kiinnitettiin ja lopulliset käytännön testit toteutettiin suljetulla tiealueella.

Ajoneuvo läpäisi e100 -2010 version syyskuun 2017 alkupuolella, jonka jälkeen auto oli valmis lopulliseen rekisteröinti- sekä muutoskatsastukseen. Katsastuksen auto läpäisi ensimmäisellä kerralla ilman huomautuksia.

Opinnäytetyön alussa asetettuihin aikamääreisiin päästiin ja e100 vaatimukset tämän ajoneuvon osalta saavutettiin. Nykyaikaisen ajoneuvon ohjausjärjestelmien suunnittelu ja toteuttaminen on iso prosessi, jossa täytyy huomioida kaikki ajoneuvon osa-alueet ja niiden kommunikointi toistensa välillä. Integroitu vikadiagnostiikka on seikka, joka nousi vahvasti esille projektin aikana ja jota itse pidän erityisen tärkeänä.

ASIASANAT:

Sähköauto, Can-väylä, mikrokontrolleri, hallintajärjestelmä.

BACHELOR'S | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Embedded softwares

2017 | Total number of pages 37

Jarmo Pesonen

ELECTRIC CAR CONVERSION AND CONTROLLING SYSTEMS DESIGN AND MAKING

The aim of this Bachelor's Thesis was to build a legal passenger car that meets the e100 regulation and footnotes set by the European Economic Commission and the requirements of the standard ISO26262, which is a new standard for operational safety of vehicles. The timeframe for this thesis project was 20 months.

A self-supporting chassis frame was used to integrate the electric power line and other components. The mechanical modification required for electrification was carried out in the author's own garage, which is located in Turku. The design, construction and basic programming of the control electronics was carried out at the Turku University of Applied Sciences Embedded Systems Laboratory. The parts requiring machining were manufactured by the author in the premises of Machine Technology Centre Turku Ltd.

The design phase, testing and adjustments were performed at the test bench where the car was attached and the final practical tests were carried out in the enclosed road area.

The car passed the e100 2010 version in the beginning of September 2017 after which the test car was ready for final inspection to be street legal. The car passed the tests at first attempt without any comments.

This thesis was completed within the planned timeframe and the e100 requirements for this car were met. Designing and implementing modern vehicle control systems is a long process in which the component systems of the car have to communicate with each other. Which makes integrated fault diagnostics to very important tool.

KEYWORDS:

Electric car, Can-bus, micro controller, controlling systems.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 SÄHKÖAUTO YLEISESTI	9
3 KONVERSION TAVOITTEET JA RAJOITTAVAT SÄÄDÖKSET	10
3.1 Tavoite	10
3.2 Rekisteröinti	10
3.3 Vaatimukset ja testit, kappaleen pykälät E100 2010 -version soveltamisesta tässä työssä	11
3.3.1 Suojaus sähköiskuilta	11
3.3.2 Huoltokatkaisin	11
3.3.3 Merkinnät	12
3.3.4 Suurjänniteväylien kaapelointi ja suojaus epäsuoralta kosketukselta	12
3.3.5 Maadoitus ulkoiseen tehonlähteeseen	13
3.3.6 Erillisistä tasavirta- tai vaihtovirtaväylistä koostuva sähköinen voimajärjestelmä	13
3.3.7 Yhdistetyistä tasa- ja vaihtovirtaväylistä koostuva sähköinen voimajärjestelmä	13
3.3.8 Toimintaturvallisuus	14
3.3.9 Lataus	14
3.3.10 ISO26262 -standardi	14
3.3.11 EMC	15
4 MEKAANISET MUUTOKSET JA VOIMALINJA	16
4.1 Moottorin kannake	16
4.2 Tasauspyörästä ja sen ripustukset	17
4.3 Kardaani ja vetoakselit	18
4.4 Rattiakseli ja hammastanko	18
4.5 Jousituksen muutokset	19
5 OHJAUSYKSIKÖT JA NIIDEN JÄRJESTELMÄT	21
5.1 Moottori sekä moottorin ohjausyksikkö	21
5.2 Jarrujärjestelmä	22

5.3 Ohjausjärjestelmä	23
5.4 Jousituksen tasonsäätöjärjestelmä	23
5.5 Valaisin ja ajomukavuusjärjestelmä	23
5.6 Keskikonsolin kosketusnäyttö sekä mittaristo	24
6 CAN-VÄYLÄ	26
7 AKUSTO JA LATAUSJÄRJESTELMÄ	27
7.1 Litiumioni-akuista yleisesti	27
7.2 Akusto	27
7.3 Akkumoduulin mitoitus	28
7.4 Akkumoduulin kasaus	28
6.5 Akkumoduulin kapasiteettitesti	30
7.6 Latausjärjestelmä ja BMS	32
8 TURVAJÄRJESTELMÄ	34
8.1 Hätkäkäyttö	34
8.2 EMC-suojaus	34
9 PÄÄTÄNTÖ	35
LÄHTEET	37

LIITTEET

- Liite 1. E100 mittauspöytäkirja. (pdf)
- Liite 2. Ajoneuvon tiedot. (pdf)
- Liite 3. Trafi vaihdettujen osien ohje. (pdf)
- Liite 4. MB slc electric. (kuvakollaasi)

KUVAT

Kuva 1. Suurjännitelaitteen merkintä.	12
Kuva 2. Moottorin takakannake.	16
Kuva 3. Tasauspyörästä kiinnitettynä.	17
Kuva 4. Rattiakseli ja ratti.	19
Kuva 5. Etupään paljepaketit.	20
Kuva 6. Moottorin ohjausyksikkö paikoillaan.	21
Kuva 7. Moottori ennen emc-suojausta.	22

Kuva 8. Mittaristo sekä hallintapaneeli.	25
Kuva 9. CAN-moduulin rakenne.	26
Kuva 10. kennon purkukäyrä.	28
Kuva 11. Akun kokoaminen.	29
Kuva 12. Akun juottaminen.	30
Kuva 13. Purkukäyrä jännite.	31
Kuva 14. Purkukäyrä Virta.	31
Kuva 15. Moottorin antama teho suhteessa akkujännitteeseen.	32

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
A	virran yksikkö ampeeri
AC	vaihtosähkö
CAN	ajoneuvoteollisuudessa käytetty kommunikointiprotokolla
DC	tasasähkö
E100	yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimajärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta
EMC	sähkömagneettinen yhteensopivuus
kW	tehon yksikkö
Nm	vääntövoiman yksikkö
PWM	pulssimuunnin
RPM	kierrosta minuutissa
V	jännitteen yksikkö voltti

1 JOHDANTO

Nykyautossa voi olla jopa yli 60 sähkömoottoria ajamassa erilaisia toimintoja kuten sivuikkunoiden käyttöä, liikuttamassa tuulilasinpyyhkijöitä tai puhaltamassa ilmaa auton sisälle. Autoon sisälle puhallettava ilma suodatetaan aktiivihillisuodattimen läpi, varsinkin jos ajetaan ruuhka-aikaan taajama-alueella. Tämä johtuu pelkästään siitä, että ajoneuvojen määrä on kasvanut vuosi vuodelta, vaikka ajoneuvokohtaiset päästöt ovatkin pienentyneet roimasti ei keskusta-alueiden saasteongelmiin ole sähkö- tai vetäyauton lisäksi muuta ratkaisua. Myös polttomoottorin paikallinen hyötysuhde verrattaessa sähkömoottoriin on monta kymmentä prosenttia huonompi. Myös sähköä tuottamisen sekä siirtämisen jälkeen sähköauton hyötysuhde on edelleen parempi, ei niin paljoa mutta silti puhutaan useamman prosentin erosta.

Oma ajatukseni on ladata tässä opinnäytetyössä tehtävä sähköauto pääsääntöisesti pelkästään aurinkosähköllä, koska kyseessä tulee olemaan harrasteajoneuvo, jolla ajetaan kesäisin. Aurinkopaneeleilla tai tuulienergialla ladattaessa kokonaishyötysuhde on liki 30 prosenttia polttomoottoriautoa parempi. Yleisimmät kotikäytössä olevat aurinko- tai tuulivoimat tuottavat tasasähköä, joka on helposti muunnettavissa auton ajoakkuun sopivaksi. Opinnäytetyössäni suunnittelen ja rakennan sähköauton ohjausjärjestelmät, toteutan mekaaniset muutokset sekä asennan ja spesifioin voimalinjan komponentit.

2 SÄHKÖAUTO YLEISESTI

Sähköautolla tarkoitetaan yleensä sähkömoottorilla varustettua M1-luokan ajoneuvoa, joka on henkilökuljetukseen valmistettu ajoneuvo. Koska sähköautossa ei ole ajon aikana tulevia päästöjä, on se varsin miellyttävä varsinkin kaupunkiolosuhteissa, jossa huomaa etenkin polkupyörällä liikenteen seassa ajettaessa polttomoottoriautojen pako- kaasut ja saasteet, jotka ovat suurena haittana. Jos sähköauto ladataan aurinko- tai tuulienergialla, ne ovat hyvin ympäristöystävällisiä, ja sen takia sähköautojen suosio on kasvussa. Tällä hetkellä sähköautojen suurin ongelma on akkuteknologian kova hinta, joka sekin on koko ajan laskemaan päin. Nykyisellä akkuteknologialla Li-ion on saatu jo melko hyviä teho/painosuhteita. Parhaimmillaan 280 Wh/kg, joka tarkoittaa sitä, että 300 kg:n akulla saadaan 84 kWh energiaa, se ei vedä vertoja polttonesteille kuten bensiini tai dieselöljy mutta sama energiamäärä on varastoitavissa akkuun kolme tuhatta kertaa. Täydellä varauksella keskikokoinen henkilöauto liikkuu 400 km, joka riittää suurimmalle osalle suomalaisia varsin hyvin.

Sähköautoille yhteneväistä on se, että niissä kaikissa on sähkömoottori, mutta sähköautoissa on eroja siinä millä tavalla auton tarvitsema sähkö tuotetaan. Alkuun liikenteeseen tuli hybridit jotka latasivat pientä akustoa polttomoottorista otetulla energialla, myöhemmin markkinoille on tullut yksinkertaisemmalla tekniikalla olevia ajoneuvoja, jotka ladataan maasähköverkosta. Modernein ja viimeisin innovaatio on polttokennoauto, joka saa energiansa polttokennolla tuotettavasta sähköstä. Kennon tuottama sähkö varastoidaan akkuihin, josta se johdetaan sähkömoottoriin, polttokennona ansiosta ajoakusto voi olla huomattavasti pienempi ja se toimii näin ollen välivarastona tasoittamassa piikkikulutukset. Näin ollen sähköautot voidaan lajitella kolmeen ryhmään jotka ovat täyssähkö-, hybridi- ja polttokennoautot.

