

Matti Lamminaho

**ECELICA-MUUNNOSSÄHKÖAUTO**  
Lataus- ja lämmitysjärjestelmä sekä sähköinen  
viimeistely

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2015




**MAMK**

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  18.3.2015
<b>Tekijä(t)</b> Matti Lamminaho	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Sähkötekniikan koulutusohjelma</b>
<b>Nimeke</b>  eCelica -muunnossähköauto - Lataus- ja lämmitysjärjestelmä sekä sähköinen viimeistely	
<b>Tiivistelmä</b>  Työn tavoitteena oli rakentaa Mikkelin ammattikorkeakoulun käyttöön tulevaan muunnossähköautoon toimivat lataus- sekä lämmitysjärjestelmät. Tämä työ on osa Toyota Celican muuttamista tieliikennekelpoiseksi täyssähköautoksi. Tärkeimpänä osana työtä oli saada toimiva lämmitysjärjestelmä autoon, jotta se voitiin katsastaa tieliikennekäyttöön.  Työssä käydään läpi, miten nykyisiin lämmitys- ja latausjärjestelmiin päädyttiin ja oliko lopputulos odotusten mukainen. Työssä käydään läpi myös muita lataus- ja lämmitysjärjestelmien ohella ilmenneitä ongelmia, jotka tuli ratkaista auton saamiseksi tieliikennekelpoiseksi.  Työn tavoitteet saavutettiin onnistuneesti, ja auto rekisteröitiin tieliikenteeseen. Nyt muunnossähköauto menee käyttöön Mikkelin ammattikorkeakoulun henkilökunnalle, mutta autoa tullaan varmasti käyttämään opetustarkoituksessa sekä sitä tullaan kehittämään vielä eteenpäin.	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Sähköauto, eCelica, laturi, latausjärjestelmä, lämmitysjärjestelmä	
<b>Sivumäärä</b> 26	<b>Kieli</b> Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Teemu Manninen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Mikkelin Ammattikorkeakoulu

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b>  18.3.2015
<b>Author(s)</b> Matti Lamminaho	<b>Degree programme and option</b> Electrical Engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  eCelica - Electric vehicle conversion - Heating and charging systems and electrical finishing	
<b>Abstract</b>  The purpose of this thesis was to build well functioning heating and charging systems to an electric vehicle conversion which will go in the use of Mikkeli University of Applied Sciences. This thesis is part of a bigger vehicle conversion project. The most important thing in this thesis is to build properly functioning heating system in the vehicle so that it can be registered for the use of public roads.  In this thesis I will explain how was the current heating and charging systems selected and was the end result as expected. This thesis discusses electrical finishing and small fixes that had to be made to get this vehicle legal.  The target of this thesis was achieved successfully and now the vehicle is registered and legal on the public roads. From now on the vehicle will be in the use of Mikkeli University of Applied Sciences but I'm sure that it will be used a lot in educational and PR purposes. I'm also quite certain that building this vehicle will even better will continue.	
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Electric car, eCelica, charger, charging system, heating system	
<b>Pages</b> 26	<b>Language</b> Finnish
<b>Remarks, notes on appendices</b>	
<b>Tutor</b> Teemu Manninen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Mikkeli University of Applied Sciences

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	SÄHKÖAUTOTYYPIT .....	2
2.1	Hybridiautot .....	2
2.1.1	Rinnakkaishybridi .....	2
2.1.2	Sarjahybridi .....	3
2.1.3	Täyshybridi .....	4
2.1.4	Ladattava hybridi eli plug-in hybrid .....	4
2.2	Polttokennoauto .....	5
2.3	Täyssähköauto .....	6
3	E-CELICA .....	7
3.1	Työn lähtökohta .....	7
3.2	Sakarakytkimen korjaus .....	9
4	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ .....	10
4.1	Vesikierron rakentaminen .....	10
4.2	Lämmittimen hankinta .....	11
4.3	Lämmittimen asennus .....	13
4.4	Lämmittimen virtojen kytkentä ja PT100-anturin asennus .....	15
5	LATAUSJÄRJESTELMÄ .....	16
5.1	Itse rakennettu laturi .....	17
5.2	TC Charger .....	18
6	MUITA AUTOON TEHTYJÄ MUUTOKSIA .....	19
6.1	Energiatehokkuuden parantaminen .....	19
6.2	Testiajossa havaittuja vikoja sekä niiden korjaaminen .....	21
6.2.1	Peruutusvalot .....	22
6.2.2	Kosketusnäytön informaatiopuute ja kaatuilu sekä niiden korjaus ..	23
6.2.3	Akkukennojen liiallinen lämpeneminen .....	24
6.2.4	Autoon kuuluva rengasmelu .....	25
7	POHDINTA .....	25
	LÄHTEET .....	27

## **KÄSITTEET**

<b>BMS</b>	<b>Battery Management System, akunhallintajärjestelmä</b>
<b>REGENEROINTI</b>	<b>Jarrutusenergian talteenotto</b>
<b>LiFePO4 -akku</b>	<b>Litium-rautafosfaattiakku</b>
<b>PLC</b>	<b>Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka</b>

## 1 JOHDANTO

Sähkökäyttöisten henkilöautojen kysyntä kasvaa vuosi vuodelta ihmisten tullessa yhä tietoisemmiksi ympäristöämme uhkaavista ongelmista. Lisäksi jatkuvasti nouseva verotus sekä kasvava öljyn hinta saa yhä useamman miettimään sähköauton ostamista. Tästä kertoo muun muassa Trafín ensirekisteröintitilastot. Vuonna 2012 ensirekisteröityjä täyssähköautoja oli 51 kappaletta, kun puolestaan 2014 ensirekisteröintejä oli jo 183 kappaletta /1/.

Opinnäytetyöni aiheena oli suunnitella sekä toteuttaa toimivat lataus- sekä lämmitysjärjestelmät Mikkelin ammattikorkeakoulun käyttöön tulevaan muunnossähköautoon. Lisäksi työhöni kuului muitakin sähköisiä viimeistelyjä, jotta muunnossähköauto saataisiin rekisteröityä tieliikenteeseen.