3 KONVERSION TAVOITTEET JA RAJOITTAVAT SÄÄDÖKSET

3.1 Tavoite

Konversion tavoitteena oli rakentaa rullaavaa korikehikkoa käyttäen Suomen tieliikenteeseen laillinen sähköauto. Ajoneuvon voimalinja sovitetaan autoon ilman vaihdelaatikkoa, kiinteällä välityssuhteella. Ajoneuvon suunnitellaan ja tehdään käyttö sähköt sekä ohjainlaitteet ja niiden välinen kommunikointi.

3.2 Rekisteröinti

Sähköautoksi muunnettu auto on ennen tieliikenteessä käyttämistä hyväksyttävä joko rekisteröinti- tai muutokatsastuksessa. Muutokatsastuksessa vaaditaan vaihdettujen osien lista, joka on oltava alle 50% auton osien kokonaismäärästä. Vaihdettujen osien kaavake rakentamista koskevan asetuksen [3] liitteessä.

Muutokatsastuksen sisältö lainattu Trafín sivuilta. "Muutokatsastuksessa on esitettävä selvitys muutoksessa käytettävistä osista, osien sopivuudesta muutoksen kohteena olevaan autoon, osien kiinnitystavasta ja mahdollisista vahvistuksista sekä tarvittaessa vaihdettavien osien tai muutettavien rakenteiden lujuudesta. Osien vaihtamisesta ja korvaamisesta toisen ajoneuvon osilla" Tehdasvalmisteisten, esim. toisesta autosta otettujen osien tai tarvikkeiden soveltuvuus voidaan osoittaa, että osa on tarkoitettu tyyppi hyväksytyyn, painoltaan ja suorituskyvyltään vastaan tai suurempaan autoon. Tai osan valmistajan antamalla lausunnolla, joka selvennetään Trafín sivulta lainatulla sisällöllä. "Tehdasvalmisteisina osina voidaan pitää sarjatuotantomaisesti valmistettuja osia, joiden valmistajalla voidaan katsoa olevan kyseisen tyyppisten osien valmistamiseen riittävä asiantuntemus ja kokemus." Tämä tarkoittaa sitä, että omavalmisteiset osat eivät kelpaa, jos asetus edellyttää kyseisen osan olevan tehdasvalmisteinen.

Punnitaan etu- ja taka-akselimassat, merkitään uusi omamassa ja akselimassat rekisteröinteeseen

Määritetään kantavuudet. Auton valmistajan määrittelemästä kokonaismassasta vähennetään auton punnittu omamassa. Koska kokonaismassa on kiinteä, pienenee auton

kantavuus, jos auton omamassa on kasvanut muutoksen seurauksena. Tämä saattaa tarkoittaa mm. matkustajapaikkojen poistamista.

Kirjataan muutettujen osien osuus auton osista, tarkastetaan että muutosten osuus on alle 50%.

Jos auto on EY-tyyppihyväksytty, sitä ei saa muuttaa siten, että tyyppihyväksyntävaatimukset eivät täyty. EY-tyyppihyväksytyt ovat käytännössä kaikki 1.1.1998 tai myöhemmin ensirekisteröidyt autot sekä monet tätä vanhemmatkin 1990-luvun autot. Tässä tapauksessa ajoneuvon kori on vuodelta 1973, joka tarkoittaa turvalaiteiden osalta sitä, ettei turvatyynyjä, ajonvakautusjärjestelmiä sekä ABS-jarruja vaadita.

3.3 Vaatimukset ja testit, kappaleen pykälät E100 2010 -version soveltamisesta tässä työssä

3.3.1 Suojaus sähköiskuilta

Nämä sähköturvallisuusvaatimukset koskevat suurjänniteväyliä silloin, kun ne eivät ole kytkettyinä ulkoiseen suurjännitetehtonlähteeseen.

Jännitteellisten osien on oltava suojattuja suoralta kosketukselta vaatimusten mukaisesti. Suojien (kiinteiden eristimien, suojusten, koteloiden jne.) on oltava sellaisia, ettei niitä voi avata, purkaa tai poistaa ilman työkaluja.

Matkustamossa tai tavaratilassa olevat jännitteelliset osat on suojattava suojausluokan IPXXD mukaisesti ja muualla kuin matkustamossa tai tavaratilassa olevat jännitteelliset osat on suojattava suojausluokan IPXXB mukaisesti.

3.3.2 Huoltokatkaisin

Huoltokatkaisimen, joka voidaan avata, purkaa tai irrottaa ilman työkaluja, on oltava suojausluokan IPXXB mukainen silloin, kun se avataan, puretaan tai irrotetaan ilman työkaluja.

3.3.3 Merkinnot

Korkeajännitteen sisältävissä kytkentäkoteloidissa sekä korkeajänniteakussa tai sen läheisyydessä on oltava kuvassa 1 esitetty symboli. Symbolin taustan on oltava keltainen ja reunuksen ja nuolikuvion musta.



W012

Kuva 1. Suurjännitelaitteen merkintä.

Edellä tarkoitetun symbolin on oltava näkyvässä myös koteloidissa ja suojuksissa, joiden poistaminen paljastaisi suurjännitepiirien jännitteellisiä osia. Tämän vaatimuksen soveltaminen suurjänniteväylillä oleviin liitälaitteisiin on valinnaista. Vaatimusta ei sovelleta seuraavissa tapauksissa:

- a) kun suojuksia tai koteloidia ei voida koskettaa fyysisesti, avata tai poistaa ilman että ajoneuvon osia poistetaan työkaluja käyttämällä;
- b) kun suojuksia tai kotelot sijaitsevat ajoneuvon lattian alla.

3.3.4 Suurjänniteväylien kaapelointi ja suojaus epäsuoralta kosketukselta

Suurjänniteväylien kaapeleissa, jotka eivät ole koteloitu, on oltava oranssi ulkokuori.

Epäsuoran kosketuksen aiheuttamalta sähköiskulta suojauksen vuoksi jännitteelle alttiit kosketeltavat osat, kuten johtava suojuks ja kotelo, on liitettävä galvaanisesti sähköiseen alustaan sähköjohtimella tai maajohtimella taikka hitsaamalla, ruuviliitoksella tai vastaavalla tavalla niin, että vaarallisia potentiaaleja ei pääse muodostumaan. Jännitteelle

alttiiden osien liittäminen sähköiseen alustaan tulee suorittaa siten, että resistanssi on pienempi, kuin $1,0 \Omega$, kun virran voimakkuus on vähintään $0,2 \text{ A}$.

Tämä vaatimus täyttyy, jos galvaaninen liitäntä on muodostettu hitsaamalla.

3.3.5 Maadoitus ulkoiseen tehonlähteeseen

Sellaisissa moottoriajoneuvoissa, jotka on tarkoitettu kytkettäväksi maadoitettuun ulkoiseen tehonlähteeseen liitäntäjohdon kautta, on oltava laite, joka mahdollistaa sähköisen alustan galvaanisen kytkennän maahan. Laitteen on muodostettava yhteys maahan ennen kuin ulkoinen jännite kytketään ajoneuvoon ja säilytettävä yhteys kunnes ulkoinen jännite on kytketty irti ajoneuvosta.

Tämän vaatimuksen noudattaminen voidaan osoittaa joko käyttämällä ajoneuvon valmistajan määrittelemää liitintä tai analyysin avulla.

3.3.6 Erillisistä tasavirta- tai vaihtovirtaväylistä koostuva sähköinen voimajärjestelmä

Jos suurjännitteiset tasa- ja vaihtovirtaväylät on erotettu toisistaan galvaanisesti, suurjänniteväylän ja sähköisen alustan välisen erotusresistanssin on oltava vähintään 100Ω tasavirtaväylien käyttöjännitteen voltia kohden ja vähintään 500Ω vaihtovirtaväylien käyttöjännitteen voltia kohden.

Mittaus on tehtävä erotusresistanssin mittaamenetelmää käyttäen, esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

3.3.7 Yhdistetyistä tasa- ja vaihtovirtaväylistä koostuva sähköinen voimajärjestelmä

Jos suurjännitteiset vaihto- ja tasavirtaväylät on yhdistetty galvaanisesti, suurjänniteväylän ja sähköisen alustan välisen erotusresistanssin on oltava vähintään 500Ω käyttöjännitteen voltia kohden.

Suurjänniteväylän ja sähköisen alustan välinen erotusresistanssi voidaan osoittaa laskelmin tai mittauksin taikka molemmilla tavoilla.

Mittaus on tehtävä erotusresistanssin mittausmenetelmää käyttäen, esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

3.3.8 Toimintaturvallisuus

Kuljettajalle on annettava ainakin lyhyt ilmoitus siitä, että ajoneuvo on aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa.

Kuljettajan on saatava ajoneuvosta poistuessaan ilmoitus (esimerkiksi valo- tai ääni-merkki), jos ajoneuvo on vielä aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa. Vaatimuksen täytyminen on osoitettava käyttäen ajoneuvon valmistajan määrittelemää liitintä.

Ajosuunnan ohjausyksikön asento on ilmoitettava kuljettajalle.

3.3.9 Lataus

Latauksen vaiheisiin ei saa olla mahdollista vaikuttaa manuaalisesti. Latausvaiheiden ohjausjärjestelmään eivät saa vaikuttaa normaalit toiminnot, kuten kytkentä sähköverkkoon tai irrottaminen sähköverkosta, tai sähkökatkot. Merkittävistä lataushäiriöistä on annettava pysyvä ilmoitus kuljettajalle. Merkittävänä pidetään häiriötä, joka voi myöhemmin johtaa ajoneuvolaturin toimintahäiriöön latauksen aikana.

3.3.10 ISO26262 -standardi

Standardi tulee olemaan isona osana autojen yhä modernisoituessa, tässä työssä pyritään huomioimaan ISO26262 -standardin asettamia vaatimuksia mahdollisuuksien sallimissa rajoissa.

Tämä pitää sisällään toiminnallisen turvallisuuden asettamat vaatimukset sekä muodolliset turvallisuuden hallintaprosessit. Eri komponenttien riski- sekä vikatilanteiden analyysit. Myös turvallinen laitteiston ja ohjelmistojen kehitys huomioidaan mahdollisten tietoturvariskien osalta.

3.3.11 EMC

Euroopan yhteisöjen komission direktiivin 72/245/ETY liite 1 ajoneuvoja ja niihin asennettavien sähkölaitteita/elektronisia laitteita koskevat vaatimukset kohdan 1. soveltamisalan mukaan direktiivin alaan kuuluvat:

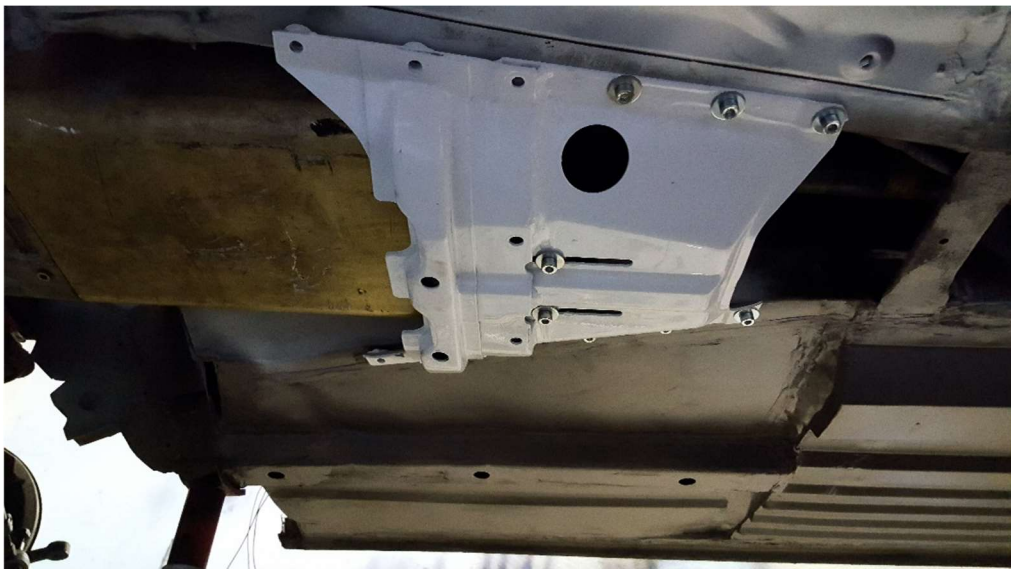
- ”vaatimukset, jotka koskevat säteilevien ja johtuvien häiriöiden sietoa toiminnoissa, jotka liittyvät ajoneuvon välittömään hallintaan, kuljettajaan, matkustajien ja muiden tienkäyttäjien turvallisuuteen ja sellaisiin häiriöihin, jotka aiheuttaisivat sekaannusta kuljettajalla tai muille tienkäyttäjille,
- vaatimukset, joilla rajoitetaan ei-toivottuja säteileviä ja johtuvia häiriöitä sähköisen ja elektronisen laitteistojen suojelemiseksi sille tarkoitettua käyttöä varten omassa ja vieraisissa tai läheisissä ajoneuvoissa sekä rajoitetaan ajoneuvon mahdollisesti myöhemmin asennettavista apulaitteista peräsin oleva häiriöitä.”

EMC- suojauksella (sähkömagneettinen yhteensopivuus) tarkoitetaan sitä, että laite ei saa häiritä muita sähkölaitteita tai itseään. Lisäksi laitteen tulee sietää muualta tulevia häiriöitä. Sähköauto ei saa häiritä auton omia järjestelmiä toimiakseen tarkoituksenmukaisesti ja luotettavasti. Pahimmassa tapauksessa EMC:n kannalta heikoin osa voi rikkoontua tai se voi aiheuttaa ei-haluttua käytöstä auton hallintajärjestelmissä.

4 MEKAANISET MUUTOKSET JA VOIMALINJA

4.1 Moottorin kannake

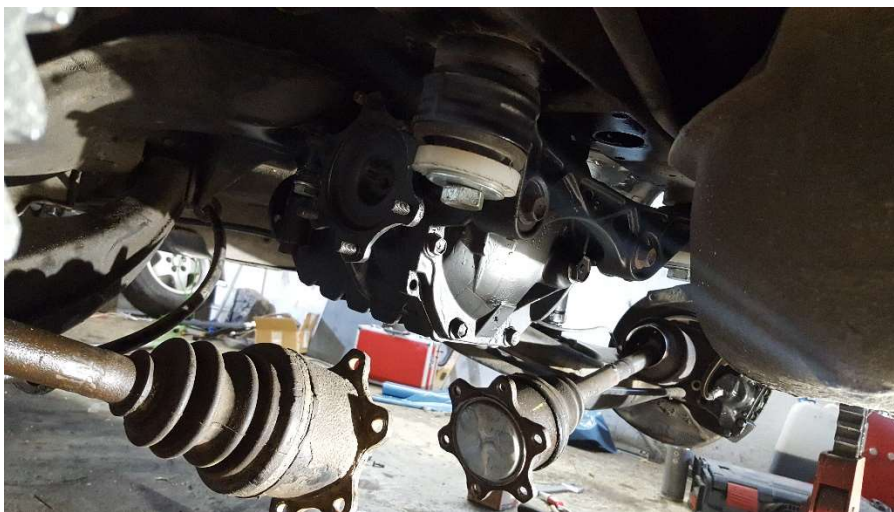
Moottorin mahdollisia asennuspaikkoja oli useampi vaihtoehto, koska kyseessä tulee olemaan takavetoinen auto. Mahdollisia asennuspaikkoja olivat tasauspyörästä veto-puolen jatkeeksi, alkuperäisen moottoritilaan tai vaihtoehtoisesti kardaanitunnelin alkupäähän jolloin paino jäisi etuakselille. Moottorin kuivapaino ilman kaapelointia tai jäähdytysnestettä on 95 kg, sekä ohjausyksiköltä tulevien vaihejohtimien pituus saa enintään olla 1m/vaihejohdin joka toteutui sillä, että asensin moottorin kardaanitunnelin alkupäähän, johon muokkasin sille sopivan tilan. Näin sain painopisteen mahdollisimman alas ja 85% siitä etuakselille. Moottorin etupään kannatuspisteinä toimii etuakseliston poikittaispalkki, johon on asennettu kaksi värinävaimenninta, joiden päälle kannakerauta on pultattu kiinni. Takakannakkeena toimii moottorin takapäähän pultattu teräskehikko, joka on kiinnitetty värinävaimentimen ja asennusraudan (kuva 2) avulla kardaanitunnelin kotelo kummaltakin puolelta tukeviin L-profiileihin. Tukeva etukannake pitää huolen, ettei moottori pääse vääntämään tukirakenteita sen tuottaman hurjan väännön ansiosta. Tämä on mahdollista, kun moottorin tuenta ei tule tarpeeksi leveälle alalle pyörimissuuntaan nähden.



Kuva 2. Moottorin takakannake.

4.2 Tasauspyörästö ja sen ripustukset

Tasauspyörästön valinta ei ollut helppo koska käyttööni sopivia sekä budjettiin mahtuvia ei juurikaan löytynyt. Vaatimuksiin kuului jousikuormitteinen lukkoperä. Se tarkoittaa, että liukkaalta alusta liikkeelle lähdettäessä kumpikin pyörä pyörii eikä vain se kummassa on vähemmän kitkaa. Tämän lisäksi välityssuhteen pitää olla noin 5:1 johtuen siitä, ettei autossa ole vaihdelaatikkoa. 5:1 tarkoittaa sitä, että moottorin akselin pyöriessä 5 kierrosta ovat auton pyörät pyörineet yhden kierroksen. Kun moottorin kierrosluku on 10000 kierrosta minuutissa, voidaan laskea mikä on optimi hyötysuhteella oleva nopeus ja mikä on auton teoreettinen huippunopeus. $\text{Max rpm} / \text{välityssuhde} * (\text{renkaan ympärysmitta}) = \text{teoreettinen huippunopeus}$. Teoreettinen huippunopeus 204 km/h, kun renkaan ympärysmitta on 1,7 m. Paras hyötysuhde saavutetaan vauhdissa 80—110 km/h. Tasauspyörästöksi valikoitui Toyotan LSD-tasauspyörästö, jossa on 4,444 välityssuhde. Teoreettinen huippunopeus kasvoi 230 km/h ja hyötysuhde siirtyi 95—125 km/h, jotka olivat edelleen hyväksyttävät arvot. Lisäksi tässä tasauspyörästössä on se hyvä puoli, että se kestää kovaa kuormitusta. Tasauspyörästön linjaaminen ja kiinnittäminen vei reilusti aikaa, asentamisessa ja kohdan hakemisessa käytin hyväksi laserlinjuria, että sain akselit kohtaamaan millilleen moottorin kanssa. Kiinnittäminen tapahtui etummaisten kiinnikkeiden osalta taka-apurunkoon, johon upotin ja hitsasin 4 kpl M14 kierteillä olevia kovia muttereita. Takakannakkeelle tein sopivat ohjainakselit poikittain olevaan kannatinpalkkiin, johon sorvasin uretaanipuslat sekä asensin ohuet värinävaimentimet niiden väliin. (kuva 3)



Kuva 3. Tasauspyörästö kiinnitettynä.

4.3 Kardaani ja vetoakselit

Kardaanille kohdistuva vääntö on sama, jonka moottori pystyy tuottamaan. Välissä on vain yksi värinävaimenninkumi, joka on luokiteltu kestäämään 1200 Nm vääntövoiman. Kardaenin teetin Ko-Met Oy nimisessä yrityksessä, joka on erikoistunut kardaaniakselien tekemiseen ja kunnostamiseen. He tekivät 3 mm:n paksuisesta ja 70 mm:n halkaisijaltaan olevasta putkesta mittatilaustyönä olevan akselin kahdella nivelristikolla. Kardaanin laskennallinen voiman kesto on hieman yli 2000 Nm. Vetoakselit ovat alkuperäiset Toyota Hiacen vetoakselit, joista purin nivelet pois ja sorvasin niiden päälle rei'itetyt putket, joiden seinämävahvuus oli 7mm. Hitsasin vahvikkeet, aluksi reikien kautta alkuperäisiin akseleihin kiinni ja lopuksi hitsasin ne vielä ympäriinsä kummastakin päästä. Vetoakselien vahvistus oli välttämätön, koska niille kohdistuu 4500 Nm voima kiihdytystilanteessa.

4.4 Rattiakseli ja hammastanko

Hammastangon eli ohjausvaihteen asentaminen tapahtui pulttaamalla etuapurunkoon hitsattuun kehikkoon. Hammastangon valinnassa ja asentamisessa oli huomioitava se, että sen akselimassa riittää kyseiseen ajoneuvoon sekä se, ettei mahdollinen töyssyohjaus (bumbsteer) jää mahdollisimman pieneksi. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että hammastangon pyörän napaan kiinnittyvä tanko tulee samasta kulmasta, kuin ylä- ja alatukivarret tulevat. Lisäksi sen pitää olla keskitetty niiden keskelle. Näin ollen jousituksen korkeus ei vaikuta eturenkaiden kääntökulmaan. Tässä tapauksessa töyssyohjaus jäi huomattavasti pienemmäksi mitä alkuperäisellä ohjausjärjestelmällä.

Hammastangon asennuksen jälkeen oli mahdollista kohdistaa ja asentaa rattiakseli jossa on sähköinen tehostus. Tässä vaiheessa oli otettava huomioon, että akselin boorit osuvat hammastangon vastakappaleeseen luonnollisesti, eikä siihen kohdistu sivullepäin kohdistavia voimia. Rattiakselin asento määrää myös ohjauspyörän asennon, joka on makuasia. Ratti jäi lyhyen akselinsa takia liian lähelle mittaristoa, joten sorvasin siihen 80 mm jatkopalan alumiinista. Näin sain asennettua ratin itselleni sopivaan kohtaan. (kuva 4.)