Muunnossähköauton rakentaminen on aloitettu syksyllä 2012 kolmen sähkötekniikan opiskelijan sekä yhden opettajan toimesta. Autoa ei kuitenkaan saatu katsastuskelpoiseksi kyseisten opiskelijoiden valmistumiseen mennessä, joten minulle tarjoutui yhdessä Tomi Kaihovirran kanssa saattaa aloitettu muunnos loppuun.

Työn onnistumisen kannalta oli oleellista ymmärtää, mitä muutoksia autoon on jo aiemmin tehty ja mitä mahdollisia varotoimia olisi syytä noudattaa auton kanssa työskennellessä. Lisäksi työssä tarvittiin laaja-alaista ymmärrystä sähköisten laitteiden toiminnasta ja tarkoituksista. Vaikeissa tilanteissa oli mahdollista konsultoida projektin vetäjää Teemu Mannista, mikäli vastaan tullut ongelma ei ollut itse selvitettävissä.

Työssä käydään läpi millaisia lataus- ja lämmitysjärjestelmiä muunnossähköautoon suunniteltiin asennettavaksi, sekä miten nykyisiin vaihtoehtoihin päädyttiin. Lisäksi työssä käsitellään myös yleisesti muita muutoksia, joita täytyi tehdä, jotta auto saatiin rekisteröityä tieliikennekäyttöön.

## 2 SÄHKÖAUTOTYYPIT

Sähköautot tekivät ensiesiintymisensä jo 1830-luvulla, kun Michael Faraday oli keksinyt sähkömoottorin periaatteen. Tuolloin rakennettiin ensimmäinen sähköautoa muistuttava sähkövaunu. 1900-luvun alkupuoliskolla sähköautojen suosio oli varsin kova ja niitä käytettiin yleisessä taksikäytössä. Tuolloin käytössä oli vaihtoakkuperiaate, eli taksit kävivät varikolla vaihtamassa tyhjät akut uusiin aika ajoin. Ensimmäisen maailmansodan syttyessä kiinnostus sähköautoja kohtaan kuitenkin lopahti, sillä ne eivät soveltuneet hyvin sotatarkoitukseen. /2./ Nyt sähköautot ovat kuitenkin tekemässä uutta tuloaan.

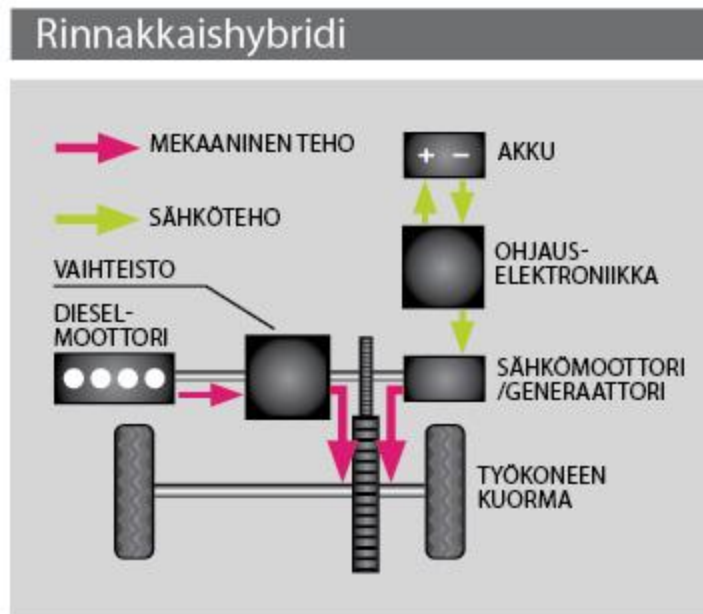
Sähköautoja on olemassa erilaisia. Yleisimpiä ovat hybridiautot, joissa käytetään sekä poltto- että sähkömoottoria. Polttokennoautoissa liikkumiseen tarvittava sähkö saadaan polttamalla kennostossa vedystä ja hapesta koostuvaa seosta, ja syntyvä sähkö varastoidaan autossa olevaan akustoon. Kolmas käytössä oleva tekniikka on täyssähköautot, jotka toimivat puhtaasti lataamalla autossa olevaa akustoa. Täyssähköautoja löytyy sekä kaupallisina että muunnossähköautoina. Projektissa käytetty auto on juurikin viimeisenä mainittu muunnossähköauto.

### 2.1 Hybridiautot

Hybridiautoja on olemassa eri tyyppisiä. Hybridiautojen etuna on kevyempi verotus verrattuna normaaleihin polttomoottoriautoihin. Autojen hankintahinta on kuitenkin vielä korkea, mikä on rajoittanut hybridiautojen kasvun määrää.

#### 2.1.1 Rinnakkaishybridi

Rinnakkaishybridissä autoa liikutetaan sekä polttomoottorilla että sähkömoottorilla. Rinnakkaishybrideissä sähkömoottoria käytetään enimmäkseen kiihdytyksissä ja pienissä nopeuksissa polttomoottorin rinnalla /3/.

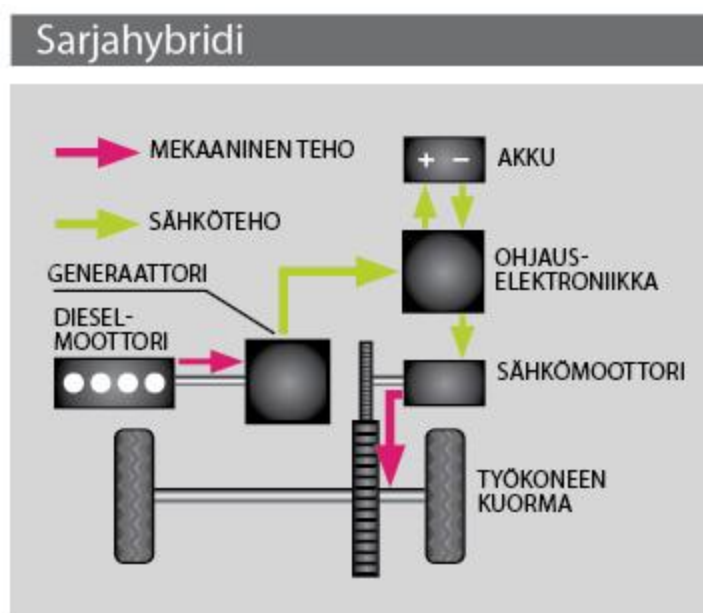


**KUVA 1. Rinnakkaishybridin toiminta /4/**

Rinnakkaishybridit eivät näin ollen kykene kulkemaan täysin sähkömoottorin varassa. Sähkömoottori ottaa energiansa akustolta, jota ladataan polttomoottorin käydessä tai regeneroimalla eli jarrutusenergian talteenotolla /3/.