Kuva 4. Rattiakseli ja ratti.

4.5 Jousituksen muutokset

Olin suunnitellut autoon ilmajousituksen siltä varalta, että auton paino kasvaisi akuston myötä alkuperäistä suuremmaksi. Ilmajousituksella ja tarpeeksi järeillä ilmapalkeilla pystytään kantamaan kuorma ryhdikkäästi. Eteen mitoitin halkaisijaltaan 5,5” ilmapalkeet joiden kuormankantokyky on 600 kg palje. Näin ollen etuakselin maksimi kantavuus olisi 1200 kg, joka riittää kyseiseen autoon hyvin. Taakse mitoitin valmiin ilmajousi ja iskunvaimennin paketin, jonka kuormankantokyky on yhteensä 1400 kg taka-akselille. Etujousien asentamiseen piti tehdä 130 mm korkeat korotuspalat ja porata alatukivarteen uudet kiinnitysreiät ilmapalkeille. (kuva 5.)



Kuva 5. Etupään paljepakit.

Takapään rakennetta jouduin muokkaamaan hieman, nostamalla jousi sekä iskunvaimennintornia 40 cm ylöspäin ja hitsaamalla sen runkopalkin kylkeen alkuperäisellä tavalla. Käyttämäni iskunvaimentimet ovat 20 cm pidemmät, kuin auton alustaan alun perin tarkoitettut. Korkeuden puolesta säätövaraa on nyt enemmän, sekä ajomukavuus on huomattavasti parempi.

5 OHJAUSYKSIKÖT JA NIIDEN JÄRJESTELMÄT

5.1 Moottori sekä moottorin ohjausyksikkö

Moottorinohjausyksikkö eli tässä tapauksessa taajuusmuuttaja, joka muuntaa akustolta tulevan tasajännitteen moottorille sopivaksi vaihtosähköksi. Tässä työssä sain käyttööni Scott Drive SD300 -taajuusmuuttajan, joka kykenee hieman yli 300 kW antotehoon. Tässä moottorin ohjaimessa on tuki Can-väylälle ja se on esiohjelmoitu lähettämään noin kahtakymmentä eri datatietoa Can-väylään. Lisäksi siinä on regenerointi, joka tarkoittaa jarrutustehon muuntamista sähkötehoksi takaisin akustolle. Moottorinohjaimen asensin mahdollisimman lähelle moottoria, että jo aiemmin mainitsemani vaihejohtimet jäisivät mahdollisimman lyhkäisiksi, tässä piti huomioida myös se, että ne ovat tismalleen yhtä pitkiä ja emc-häiriösuojattuja ristiin punotulla terässukalla. (Kuva 6.)



Kuva 6. Moottorin ohjausyksikkö paikoillaan.

Moottorina eli voimalähteenä toimii erittäin suorituskykyinen Siemens 1PV5138 3-vaihe-moottori. Moottorin tiedot: 150 kW / 250 A 6000 rpm, huippukierrokset on 10 000 rpm, suojausluokka ip65, enkooderina hall-anturi 64 pulssia kierroksella. Moottorille menevät vaihejohtimet ovat emc-häiriösuojattuja 50 mm² hienosäikeistä Radaflex h07v-k kaapeleita. Myös enkooderin johdin on emc-häiriösuojattu, ettei herkkä signaalipuoli vahingossakaan häiriinny vieressä kulkevasta korkeajännitteestä. (kuva 7.)



Kuva 7. Moottori ennen emc-suojausta.

5.2 Jarrujärjestelmä

Jarrujärjestelmänä toimii perinteiseen tapaan hydrauliset levyjarrut hieman isommilla etujarrusatuloilla sekä levyillä. Tehostus on toteutettu 8":n kaksikammioisella alipainetöimimisellä tehostimella, jonka alipaine toteutetaan alipainepumpulla. Alipainepumppua ohjataan Arduino nanolla (myöhemmin mikrokontrolleri), joka lukee järjestelmän alipainetta, sekä jarrupolkimen asentoa. Järjestelmässä on kaksi alipaineanturia, jotka on kalibroitu millibaari:n tarkkuudella, mikrokontrolleri tarkastelee näiden kahden paineanturin arvoja, jonka mukaan ohjaa alipainepumppua. Jos alipaineantureiden arvot eivät täsmää, ei järjestelmä suorista paineistamista autoa käynnistettäessä ja mittaristoon syttyy jarrujen vikavallo. Jarrujärjestelmä on liitetty Can-väylään mcp2515 Can-väylä moduulilla, ja se käyttää mcp_Can-kirjastoa.

Jarrujärjestelmä kuuluu ryhmään, jossa jarrujen pitää toimia myös tilanteessa, jossa ajoneuvon sähköt häviävät. Tämä tilanne toteutuu niin pitkään normaalisti, kun alipainesäiliössä riittää alipainetta ja sen jälkeen jarrut toimivat ilman tehostusta.

5.3 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmässä tehostus on toteutettu rattiakselissa olevan sähkömoottorin kautta. Rattiakselissa on useita antureita, jotka mittaavat rattiin kohdistuvaa kääntövoimaa, suuntaa sekä asentoa. Rattiakselin mukana tuli oma ohjausyksikkönsä, joka oli jo valmiiksi esiohjelmoitu. Halusin autoon nopeuden mukaan säätävän tehostuksen, joka tarkoittaa sitä, että mitä hiljempaa autolla ajetaan, sitä enemmän tehostusta on. Rattiakselin ohjausyksikkö haluaa nopeustietona PWM-signaalia. Lisäsin rattiakselin ohjausyksikön koteloon mikrokontrollerin sekä Can-väylä moduulin, jolla muutin Can-signaalia pitkin tulevan nopeustiedon PWM-signaaliksi.

Ohjausjärjestelmä kuuluu ryhmään, jonka takia ohjauksen pitää toimia myös tilanteessa, jossa ajoneuvon sähköt häviävät. Tällaisessa tilanteessa ohjaus toimii mutta ilman tehostusta, joka riitti tarkastajalle.

5.4 Jousituksen tasonsäätöjärjestelmä

Jousituksen tasonsäätö on toteutettu käyttäen Arduino Mega 2560 mikrokontrolleria, Bluetooth-moduulia sekä Can-väylä moduulia. Lisäksi jokaisen pyöräntuennan alatuki-varressa on 0-10 k Ω potentiometri, jonka vastusarvo säätyy alatukivarren asennon mukaan. Paineilman tuotto tapahtuu 12 V pienellä paineilmakompressorilla kahteen 4 litran alumiinisäiliöön, joista kummassakin on paineilma-anturit. Näiden lisäksi ilmanvirtausta ohjataan magneettiventtiileillä. Koska mikrokontrollerin pinnistä voi ottaa maksimissaan 30 mA virtaa, piti venttiilipaketin ohjaamiseen käyttää irf530 MOSFETejä ja 10 k Ω vastuksia. Paineilmakompressorin ohjaamiseen tarvitsin 20 A releen, 10 k Ω vastuksen sekä yhden irf530 MOSFETin jolla pystyi luotettavasti ajamaan relettä. Alustankorkeussäätöön ohjelmoin myös Android-puhelimissa toimivan ohjelmiston, jolla voidaan säätää auton korkeutta Bluetooth-yhteyden sallimalta etäisyydeltä. Noin 15 m.

5.5 Valaisin ja ajomukavuusjärjestelmä

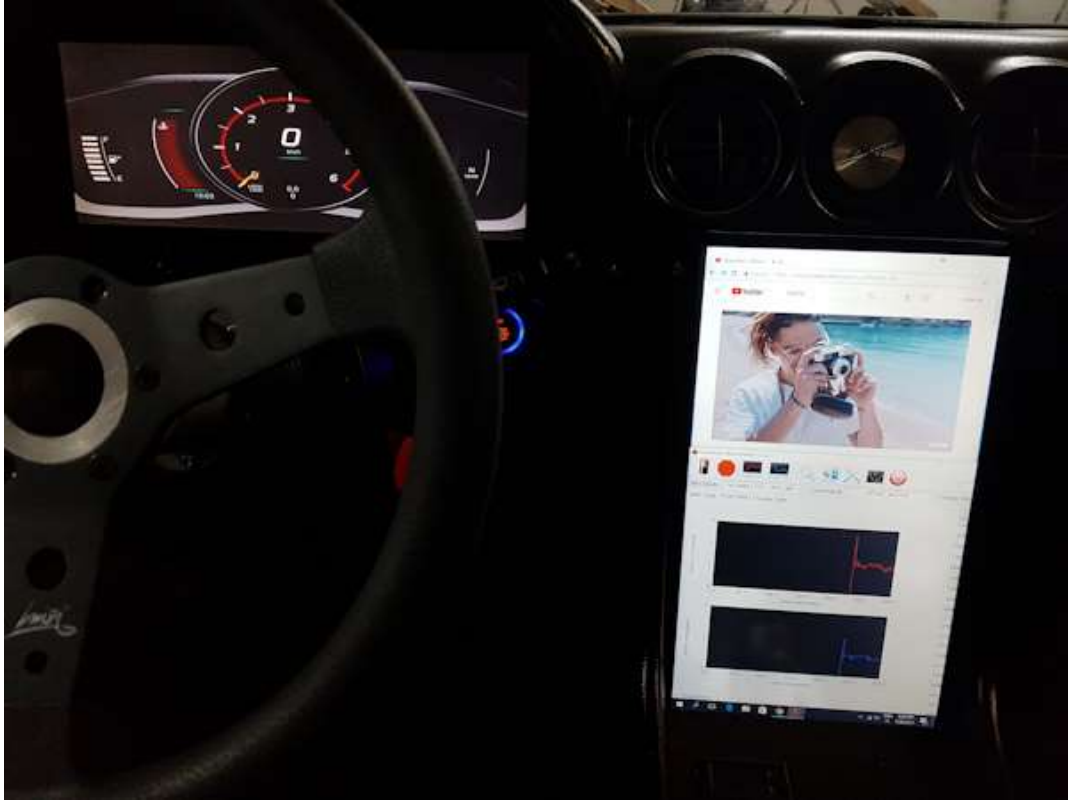
Valaisin ja ajomukavuusjärjestelmän halusin pitää työssäni yksinkertaisina, niinpä jätin sen pois Can-väylästä. Vilkkujen, valojen ym. toimintojen signaalit tulevat +5 V eli HIGH-tietona Arduino megalle. Kullekin toiminnolle on ohjelmoitu sisääntulopinni ja heti

seuraava pinni on lähtevälle signaalille, joka muutetaan välittömästi IRF530 MOSFETin avulla +12 V ja siitä se ohjataan sulakekotelolle, josta se jatkaa matkaansa halutulle laitteelle. Osa tämän kategorian toiminnoista on myös ohjattavissa keskikonsolissa olevasta kosketusnäytöstä ja sen käyttöliittymästä. Näistä toiminnoista lisää seuraavan väliotsikon alla.