### 2.1.2 Sarjahybridi

Sarjahybridi on periaatteeltaan samantapainen kuin rinnakkaishybridi, mutta sarjahybridissä liikkumiseen käytetään vain sähkömoottoria /3/.



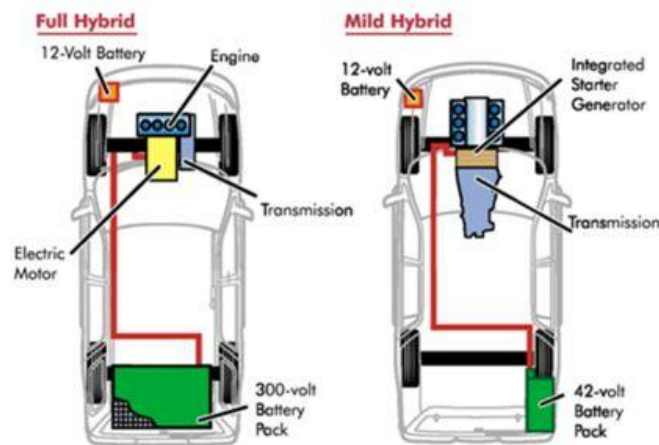
**KUVA 2. Sarjahybridin toiminta /4/**



Sähkömoottorille tuleva energia tuotetaan polttomoottorilla, josta se menee sähkömoottorille suoraan tai akuston kautta. Sarjahybridin etuna on nopeampi vasteaika sekä pienempi polttoaineen kulutus johtuen sähkömoottorin otollisesta vääntöalueesta /5/.

### 2.1.3 Täyshybridi

Täyshybridillä on mahdollista liikkua pelkän sähkömoottorin varassa pienillä nopeuksilla. Täyshybridissä akuston koko mahdollistaa liikkumisen ilman polttomoottorin avustusta. Tarpeen vaatiessa polttomoottori käynnistyy sähkömoottorin rinnalle, esimerkiksi nopeissa kiihdytyksissä ja akuston varauksen ollessa alhainen.



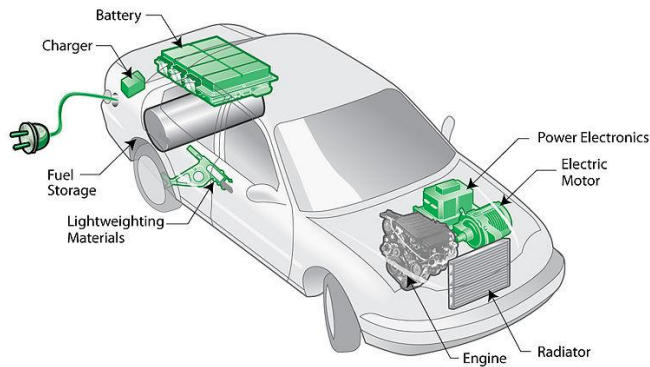
Graphic Courtesy of EDTA

### KUVA 3. Täyshybridin toiminta verrattuna sarja- ja rinnakkaishybridiin /7/

Kuten muissakin hybridiautoissa, täyshybridi saa energiansa polttomoottorilta ja regeneroinnista /6; 7/.

### 2.1.4 Ladattava hybridi eli plug-in hybrid

Ladattava hybridi on kuten täyshybridi, mutta auton akustoa on mahdollista ladata verkkovirrasta. Ladattavassa hybridissä sähkömoottorilla ajettavissa oleva matka on suurempi kuin täyshybridillä, minkä takia se on lähellä täyssähköautoa. Etuna täyssähköautoon verrattuna on kuitenkin käytettävissä oleva polttomoottori, joka mahdollistaa pidempienkin matkojen ajamisen.

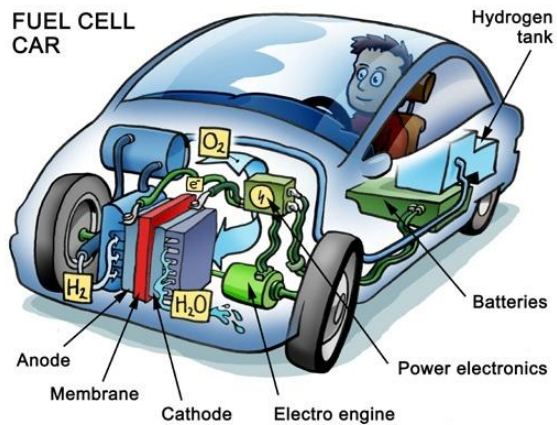


**KUVA 4. Ladattavan hybridin osat /8/**

Ladattavien hybridien lataus suoritetaan niin sanotulla hitaalla latauksella. Tämä tarkoittaa sitä, että auton akusto voidaan ladata täyteen tavallisesta pistorasiasta noin 2 - 7 tunnin ajassa riippuen akuston varauksesta /8/.

## 2.2 Polttokennoauto

Polttokennoautoissa sähköä tuotetaan polttamalla vetyä autossa olevassa kennostossa. Kennosto koostuu kolmesta osasta: elektrolyytistä, anodista ja katodista. Kennossa poltetaan vetyä, minkä seurauksena kennostoon syntyy sähkövaraus. Sähkö johdetaan kennostosta joko akustolle tai sähkömoottorille suoraan. Polttokennosto saattaa olla kytketty autoon kuten sarjahybridissä, jolloin kennosto tuottaa sähköä vain akustolle. Näitä autoja kutsutaan vetyhybrideiksi. Joissakin autoissa polttokennosto on voitu laittaa polttomoottorin rinnalle. Toistaiseksi tällaisia trihybrideitä ei kuitenkaan juuri ole. Kuten muissakin sähköautoissa myös polttomoottoriautossa energiaa otetaan talteen regeneroimalla. /10./



**KUVA 5. Polttokennoauton osat /11/**

Polttokennoauto tuottaa päästöinä vain lämpöä ja vettä, joten se lasketaan päästöttömäksi autoksi. Ajamiseen tarvittavan vedyn tuottaminen kuitenkin muodostaa päästöjä, sillä vedyn tuottoprosessissa kuluu huomattava määrä energiaa. Vedyn tuotantoa yritetään jatkuvasti tehdä helpommaksi ja päästöttömämmäksi. /10./

### 2.3 Täyssähköauto

Täyssähköautot ovat nimensä mukaisesti täysin sähkön varassa toimiva. Autojen kysyntä on kasvanut vuosien varrella, mutta suurimpana ongelmana useimmille on vielä auton lyhyehkö toimintasäde. Sähköautojen keskimääräinen toimintasäde on noin 100 - 200 kilometriä /12/. Autojen toimintasäde lyhenee huomattavasti talvisin, sillä akuston ollessa kylmä virran antokyky laskee. Talvella auton ajomatkaa laskee myös sisäilmanlämmitin, joka ottaa tarvittavan lämmitysenergian auton akustolta. Akuston paino vie yleensä huomattavasti auton käytävissä olevasta hyötykuormasta. Hyötykuorman koon laskeminen on osaltaan vaikuttanut autojen heikkoon menekkiin. Jatkuvasti kehittyvä akkuteknikka kuitenkin tulee varmasti lisäämään täyssähköautojen ajosädetä /12/.



**KUVA 6. Tesla oli Suomen myydyin sähköauto 2014 /14/**

Täyssähköauton moottori saa tarvitsemansa energian auton ajoakustolta. Akusto ladataan verkkovirralla joko hitaalla tai nopealla latauksella. Hidasta latausta käytetään yleensä kotona tai työpaikalla. Akun täyteen lataaminen hitaalla latauksella vie noin 6 - 12 tuntia. Joissakin tapauksissa auto voidaan ladata myös pikalatauksella, joka vie noin 15 minuuttia. Pikalataus kuitenkin lyhentää akkujen käyttöikää, koska pikalatauksessa latausvirta on erittäin suuri.

Pikalatausta käytetään yleensä julkisilla pikalatausasemilla. Suomen julkinen latausasemaverkosto ei kuitenkaan vielä ole kovin kattava, mutta sitä rakennetaan koko ajan /13/.

### **3 E-CELICA**

#### **3.1 Työn lähtökohta**

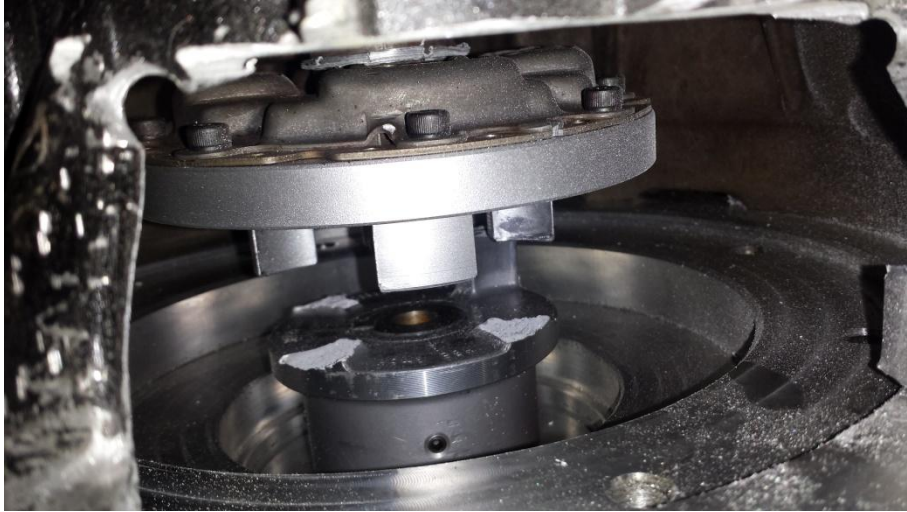
Projektin kohteena ollut Celica oli saatu jo saatu melko pitkälle edellisen työryhmän toimesta. Autoon oli asennettu akusto, joka koostui 36 kappaleesta Calbin CA180FI litium-rautafosfaatti- eli LiFePO<sub>4</sub> -kennoja /15/. Akuston pääjännite on siis 118,8 V ja yksittäisen kennon jännite noin 3,3 V. Akusto on jaettu kolmeen osaan, ja jokaista osaa vahtii yksi BMS eli Battery Management System. Pääakustoon oli lisäksi liitetty kaksi DC/DC-muunninta eli tasajännitemuunninta. Nämä kaksi muunninta on kytketty rinnakkain lataamaan auton edessä olevaa käyttöakkaa, joka huolehtii auton käyttö- ja turvalaitteista /15/.

Moottoriksi autoon oli valittu HPEVS AC-50 -moottori ja moottorinohjaimeksi Curtis 1238R /16/. Moottorin huipputeho on 53,47 kW ja huippuvääntö 163,4 Nm. Logiikasta vastaa Modicon M340 ja kosketusnäyttö auton sisällä on Magelis XBT GT 4230 /17/. Logiikalle on oma muuntaja, joka on yhdistetty auton edessä olevaan käyttöakkuun.



**KUVA 7. E-celican konetila ennen työn aloittamista**

Vaikka auto oli saatu rakennettua jo melko pitkälle, ei sitä kuitenkaan ollut ehditty saamaan rekisteröinti kuntoon ennen ajan loppumista. Autossa ei ollut minkäänlaista laturia ja auto oli testiajon aikana lopettanut liikkumisen täysin. Syynä ei kuitenkaan ollut akuston hyytyminen, vaan sähkömoottorin ja vaihdelaatikon välillä oleva sakarakytkin oli hajonnut (kuva 8).



**KUVA 8. Rikkoutunut sakarakytkin**

Sakarakytkimen korjauksesta tuli projektin ensimmäinen vaihe. Sakarakytkimen korjaus oli välttämätöntä projektin etenemisen kannalta. Ilman toimivaa voimavälitystä auton siirtäminen työhallissa oli huomattavasti vaikeampaa.