5.6 Keskikonsolin kosketusnäyttö sekä mittaristo

Keskikonsolin kosketusnäytönä toimii 14,6” kokoinen näyttö asennettuna pystyasentoon. Näyttöä pyörittää minikokoinen Windows 10 -alustalla toimiva tietokone, jossa puolella näytöllä pyörii SEV -view niminen moottorinohjausyksikön ohjelmisto, joka näyttää moottorin, sekä ohjausyksikön tiedot yksityiskohtaisesti. Näytön ylälaudassa pyörii html-sivu, jolla pystytään ohjamaan auton mukavuustoimintoja. Tähän on käytetty Arduino Uno mikrokontrolleria sekä Ethernet -shieldiä, Mini-pc on kytketty Arduinoon suojatulla cat6-kaapelilla, jota pitkin komennot html-sivulta lähtevät. Arduino käsittelee komennot ja lähettää +5 V High tietoja ajomukavuus-, moottorinohjaus, sekä ilmajousitusjärjestelmään. Näitä komentoja ovat kirjoitushetkellä sisätilan puhallin, musiikkivahvistimen ohjaus, ilmajousituksen ohjaus, moottorin tehotila sekä jarrutusvoiman talteenotto päälle High.

Mittaristona toimii SHARPin 11” laajakuvanäyttö, jota pyörittää Raspberry Pi johon on asennettu Android -käyttöliittymä ja siihen oma mittaristo-sovellus. Myöhemmässä vaiheessa löysin play-kaupasta valmiin mittaristosovelluksen, joka hallitsi tiedonkeruun Can-väylästä. Poistin omavalmistehjelmiston ja otin käyttöön Dashcommand -nimisen sovelluksen ja lisäsin Raspberryyin Can-väylämoduulin sekä ajurit, jolloin mittaristo otti kaiken tarvitseman datan suoraan Can-väylästä, tämä helpotti ja auttoi luomaan selkeän ja varmatoimisen mittariston. Mittariston käyntiinlähtöaika on virrat pois -tilasta ohjelman toimintavalmiuteen 16 sekuntia.

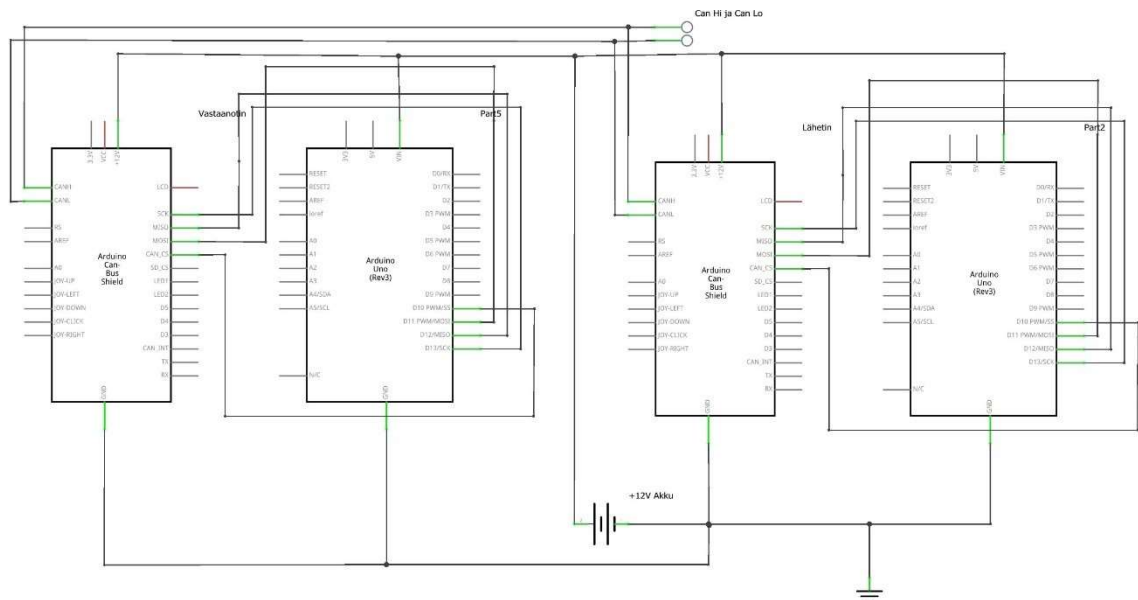


Kuva 8. Mittaristo sekä hallintapaneeli.

6 CAN-VÄYLÄ

CAN-väylässä kaikki liikenne välitetään kaikille moduuleille. Jokaisella viestillä on sanomattunniste, jonka perusteella vastaanottava moduuli päättää, kuuluuko viesti myös sille. Toimintatapa mahdollistaa sen, että sama sanoma, esimerkiksi mittausdata ajoneuvon nopeudesta, voidaan välittää useammalle laitteelle, kuten nopeusmittarille ja vaki-nopeuden säädölle yhdellä sanomalla. Myös väylän monitorointi on helppoa, koska ylimääräisen kuuntelijan lisääminen ei vaikuta mitenkään muihin toimintoihin. Sanomatunniste on samalla myös viestin prioriteetti, ja jos kahta viestiä aletaan lähettää yhtä aikaa, pienempiprioriteettinen lähettäjä luopuu lähetyksestä. CAN-väylän kautta vikadiagnostiikka on myös kehittynyttä, yksinkertaisimmat vikakoodit sekä tiedonsiirtoon viittaavat keskusteluvirheet saadaan luettua ajoneuvon keskikonsolissa olevalta kosketusnäytöltä.

Lisäksi moottoritilaan on asennettu obd2 pistoke, johon saadaan kytkettyä yleismallin vikakoodinlukija tai muu CAN-väylään kytkeytyvä laite, jolla voidaan analysoida tai tehdä väylään lisäliikennettä.



Kuva 9. CAN-moduulin rakenne.

7 AKUSTO JA LATAUSJÄRJESTELMÄ

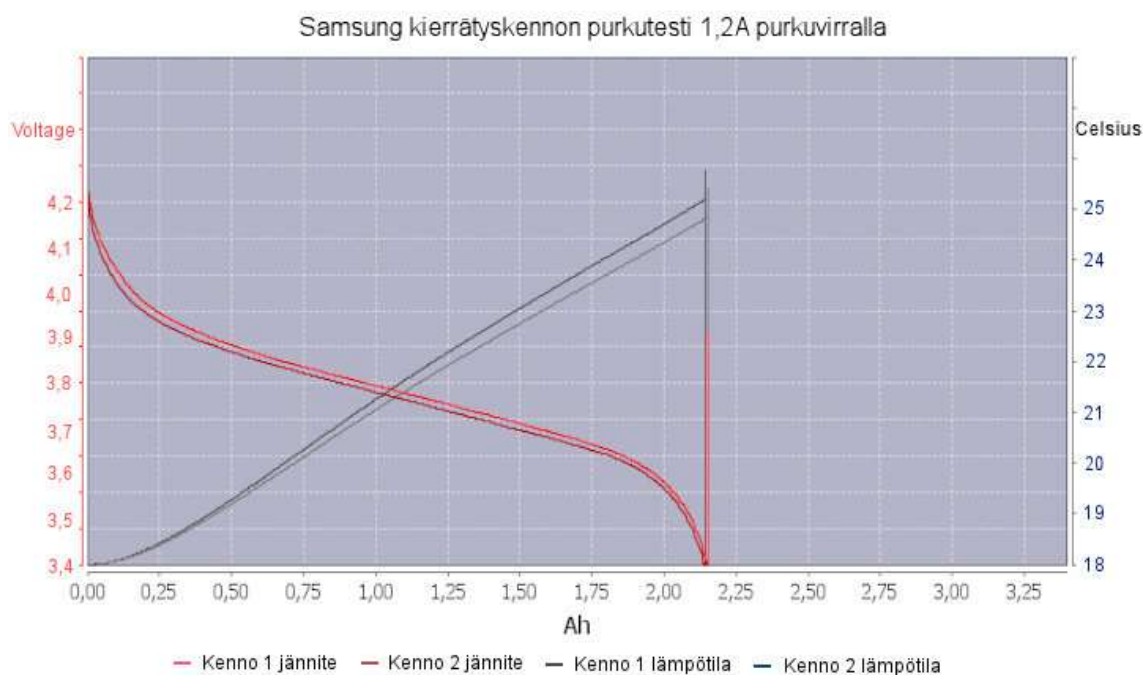
7.1 Litiumioni-akuista yleisesti

Litium 18650, sylinterin mallinen akkukenno on rakenteeltaan hyvinkin yksinkertainen. Putken sisällä kulkee rullattuna kolme eri kerrosta, anodi, eriste ja katodi joista anodi säilöö sähköenergian, pinnalla olevien elektronien avulla. Tämän akkutyypin kapasiteettia on saatu kasvatettua sen alkupään 1300 mAh kapasiteetista nykyiseen hieman alle 4000 mAh kapasiteetin vain ohentamalla anodi-, eriste- ja katodiliuskojen paksuutta, tämä onkin tuonut mukanaan akkukennon epävakauden. Muutamien valmistajien kennoja on jouduttu vetämään markkinoilta pois niiden epävakauden ja syttymisherkkyyden takia.

7.2 Akusto

Akustona toimii kierrätyskennoista analysoitu ja kasattu litiumioni -akkupaketti. Kennot on purettu sähköpolkupyörän akuista, jotka ovat joutuneet kierrätykseen. Kennojen testaus alkoi jännitemittauksella, jolla karsin täysin kuolleet kennot pois pelistä, yleisesti ottaen myös kennot joiden jännite on tippunut alhaiseksi ovat vaurioituneet siten, että kennon sisäinen resistanssi on kasvanut liian suureksi. Alle 70 mΩ oleva sisäinen resistanssi on hyväksyttävä ja tarkoittaa kennon olevan kunnossa. Itse pidin ensimmäisen mittauksen karsintarajana 2,2 V jonka alle olevat kennot joutuivat suoraan kierrätykseen. Seuraavassa mittausvaiheessa käytin kapasiteetin laskevaa latausasemaa, joka lataa kennon täyteen, purkaa sen määrättyyn minimijännitteeseen jonka asetin 3,4 V. Tällä tavalla pystyin varmistumaan kennon hyvästä kunnosta ja se sai hyväksymismerkin kylkeensä.

Kuten alla olevasta kuvasta (Kuva 10.) huomaa, kahden analysoidun kennon välillä on hiuksenhieno kapasiteettiero mutta käytännössä tuollainen ero voi olla myös uusissa kennoissa, testin kennojen kapasiteetti oli noin 2180 mAh, kun tehdasuusissa kennoissa sen pitäisi olla 2200 mAh.



Kuva 10. Kahden kennon purkukäyrä.