### **3.2 Sakarakytkimen korjaus**

Sakarakytkimen hajoamisen syyn selvittämiseksi oli koko vaihdelaatikko irroitettava autosta. Vaihdelaatikko oli kiinnitetty auton runkoon, moottoriin sekä auton yläpuolella sijaitsevaan robotiikkavaihteistoon. Kun kaikki kiinnityspultit oli irrotettu ja vetonivelet poistettu, lähti vaihdelaatikko melko helposti pois paikaltaan. Laatikon poistamisen jälkeen selvisi, että vaihdelaatikon päässä oleva sakarakytkin oli päässyt vetäytymään taaksepäin ja sakarat olivat olleet kosketuksissa vain toistensa ulkoreunoihin. Sakarakytkin ei ollut kestänyt moottorilta tullutta momenttia ja oli antanut periksi.

Laatikon ja moottorin päihin tilattiin uudet sakarakytkimet. Takaisin asennettaessa molempiin sakarakytkimiin asennettiin holkit, jotka estävät kytkimiä vetäytymästä taaksepäin. Holkit ovat akselia vasten sekä moottorin että vaihdelaatikon päässä, mikä estää sakarakytkinten liikkumisen akselilla.

Ennen kuin uudet sakarakytkimet asetettiin paikoilleen, varmistettiin mittaamalla etteivät sakarakytkimet tulleet liian lähelle toisiaan.

Sakarakytkimet eivät saa osua toisiinsa, vaan niiden väliin tulee jäädä noin yhden millimetrin rako. Tällöin kytkimet eivät kolise toisiaan vasten ajossa. Kun asia oli varmistettu, vaihdelaatikko asennettiin takaisin paikoilleen ja auto todettiin jälleen liikkuvaksi.

## 4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Koska projekti on muunnossähköauto, ei polttomoottorin tuomaa huurteenpoistojärjestelmää enää ole moottorin vaihtamisen jälkeen. Huurteenpoisto on kuitenkin määritelty pakolliseksi viranomaisvaatimuksissa, joten autoon oli rakennettava sähköinen huurteenpoistojärjestelmä /18/.

### 4.1 Vesikierron rakentaminen

Celicaan oli tehty moottorin vaihdon jälkeen alustava vesikierto, mutta kyseinen kierto ei toiminut. Kiertoon pääsi jostain ilmaa, joten letkujen vedot oli tehtävä uudelleen. Vanha letkukierto otettiin pois ja uutta kiertoa alettiin rakentaa. Ennen letkujen vetoa oli päätettävä asennettavan lisälämmittimen paikka konetilan ahtauden vuoksi. Paras paikka asentaa lisälämmitin oli tulipellin edessä, juuri ennen kuin vesi menee auton sisäkennolle.



**KUVA 9. Vesikierron veto käynnissä**

Auton sisäkennolta tuleva putki vedettiin kiertopumpulle. Pumpulta jatkettiin moottorinohjaimen alle, jossa kiertävä vesi viilentää moottorinohjainta. Moottorinohjaimen alta jatkettiin paisuntasäiliölle.

Koska paisuntasäiliö ei enää ollut alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan, siitä tehtiin osa vesikiertoa. Tämä mahdollistaa nesteen lisäämisen kiertoon helposti, mikäli sille on tulevaisuudessa tarvetta. Paisuntasäiliöltä kierto jatkuu lämmittimelle, josta se menee sisälle.

## 4.2 Lämmittimen hankinta

Lämmittimen valitseminen osoittautui odotettua haastavammaksi. Aluksi oli tarkoitus hankkia valmis vesiboileri, mutta ongelmaksi muodostui pieni asennustila sekä akuston ongelmallinen 118,8 voltin jännite. Kyseisillä kriteereillä ei löytynyt sopivaa vesiboileria, joten aloimme harkita sopivan boilerin rakentamista itse. Ajatus kuitenkin hylättiin, sillä itse rakennetun boilerin kestävydestä ja pitävyydestä pitkällä aikavälillä ei voitu olla täysin varmoja. Ratkaisua lähdettiin etsimään valmiiksi tehdyistä letkulämmittimistä, jotka asennetaan kiertoletkun väliin.

Lähes kaikissa letkulämmittimissä on sisäinen kiertovesipumppu. Lämmittimen pumppu on turha, sillä vesikierrrossa oli asennettuna jo yksi pumppu. Lisäksi oli otettava huomioon, että lämmittimen teho laskee huomattavasti valmistajan lupaamasta tehosta. Letkulämmittimien annetut tehot oli ilmoitettu 230 V vaihtojännitteellä, mutta autossa on käytössä 118 V tasajännite. Isoin löytämämme letkulämmitin, jossa ei ollut pumppua asennettuna oli Defan SafeStart 2000W letkulämmitin /19/.

Lämmittimen todellisen tehon saamiseksi on ensin laskettava lämmittimelle menevä virta kaavalla 1, jotta voidaan laskea lämmittimen teho:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2000W}{230V} = 8A \quad (1)$$

jossa

I = virta

P = teho

U = jännite.



Kun tiedetään verkkojännitteellä letkulämmittimen läpi menevä virta, voidaan lämmittimen vastusarvo laskea kaavalla 2:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230V}{8A} = 28,75\Omega \quad (2)$$

jossa

R = Vastuksen arvo

U = Jännite

I = Virta

Tästä edelleen saadaan laskettua lämmittimen akustolta ottama virta kaavalla 3:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{118V}{28,75\Omega} = 4,1A \quad (3)$$

jossa

I = Virta

U = Tasajännite

R = Vastuksen koko

Kun tiedetään kaikki tarvittavat arvot, voidaan laskea letkulämmittimen todellinen teho auton akustoon kytkettäessä. Tehon laskemisessa voidaan käyttää kaavaa 4:

$$P = U \times I = 118V \times 4,1A = 483,3W \quad (4)$$

jossa

P = Lämmittimen teho tasajännitteellä

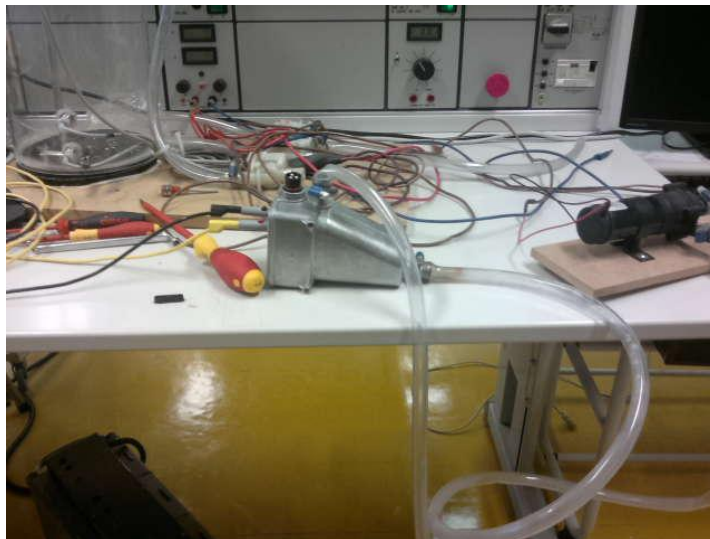
U = Tasajännite

I = Virta

Lämmittimen teho todettiin riittäväksi auton käyttötarkoitukseen nähden. Kyseinen Defan lämmitin päätettiin ottaa auton lisälämmittimeksi.

### 4.3 Lämmittimen asennus

Ennen lämmittimen asentamista päätimme rakentaa testipenkin lämmittimelle. Testipenkin avulla pystyimme selvittämään, kuinka paljon aikaa kierrossa olevan nesteen lämmittämiseen kuluu, ennen kuin lämmitin alkaa tuottaa tarvittavan määrän lämpöä. Sähkölaboratoriossa olevan sähköpöydän avulla saimme säädettyä virran sekä jännitteen oikeiksi, jotta tulokset olisivat mahdollisimman lähellä totuutta. Kokeilimme testipenkkiä tavallisella hanavedellä sekä järjestelmässä kiertävällä jäähdytysnesteellä. Tavallisella vedellä lämmittämiseen meni noin 40 minuuttia, mutta jäähdytysnesteellä riittäviin lämpötiloihin päästiin jo vajaassa 20 minuutissa. Totesimme, että lämmitin kykenee tuottamaan tarpeeksi lämpöä huurteenpoistotarkoitukseen.

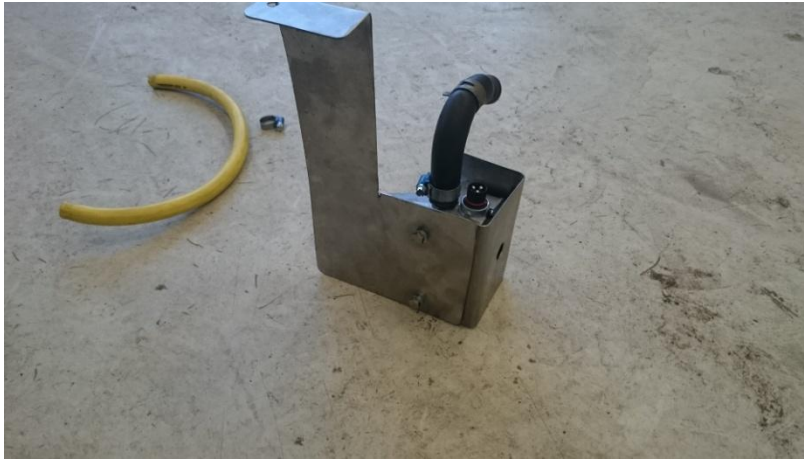


**KUVA 10. Lämmittimen testipenkki**

Myöhemmin testiajossa saimme iloksemme huomata, että lämmitin kykenee tuottamaan lämpöä auton sisälle asti eikä vain huurteenpoistoon.

Ennen kuin asensimme lämmittimen, poistimme lämmittimestä siihen valmiiksi asennetun termostaatin, sillä termostaatti oli tarkoitettu vaihtojännitteelle. Tasajännitteellä termostaatti ei olisi kestänyt muutamaa käyttökertaa pidempään. Tilalle hankittiin PT100-lämpötila-anturi, jota ohjataan PLC:n eli auton logiikan kautta.

Asennus alkoi rakentamalla teline lämmittimelle. Lämmittimen ympärille tuli yhteensä kolme pidikettä. Ensimmäinen pidike kiertää lämmittimen ympäri ja tähän pidikkeeseen porattiin päätyyn reikä. Reiästä on mahdollista nollata lämmittimen sisäinen lämpörele, mikäli se jostain syystä pääsee laukeamaan. Toinen pidike tukee lämmitintä ylöspäin. Tämä pidike kiinnitettiin tulipellin yläreunaan. Viimeinen pidike tukee lämmitintä alaspäin ja tämä pidike taipuu auton alle.



**KUVA 11. Lämmittimen tuet ylöspäin ja ympäri**

Näillä kolmella pidikkeellä saimme varmistettua, ettei lämmitin pääse liikkumaan mihinkään suuntaan. Kun lämmittimen kaikki pidikkeet oli saatu valmiiksi, lämmittimelle tehtiin koekiinnitys. Koekiinnityksellä varmistettiin, että kaikki pidikkeet sopivat saumattomasti yhteen.



**KUVA 12. Lämmittimen koekiinnitys**

Kun koekiinnitys oli tehty ja samalla saatu varmuus, ettei lämmitin pääse liikkumaan pois paikaltaan, pidikkeet otettiin irti maalausta varten. Pidikkeet maalattiin mustaksi, jolloin ne sulautuvat hyvin konetilaan.

#### 4.4 Lämmittimen virtojen kytkentä ja PT100-anturin asennus

Lämmitintä asentaessa poistimme kokonaan aiemmin asennetun robotiikkavaihteiston, sillä se todettiin toimimattomaksi. Robotiikalta ylijääneet releet sekä PLC:n sisääntulot otettiin hyötykäyttöön lämmittimen virtoja vedettäessä. Käyttämällä jo aiemmin käytössä olleita sisääntuloja saimme helposti tehtyä logiikkaan On/Off -napin lämmittimelle.

Ensimmäisenä teippasimme lämmittimelle ja sekä moottorinohjaimelle menevät johtimet säädösten mukaisesti oranssilla teipillä joka varoittaa korkeajännitteestä /20/. Tämän jälkeen kytkimme tulevan virran kontaktorille. Virta otettiin moottorinohjaimelle tulevilta akuston navoilta. Tällä varmistettiin se, ettei lämmitin mene vahingossa päälle silloin kun auto ei ole käynnissä. Kontaktorilta vedettiin johto itse lämmittimelle konehuoneen reunoja pitkin. Lämmitintä ohjataan kontaktorilla, joka saa ohjausvirtansa releeltä. Rele on kytketty logiikkaan, ja se vetää kontaktorin päälle, mikäli logiikassa olevaa On/Off -kytkintä painetaan.