7.3 Akkumoduulin mitoitus

Akun kasaus kennojen analysoinnin jälkeen lähti käyntiin akuston määrittelyllä. 18650 standardin kennot ovat 3,7 V nimellisjännitteellä ja täyteen ladattuna pitävät 4,2 V jännitteen. Kyseiset Samsungin kennot ovat 2200 mAh kennoja ja pystyvät 10 A purkuvirtaan. Akuston pitää kyetä 280 A jatkuvaan purkuvirtaan. Näin ollen laskin yhden akkumoduulin kennomääräksi 108. 36 kennoa rinnan ja 3 sarjaan. Yhden moduulin kapasiteetti on 879 Wh ja näitä voidaan kytkeä sarjaan niin monta, että saadaan haluttu jännite. ($U_{rms} \cdot A \cdot h = P$)

7.4 Akkumoduulin kasaus

Akkumoduulin voi kasata muutamalla eri tavalla, pistehitsaus on suositumpi sekä turvallisempi tapa rakentaa akusto, joka ei lämpökuormita kennoja sekä on paljon nopeampi tapa tehdä suuriakin akustoja. Oman akustoni tein kuitenkin juottamalla koska halusin käyttää hyvin johtavia kuparilieskoja nikkeli-allergiani takia.

Kennojen asetteluun käytin edullisia ja hyvälaatuisiksi toteamani ”cell-holdereita” joita on mahdollista ostaa Ebaystä. (Kuva 11.)



Kuva 11. Akun kokoaminen.

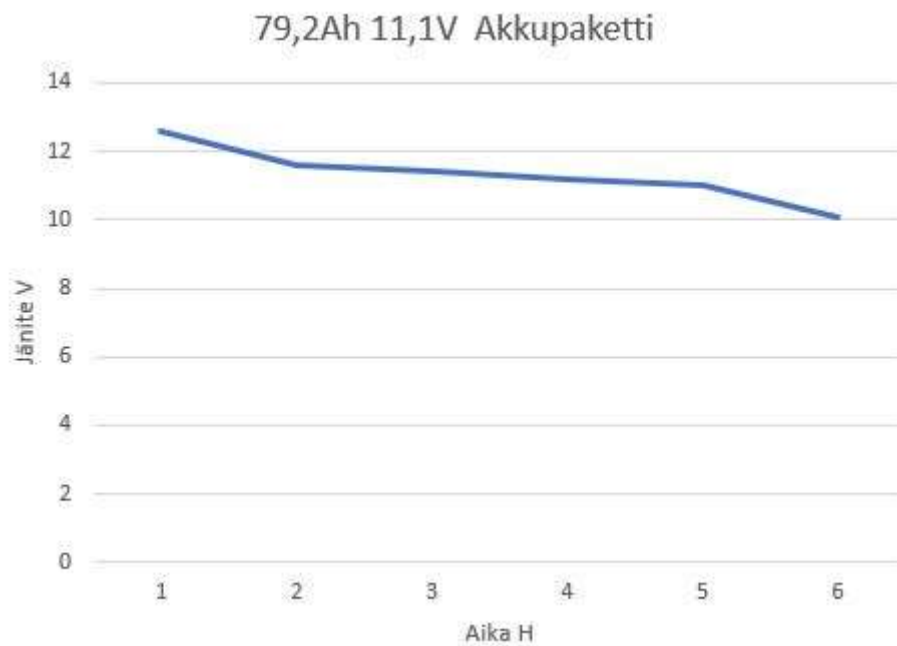
Akkumoduulin kasauksen jälkeen puhdistin jokaisen kennon pään ja lisäsin niihin pienen tipan fluxia parantaakseni tinaan tartuntaa. Fluxin kuivuttua sulatin jokaisen kennon kumpaankin päähän pienen määrän tinaa, tärkeänä muistisääntönä on käyttää tehokasta kolvia sekä maksimissaan kahden sekunnin pitoaikaa, ettei kenno pääse vaurioitumaan. Kun jokainen kenno oli esitattu, oli aika lisätä kuparijohteet. Käytin 0,6 mm:n paksuista ja 9 mm:n leveää kupariliuskaa. Kupariliuskan tinaamisessa oli huomioitava sama pito-aika kennon lämmittämisessä. Kun tina oli jo valmiiksi lisätty, ei tarvinnut kuin asettaa liuska kennon päälle ja lämmittää liuskaa hetki niin tina tämän alapuolella sulii ja liuska tarttui hyvin kiinni.



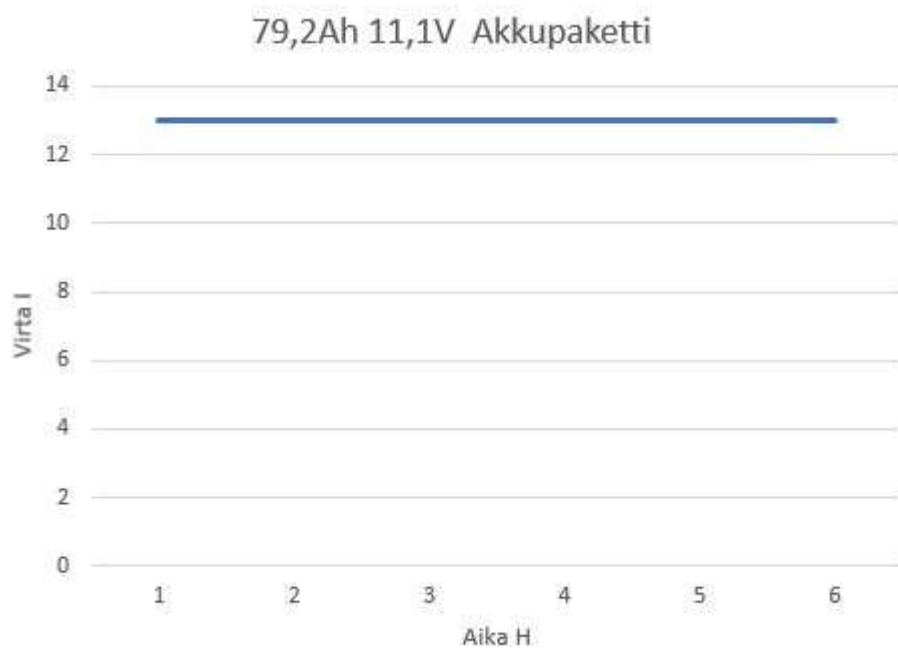
Kuva 12. Akun juottaminen.

6.5 Akkumoduulin kapasiteettitesti

Akkumoduulin kapasiteettitestin suoritin iCharger:n latausasemalla jossa on myös analysointitoiminto. (Kuva 13 ja 14.) Asetin purkuvirraksi 13 Ah, joka vastaa kaupunkiajon kulusta. Tällaisella purkuvirralla yhdestä kennosta otetaan kolmasosa ampeeria virtaa, joka on melko pieni purkuvirta näille kennoille. Mitä suuremmalla virralla puretaan, sitä huonommaksi hyötysuhde heikkenee, koska osa tehosta muuttuu lämmöksi. Liiallinen lämpö taas turvottaa anodi, katodi ja eristekerroksia kennon sisällä ja voi aiheuttaa kennon sisäisen oikosulun. Tämänkaltaiseen lämpenemiseen tarvitaan pitkäkestoinen yli 10A purkuvirta tai muutamien sekuntien mittainen oikosulkeminen.



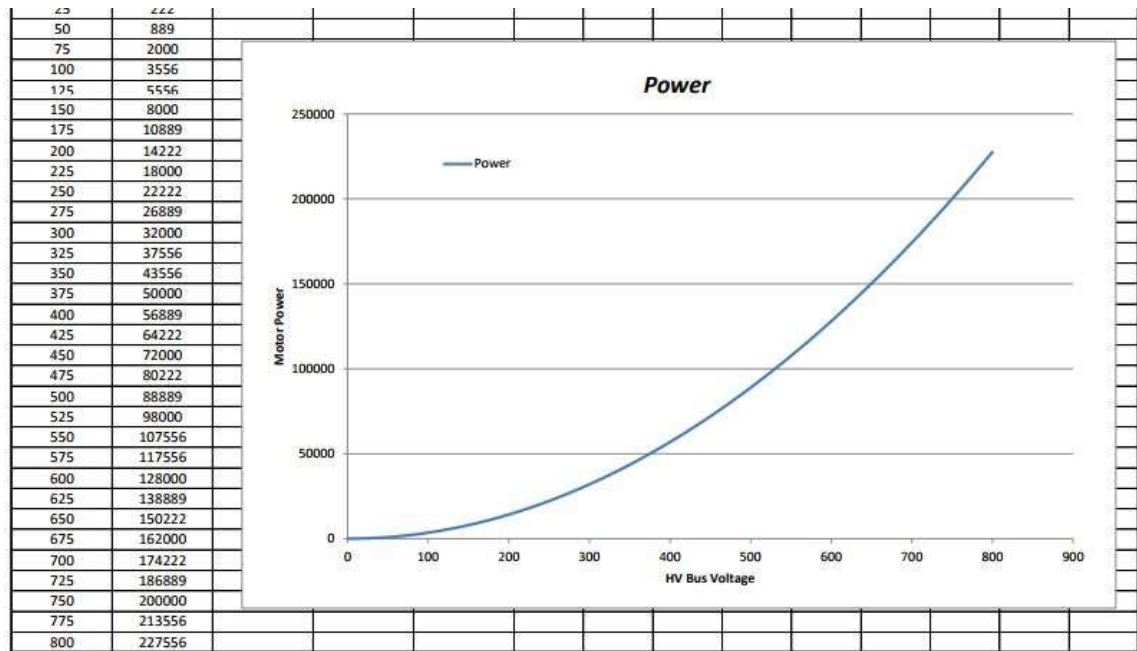
Kuva 13. Purkukäyrä jännite.



Kuva 14. Purkukäyrä Virta.

Hieman yli 6h purkamisen jälkeen kennojen jännite oli laskenut alarajaan ja testeri näytti kapasiteetiksi 80Ah. Tämä arvo pieneni mitä kovemmalla virralla puretaan. 36 Ah purkuvirralla kapasiteetiksi jäi 76 Ah

Alla olevassa kuvassa (kuva 15) näkyy sähkömoottorin antoteho. 800 Vdc jännitteellä saadaan 225 kW teho sähkömoottorista. Näillä antotehoilla se kuitenkin ottaa 240 kW tehoa akustosta. $U/P=I$, joka kertoo meille otettavan virran, jolla akustoa tullaan kuormittamaan. Näin ollen akustosta otettava maksimivirta $I_{max} = 300$ A, tällaista virtaa ei kuitenkaan voida käyttöolosuhteiden takia ottaa ulos pitkiä aikoja koska, ajoneuvon nopeus kiihtyy jo niin suureksi.



Kuva 15. Moottorin antama teho suhteessa akkujännitteeseen.