**KUVA 13. Lämmitin kiinnitettynä paikalleen**

Logiikkaan ohjelmoitiin PT100-anturilla ohjaus, joka katkaisee virran kontaktoria ohjaavalta releeltä, jos järjestelmässä kiertävän nesteen lämpötila nousee liian

korkeaksi. Tällä varmistetaan siitä, ettei moottorinohjain tai itse lämmitin pääse ylikuumentumaan.

## 5 LATAUSJÄRJESTELMÄ

E-celicassa käytetään hidasta latausta, mikä tarkoittaa sitä, että auto latautuu sähköverkon kautta noin 6 - 12 tunnissa. Mikkelin ammattikorkeakoululla on kuitenkin auton lataamista varten aurinkopaneeli ja pienehkö tuulivoimala. Autoa ladataan täysin vihreällä energialla, mikä vähentää auton hiilijalanjälkeä entuudestaan.

Celicaan on asennettu tyypin 1 latauspistoke. Tällä pistokkeella auton akustoa pystyy lataamaan korkeintaan 16 ampeerin latausvirralla yhdestä vaiheesta. Todellinen latausvirta määräytyy kuitenkin autossa olevan laturin mukaan.



**KUVA 14. Tyypin 1 latauspistoke /21/**

Projektin alussa celicaan tilattiin TC Chargerin TCCH-H1 46-20 -mallinen laturi /15/. Laturi on mitoitettu maksimissaan 40 LiFePO4-kennolle, joten sen piti olla sopiva laturi muunnossähköautoon. Jostain syystä tilattu laturi ei kuitenkaan lähtenyt lataamaan auton akustoa, sillä laturi ei tunnistanut kennoja lainkaan. Tämän vuoksi autoon rakennettiin itse väliaikainen laturi, jota käytettiin sen aikaa kun alkuperäisen laturin vikaa yritettiin selvittää.

## 5.1 Itse rakennettu laturi

Laturista päätettiin tehdä mahdollisimman yksinkertainen, jotta sillä varmasti saataisiin ladattua akustoa. Vaarana oli, että kennot pääsevät hajoamaan, sillä minkäänlaista latauksen seurantaa ei ollut. Laturi rakennettiin Lübcken valmistamasta säätömuuntajasta sekä tasasuuntaussillasta. Säätömuuntaja pystyi syöttämään korkeintaan 8 ampeerin latausvirtaa, mutta ladattaessa rajoitimme virran noin 6 ampeeriin. Latausteho oli tällä virralla noin 800 wattia. Auton lataaminen kyseisellä laturilla vei käytännössä muutaman päivän, koska autoa ei voinut koko päiväksi jättää lataukseen. Akuston kapasiteetti on puolestaan 18 kWh, mikä käytännössä tarkoittaa sitä että auton tulisi olla 22,5 tuntia yhtäjaksoisesti latauksessa ennen kuin se saavuttaisi täyden kapasiteetin.

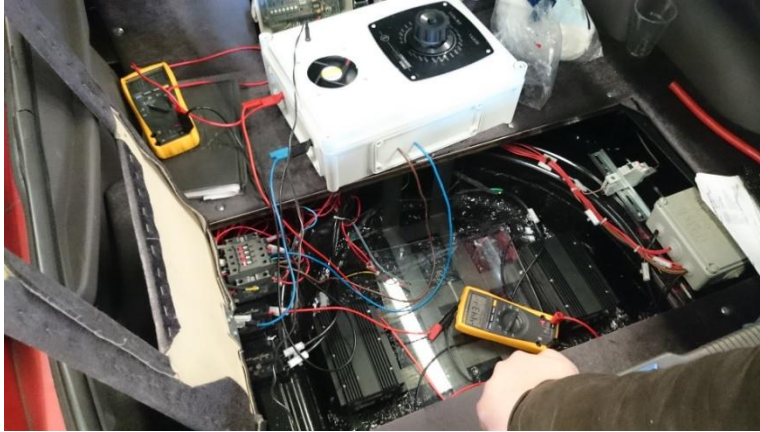


**KUVA 15. Laturi rakennusvaiheessa**

Tasasuuntaussilta kiinnitettiin alumiinilevyyn lämmön jakamiseksi. Lisäksi säätömuuntajan puoleinen pääty leikattiin auki ja siihen laitettiin suodatin. Kanteen asennettiin tasasuuntaussillan kohdalle tuuletin joka puhaltaa ulospäin. Tuulettimella varmistettiin, ettei laturin lämpö pääse nousemaan liian korkeaksi.

Huonoa laturissa oli hitauden lisäksi se, ettei laturissa itsessään ollut minkäänlaista valvontaa akuston lataustilanteesta. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, ettei autoa voinut jättää yksin latautumaan, vaan akkuja ladatessa jonkun täytyi olla aina lähistöllä.

Latauksen valvonta hoidettiin kahdella yleismittarilla, joista toisella valvottiin akuston jännitettä ja toisella latausvirtaa. Yleismittarit kytkettiin laturin ja akuston väliin, minkä mahdollisti akustolta jo valmiiksi tulevat banaaniliittimet.



**KUVA 16. Itserakennettu laturi käytössä**

Rakennetulla laturilla auton akusto ladattiin täyteen pariin kertaan, mutta tulimme siihen tulokseen, että laturi on osaamattoman ihmisen käsissä liian vaarallinen joten päätimme yrittää korjata autoon alun perin hankitun laturin.

## 5.2 TC Charger

Autoon ensimmäisenä hankitun laturin teho on huomattavasti suurempi kuin itse rakentamassamme laturissa. Ostetun laturin latausteho on 3000 wattia eli lähes nelinkertainen itse rakentamaamme nähden. Laturissa oleva LED-indikaattori ei myöskään ilmoittanut mistään virheestä, mikä teki ongelman löytämisestä todella vaikeaa. Laturissa ongelma oli se, ettei laturi tunnistanut perässään olevia kennoja. Tarkastimme BMS:t sekä niiden kytkennät, mutta emme löytäneet kytkennöistä mitään vikaa.