7.6 Latausjärjestelmä ja BMS

Latausjärjestelmä on toteutettu 16 A voimavirtapistokkeen pohjalta, jonka kautta auton runko ja kori maadoittuu sähköverkkoon. Koska vanhemmissa rakennuksissa ei ole vikavirtasuojia lisäksi 25 mA vikavirran sekä 16 A automaattivarokkeet. Akkupaketteihin olen integroinut 100 Vdc hakkurivirtalähteet 10 A virranrajoituksella sekä yksinkertaisen BMS:n eli akunhallintapiirin, joka tarkkailee rinnankytkettyjen ryhmien jännitettä ja katkaisee kyseisen akkupaketin latauksen, jos yksittäinen ryhmä ylittää 4,25 Vdc jännitteen tai koko akkupaketti saavuttaa 99 Vdc. Näin akkua ei ladata aivan täyteen asti jolloin, sen oletettu käyttöikä on teoreettisesti hieman pidempi. Akunhallintapiiri tarkkailee myös akuston lämpötilaa, kun autolla ajetaan ja varoittaa jos akuston lämpötila nousee yli 45°C

asteen. Rinnankytkettyjen ryhmien balansointi täytyy tehdä vielä toistaiseksi manuaalisesti. 100 Vdc virtalähteitä autossa on kaikkiaan 6kpl ja näiden lisäksi löytyy yksi 50 Vdc virtalähde. Täyteen ladattuna akuston jännite on 640 Vdc ja tyhjänä 492 Vdc. Tyhjän ja täyden akun välillä huomaa selkeän tehoeron, varsinkin kovemmissa nopeuksissa.

8 TURVAJÄRJESTELMÄ

8.1 Hätäkäyttö

Määräysten mukaan sähkömuunnosautossa on oltava hätäpysäytys mahdollisuus, jos auto alkaa käyttäytyä omatakeisesti. Asensin hätäseispainikkeen rattiakselin oikealle puolelle, jossa se on suojassa, ettei sitä paineta vahingossa mutta siihen on kuitenkin helppo osua hätätilanteessa. Käytin kolmea NC piiriä, joiden läpi menee moottorin ohjausyksikön päälle/pois ohjausjännite +5 V, akuston yhdistämisrelepaketin ohjausjännite +12 V sekä moottorin ohjausyksikön hätäseissignaali +5 V. Tämän lisäksi moottoritulassa on huoltoerotin, jolla saadaan pilkottua 650 VDC akusto viiteen osaan jolloin huoltaminen ja virtapiirin väliin jäämisen riski on huomattavasti pienempi. Akuston erotus viiteen osaan toimii myös silloin kun, ajotila eteen tai taaksepäin ei ole aktivoitu.

8.2 EMC-suojaus

Koska tässä tapauksessa auton korin vuosimalli on 1973, ei ajoneuvossa ole lain puitteissa EMC-vaatimuksia. Tein ajoneuvoon kaapeleiden häiriönsuojaukset tästä huolimatta säästyäkseni häiriötilanteilta. Ajoakuston 650 VDC 50mm² hienosäikeiset kaapelit ohjausyksikölle kulkevat oranssissa sekä joustavassa asennusputkessa. Akulta tulevia johtimia ei ole suojattu ristiin-punotulla metallisukalla, koska akustolta tulevat dc-puolen häiriöt ovat lähes mitättömiä. Ohjausyksiköltä ajomoottorille menevät 50mm² hienosäikeiset kaapelit on päällystetty ristiin-punotulla metallisukalla, joka on maadoitettu ohjausyksikön runkoon sekä moottorin runkoon, josta maadoitus on jatkettu auton koriin. Signaalipuolen johtoina käytin pelkästään häiriösuojattuja moninapaisia johtimia, jotka on yhdistetty ristiin-kytkentäkotelon maadoitusrimaan. Näitä signaalipuolen laitteita ovat mm. Kaasunasentoanturi, jarrunasentoanturi sekä hätäseis-käyttökymet.

9 PÄÄTÄNTÖ

Ajoneuvon e100 -sähköturvallisuusmittaukset sekä testaukset menivät läpi elokuussa 2017. Mittauksen suoritti TS-Elektro niminen yritys Merimaskusta, jolla on laaja kokemus akku, sekä sähköisten voimalinjojen alalta. Auton muutoskatsastus suoritettiin pari viikkoa tämän jälkeen, kun auto oli viimeistelty ja säädetty alustan osalta katsastuskuntoon. Katsastuksessa, käytiin läpi tehdyt muutokset, ajoneuvon tieliikennekelpoisuus sekä e100 -mittauspöytäkirja. Myös todistus säädetystä pyöräntulmista, jousituksen sekä ohjausvaihteen kantokuormasta. Katsastusprosessi meni läpi yhdessä päivässä, jolloin sain ajoneuvon myös rekisterikilvet. Autolla on ajettu raportin luovutushetkellä hieman vajaa 1 000km ja oikeastaan ainoana mainittavana ongelmana on ilmajousituksen venttiilipöydän tiiveys, joka ei ole sitä mitä pitäisi vaan venttiilit vuotavat läpi ja kompressori joutuu tuottamaan lisäpainetta turhan usein. Autossa on tällä hetkellä 10 eri osa-alueiden ohjainlaitteita, joiden keskustelu ja tiedonkeruu toistensa kanssa toimii Can-väylän välityksellä erittäin luotettavasti, tiedonsiirto on riittävän nopeaa, moduulien lisääminen myöhemmin on helppoa vain kolmen johtimen avulla. Akkujärjestelmä osoittautui testauksissa erittäin suorituskykyiseksi, vaikka kyse on kierrätyskennoista tehdystä akkupaketista.

Tämän työn tavoitteina oli suunnitella ja rakentaa tieliikenteeseen hyväksytty sekä samalla suorituskykyinen sähköauto ja näin testausten jälkeen voin todeta, että tavoitteisiin päästiin. Sähköauton lataus tapahtuu vielä toistaiseksi 3-16 A:n voimavirtapistokkeesta. Tulen kuitenkin päivittämään voimavirtapistokkeen sähköautostandardin mukaiseen latauspistokkeeseen, että lataaminen onnistuu jatkossa myös sähköautoille tarkoitetuista latausasemista. Auton toimintasäde nykyakustolla on hieman yli 200km, joka riittää harrasteajeluihin varsin mainiosti. Kolariturvallisuutta sekä painopistettä ajatellen akut on pilkottu useampaan osaan eikä niitä ole asennettu lähelle korin ulkoreunoja. Työn aikana ilmeni muutamia ongelmia, jotka sain korjattua pienellä muutoksilla, kuten komponentin sijoittamisella uuteen kohtaan tai suunnitelman muutoksella. Kardanin kestävyys kansas oli myös ongelmia, kun sähkömoottorin voima väänsi sen mutkalle. Yksi suurempi ongelma oli yksin rakentaminen ja budjetti. Auton kaikki komponentit rahoitin itse, jolloin joutui miettimään tarkasti, että missä järjestyksessä mitkäkin komponentit ostetaan, ettei työ seisahtuisi puuttuvien komponenttien takia, joka vaikutti myös koko

projektin aikatauluun. Lisäksi projektin varrella piti opetella paljon uusia asioita, koska ne piti tehdä itse. Osittain tämän projektin ansiosta minulla on nyt laaja osaaminen ja tieto eri osa-alueiden osalta, kuten auto- ja sähkötekniikasta sekä ohjelmoinnista. Lisäksi on tiedettävä, mitä standardeja täytyy noudattaa ja mitä standardeja voi soveltaa. Projektini sähköauto on rakennettu pääasiassa itselle harraste- ja esittelyautoksi.

Autoon jäi vielä useita kehityskohteita jatkojalostamista varten. Suunnitelmissani on toteuttaa autoon laajempi etähallinta, jonka ansiosta pystyisin siirtämään auton mobiililaitetta käyttäen ahtaasta parkkiruudusta pois tai parkkiruutuun. Yksi suunnitelmissani oleva kehitysidea on toteuttaa autoon abs-jarrut sekä luistonesto. Tätä työtä voisin käyttää mahdollisissa jatko-opinnoissa diplomi-insinööriksi.

LÄHTEET

L57/54/ETY. 2010. Euroopan talouskomission säännös e100

2009/226. 2002. Finlex Ajoneuvolaki.

72/245/ETY. 2004. Euroopan yhteisöjen komission direktiivi.

Jarmo Pesonen. 2017. RecycleBat. TurkuAMK.

Liitteet

Liite 1. E100 mittauspöytäkirja.



ST 43.19

1 (2)

KORJATUN SÄHKÖLAITTEEN TARKASTUS- JA MITTAUSPÖYTÄKIRJA

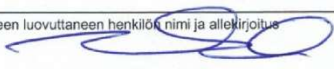

PERUSTIEDOT			
Yritys	Yritys TS-Elektro Oy		
	Katuosoite Uimarannantie 41	Postinumero 21160	Postitoimipaikka MERIMASKU
Sähkötöiden johtaja	Nimi Tarmo Sinisalo		Puhelinnumero 050 375 8847
	Sähköpostiosoite tarmo.sinisalo@ts-elektro.fi		
Asiakas	Yritys PESONEN JARMO		
	Katuosoite MOUKLANENJA 7	Postinumero 20400	Postitoimipaikka TURKU
Asiakkaan yhteyshenkilö	Nimi		Puhelinnumero 044 323 7872
	Sähköpostiosoite		
1 TIEDOT KORJATTAVASTA LAITTEESTA			
Laite MB SLC (KAKENNETTU SÄHKÖ AUTO) 107024 12 006086			
Laitteen suojausluokka			
<input checked="" type="checkbox"/> Suojamaadoitettu (luokka I) <input type="checkbox"/> Kaksoeristetty (luokka II) <input type="checkbox"/> Pienisjännitteinen (luokka III)			
Mallimerkintä SLC		Valmistaja	
Mitoitusjännite (V) 600 DC	Teho (W) 150 kW		
Asiakkaan vikaselostus ja lisätiedot ASIAKKAAN RAKENTAMA SÄHKÖ AUTO. MUUTETTU MB SLC HENKILÖAUTOSTA.			
2 KORJAUKSEN YHTEYDESSÄ TEHDYT TARKASTUKSET, MITTAUKSET JA KOEKÄYTTÖ			
Aistinvaraisessa tarkastuksessa on hyväksytty			
<input checked="" type="checkbox"/> Eristykset <input checked="" type="checkbox"/> Kotelointi <input checked="" type="checkbox"/> Liitäntäkaapeli <input checked="" type="checkbox"/> Suojajohdin <input checked="" type="checkbox"/> Merkinnät			
Lisätietoja			
Korjauksen jälkeen tehdyt mittaukset			
Suojajohdinpiirin resistanssi	0,15 Ω	<input checked="" type="checkbox"/> Hyväksytty	<input type="checkbox"/> Hylätty <input type="checkbox"/> Ei tarvitse mitata
Eristysresistanssi	3,75 MΩ	<input checked="" type="checkbox"/> Hyväksytty	<input type="checkbox"/> Hylätty <input type="checkbox"/> Ei tarvitse mitata
Suojajohtimen virta	_____ mA	<input type="checkbox"/> Hyväksytty	<input type="checkbox"/> Hylätty <input checked="" type="checkbox"/> Ei tarvitse mitata
Vuotovirta	_____ mA	<input type="checkbox"/> Hyväksytty	<input type="checkbox"/> Hylätty <input checked="" type="checkbox"/> Ei tarvitse mitata
Jännitekoe	_____ kV	<input type="checkbox"/> Hyväksytty	<input type="checkbox"/> Hylätty <input checked="" type="checkbox"/> Ei tarvitse tehdä

© Sähköinfo Oy 05/2017 - Sähkötietyö ry:n julkaisu

Dokumentin on tulostanut TS-Elektro Oy lisenssillä Tarmo Sinisalo 16.8.2017 © Sähköinfo Oy

ST 43.19

2 (2)

Lisätietoja	
Korjauksen jälkeen tehty koekäyttö	
<input checked="" type="checkbox"/> Laite toimii normaalisti	<input type="checkbox"/> Laitteen toiminnassa on todettu olevan puutteita
Lisätietoja	
Yhteenveto korjatussa laitteessa havaituista puutteista ja niistä mahdollisesti aiheutuvista seurauksista:	
Tiedot laitteen korjauksen sekä siihen liittyvien tarkastusten, mittausten ja koekäytön suorittaneesta henkilöstä ja/tai henkilöistä: TARMO SINISALO	
Tiedot mittauksissa käytetyistä mittalaitteista (valmistaja, malli ja sarjanumero): FLUKE ASENNUS TESTER 1653 B	
3 LAITTEEN LUOVUTUS ASIAKKAALLE	
Aika ja paikka 17.8.2017 TURKU	Laitteen luovuttaneen henkilön nimi ja allekirjoitus  TS-Elektro oy Tarmo Sinisalo
<input type="checkbox"/> Asiakkaalle on ilmoitettu, että luovutettu laite ei ole siinä havaittujen puutteiden vuoksi turvallisessa käyttökunnossa	
Aika ja paikka 17.8.2017 TURKU	Asiakkaan tai hänen edustajansa nimi ja allekirjoitus  JARMO PESONEN
Lisätietoja, luettelo liitteistä, ym. E100 VAATIMUKSET TÄYTTÄVÄ.	

Dokumentin on tulostanut TS-Elektro Oy lisenssillä Tarmo Sinisalo 16.8.2017 © Sähköinfo Oy

Liite 2. Ajoneuvon tiedot.



Ajoneuvon tiedot

LOH-886 Henkilöauto Mercedes-Benz Coupe 450 slc-automatic

Lähde: Ajoneuvoliikennerekisteri 18.12.2017 21:38

Huomautukset

Liikenteestä poisto

Perustiedot

Ajoneuvoluokka	M1 Henkilöauto
Rekisteritunnus	LOH-886
Valmistenumero	10702412006086
Ensirekisteröinti Suomeen	14.09.2017
Tyypinimi	107
Todistuksen teknisenosan järjestysnumero	3
Todistuksen ilmoitusosan järjestysnumero	2
Vaihdettujen osien kokonaisprosentti	35.0
Vaihdetut osat	Puskurit, Polttoainesäiliö, Moottori, Etuvalaisimet, Katto, Jouset ja iskunvaimentimet, Lämmityslaite, Vaihteisto ja voimansiirtoakseli, Istuimet
Käyttö	Yksityinen
Vakuutus	IF 2017-06-26 Pesonen, Jarmo Ilmari

Omistajat ja haltijat

Alkaen	Omistaja/omistajat	Osoite
14.09.2017	Pesonen Jarmo Ilmari	Muurlankuja 7, 20400 TURKU

Moottorin tiedot

Käyttövoima	Sähkö
-------------	--------------

Katsastustiedot

Määräaikaikatsastettu **28.08.2017**
(pvm)

Katsastustoimipaikka **Liikenteen turvallisuusvirasto**

Katsastuspäätös **hyväksytty**

Seuraava
katsastusaikaväli **30.04.2018-31.08.2018**

Koritiedot

Istumapaikkojen lkm **4**

Istumapaikkojen lkm
kuljettajan vieressä **1**

Korityyppi **AD**

Mitta- ja massatiedot

Kokonaispituus (mm) **4700**

Leveys (mm) **1730**

Korkeus (mm) **1340**

Omamassa (kg) **1340**

Tieliikenteessä suurin
sallittu kokonaismassa **2113**
(kg)

Tekninen suurin
sallittu kokonaismassa **2113**
(kg)

Akseli 1

Tekninen sallittu
akselimassa (kg) **1043**

Tieliikenteessä sallittu
akselimassa (kg) **1043**

Akselivälit (mm) **2820**

Akseli 2

Tekninen sallittu
akselimassa (kg) **1070**

Tieliikenteessä sallittu
akselimassa (kg) **1070**

Renkaat

Akseli 1					
Rengaskoko	Vannekoko	Offset	Kuormitustunnus ja nopeusluokka	Rengaslaji	
195/50 R15				katsastuksessa merkitty	
205/70VR14	6,5			tyyppihyväksytty	

Akseli 2					
Rengaskoko	Vannekoko	Offset	Kuormitustunnus ja nopeusluokka	Rengaslaji	
205/55 R15				katsastuksessa merkitty	
205/70VR14	6,5			tyyppihyväksyty	

Akselitiedot**Akseli 1**

Ohjaavat	Kyllä
Ohjautuvat	Ei
Vetävät	Ei
Paripyörillä varustetut	Ei
Nostettavat	Ei
Kevennettävä	Ei
Jarruttava	Kyllä

Akseli 2

Ohjaavat	Ei
Ohjautuvat	Ei
Vetävät	Kyllä
Paripyörillä varustetut	Ei
Nostettavat	Ei
Kevennettävä	Ei
Jarruttava	Kyllä

Erikoisehdot

Yleinen: Korjattu ajoneuvo.

Yleinen	Muutettu sähköautoksi. Toimintajännite 600 voltia. Korkeajännitteiset johtimet suojattu oranssilla suojaputkella. Akustot sijoitettu moottoritilaan ja takaluukkuun bensatankin tilalle. Konehuoneessa kytkin jolla auto saadaan jännitteettömäksi. Latauspistoke on sijoitettu bensaluukun alle.
Yleinen	Asetuksen 1248/2002 liitteen 8 poikkeusten mukaan hyväksytty ajoneuvo.
Yleinen	Ajoneuvon asennettu vaatimustenmukaisuuden täyttymiseksi e-hyväksytyt ajovalaisimet.
Ulkomainen rekisteritunnus	2BCY150

Liite 3. Trafi vaihdettujen osien ohje.



Liikenteen turvallisuusvirasto

Osaluettelo

Tyhjä lomake

Rekisteritunnus		Valmistenumero	
Kunnostamisessa on käytetty osia seuraavista ajoneuvoista Merkki, malli, valmistenumero, rekisteritunnus			
Asiakas täyttää		Katsastaja täyttää	
Osanimeke	Mistä peräisin	Kanta-ajoneuvon osuus	Vaihdettujen osien osuus
1. Kori varusteineen aina 58 % Korihelikko, itsekantava 46 % Korihelikko + runko / pohjalevyrakente 46 % - korihelikko 22 % - runko tai pohjalevy 24 %			
Etukansi			
Takakansi			
Etulokasuojat oikea vasen			
Etuovi oikea vasen			
Takasiivuovi oikea vasen			
Puskurit etu taka			
Etusäleikkö			
Lämmityslaitte			
2. Runko tai pohjalevy 24 %			
3. Moottori apulaitteineen Moottori			
Vaihteisto ja voimansiirtoakseli			
Jäähdytint			
Polttoainesäiliö			
4. Akselistot Etuakselisto			
Taka-akselisto			
5. Sisustus Etuistuim oikea/vasen			
Takaistuin			
Kojelauta			
6. Valaisimet Etuvalaisimet			
Takavalaisimet			
Selvityksen oikeaksi vahvistaa <input type="checkbox"/> ajoneuvon omistaja <input type="checkbox"/> ajoneuvon haltija Omistajan tai haltijan allekirjoitus, nimenselvennys ja osoite		Yhteensä	
Muutoskatsastuksen hakijan allekirjoitus, nimenselvennys ja osoite		Katsastustoimipaikan ja katsastajan nimi	
		Paikka ja pvm	

CI15 - 2/2015

Liikenteen turvallisuusvirasto, PL 320, 00101 Helsinki • www.trafi.fi • Y-tunnus 1031715-9

Autojen (M₁- ja N₁-luokka) prosenttitaulukot

1. Kori varusteineen¹	34 %	4. Akselistot⁶	8 %
- korikehikko ²	22 %	- etuakselisto	4 %
- katto	2 %	- taka-akselisto	4 %
- takalokasuojat	1 % / kpl	5. Sisustus	4 %
- etukansi	1 %	- istuimet ⁷	2 %
- takakansi	1 %	- kojelauta	2 %
- etulokasuojat ³	1 % / kpl	6. Valaisimet	4 %
- ovet ⁴	4 %	- etuvalaisimet	2 %
- puskurit	0,5 % / kpl	- takavalaisimet	2 %
- etusäleikkö	1 %		
- lämmityslaitte ⁵	2 %	Kohdat 1.-6. yhteensä	100 %
2. Runko- tai pohjalevy¹	24 %		
3. Moottori apulaitteineen	26 %		
- moottori	14 %		
- vaihteisto ja voimansiirto			
akseli	8 %		
- jäähdytin	2 %		
- polttoainesäiliö	2 %		

¹ Itsekantavan korin osalta runko- tai pohjalevyn osuutta ei määritellä vaan rakenteessa korikehikon osuus on yhteensä 46 %, kori varusteineen 58 %.

² Jos N₁-luokan ajoneuvossa on korikehikosta erillinen lava, kontti tai muu tavaroiden kuljetukseen tarkoitettu tila, sitä ei lueta mukaan korikehikon osuuteen eikä muuhun taulukossa jyvitettyyn osakokonaisuuteen.

³ Jos ajoneuvossa ei ole erillisiä etulokasuojia, niiden osuus 2 % lisätään korikehikon osuuteen ja vastaavasti itsekantavan korikehikon osuuteen.

⁴ Neliovisessa 1 % / kpl, kaksiovisessa 2 % / kpl.

⁵ Jos ajoneuvossa ei ole alun perin ollut lämmityslaitetta, sen osuus 2 % lisätään korikehikon osuuteen ja vastaavasti itsekantavan korikehikon osuuteen.

⁶ Lukuun ottamatta jarruja ja ohjauslaitteistoa.

⁷ Kaksipaikkaisessa 1 % / kpl, muissa etuistuimet 0,5 % / kpl ja takaistuin 1 %.

Liite 4. MB slc electric.