Otimme yhteyttä maahantuojaan ja kysyimme neuvoa ongelman kanssa. Maahantuojan edustaja käski avata laturin ja mitata komponentit siltä varalta, että jotain olisi hajonnut. Emme kuitenkaan löytäneet hajonneita osia, joten otimme maahantuojaan uudelleen yhteyttä. Maahantuojan edustaja lähetti sähköpostilla laturin vianpaikannus- sekä kytkentäohjeet. Nämä samat ohjeet meillä oli jo entuudestaan olemassa, mutta päätimme yrittää kytkeä laturin uudelleen. Laturia kytkettäessä

vedimme osan piuhoista uudelleen ennen kuin kytkimme laturin kiinni. Lataus lähti toimimaan, mutta vieläkkään ei ole tietoa mistä vika johtui.

Kun laturi oli saatu kuntoon, jäljellä oli enää latausvirtaa tutkivan Hall-anturin kytkentä. Anturin kytkentä ei aluksi onnistunut, sillä anturin sisähalkaisija oli pienempi kuin akuston positiivisen päänavan akkukenkä.



**KUVA 17. Toimiva TC Charger lataamassa**

Akkukenkää kaventamalla anturin asennus onnistui kuitenkin ongelmitta. Hall-anturi välittää latausvirtatiedon BMS:sille ja tämän tiedon avulla BMS säätelee laturin latausvirtaa. Ilman virta-anturia kennoja ei pystyttäisi lataamaan aivan täyteen, vaan osa kennoston kapasiteetista jäisi käyttämättä.

## **6 MUITA AUTOON TEHTYJÄ MUUTOKSIA**

Lataus- ja lämmitysjärjestelmien asennusten lisäksi autoon tarvitse tehdä myös muita pieniä muutoksia. Osa muutoksista tehtiin ennen katsastusta ja osa katsastuksen jälkeen, kun havaitsimme vikoja testiajon aikana.

### **6.1 Energiätehokkuuden parantaminen**

Auton ajomatkaa pidentääksemme päätimme asentaa autoon päiväajovalot. Päiväajovaloissa palaa kummallakin puolella autoa 5 watin led-polttimot, mikä on huomattavasti vähemmän kuin auton omista ajovaloista. Mikäli auton omia ajovaloja

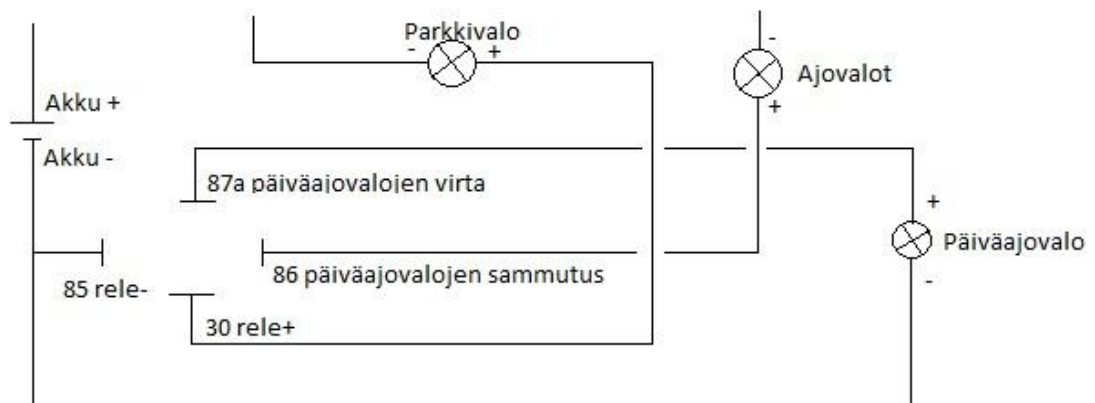


pidettäisiin päällä koko ajan, valoihin menisi 110 wattia jatkuvasti hukkatahoa. Sähköautossa jokainen ylimääräinen sähkölaite kuormittaa akustoa, mikä puolestaan näkyy suoraan ajomatassa.

Ostimme valmiin asennussarjan, jossa on valoille valmiina ohjausyksikkö. Kytettyämme ohjausyksikön ohjeiden mukaisesti huomasimme, että päiväajovalot palavat vain silloin kun auton vaihde on vapaalla, eli N-asennossa. Mikäli vaihteen laittoi joko eteen- tai taaksepäin, päiväajovalot sammuiivat välittömästi. Päiväajovalot sammuiivat myös siinä tapauksessa, jos paikallaan ollessa painoi jarrua. Tällöin jarrujen alipainepumppu lähti käyntiin, mikä aiheutti jännitteen notkahduksen käyttöakulla. Myös sisäilman kierron päälle laittaminen sammutti valot.

Ongelman syyksi osoittautui kevyehkö jännitevaihtelu auton käyttöakustolla. Mukana tullut ohjausyksikkö tutkii akulle tulevaa latausvirtaa. Kun ohjausyksikkö saa signaalin katkaisevalta valolta eli parkki- tai ajovalolta, se sammuttaa päiväajovalot. Tämä muutos aiheuttaa notkahduksen latausjännitteessä. E-celicassa lataus on kuitenkin toteutettu kahdella DC/DC-muuntimella ja latausvirran vaihtelu oli liian suurta led-polttimoiden omalle yksikölle.

Poistimme ohjausyksikön kokonaan ja laitoimme sen tilalle releen. Rele sytyttää päiväajovalot yhdessä parkkivalojen kanssa ja sammuttaa valot, kun ajovalot käännetään päälle.



**KUVA 18. Päiväajovalojen kytkentä**

Käytimme Wehrlen 20 201 100A viisinaapaista relettä valojen kytkemiseen. Yllä havainnollistava kuva kytkennästä (kuva 18). Kytkettyämme releen huomasimme kuitenkin ledien olevan huomattavasti himmeämmät, kuin aikaisemmin. Korjasimme asian laittamalla jännitteen nostimen releen ja päiväajovalojen väliin (kuva 19).



**KUVA 19. Jännitteen nostin suojakotelossa ennen lopullista asennusta**

Tämän jälkeen päiväajovalot lähtivät toimimaan moitteetta (kuva 20).



**KUVA 20. Täysin toimivat päiväajovalot**

Testiajossa päiväajovalot on todettu täysin toimiviksi, eikä ajon aikana ole ilmennyt enää minkäänlaisia häiriöitä.

## **6.2 Testiajossa ilmenneitä puutteita sekä niiden korjaustoimenpiteet**

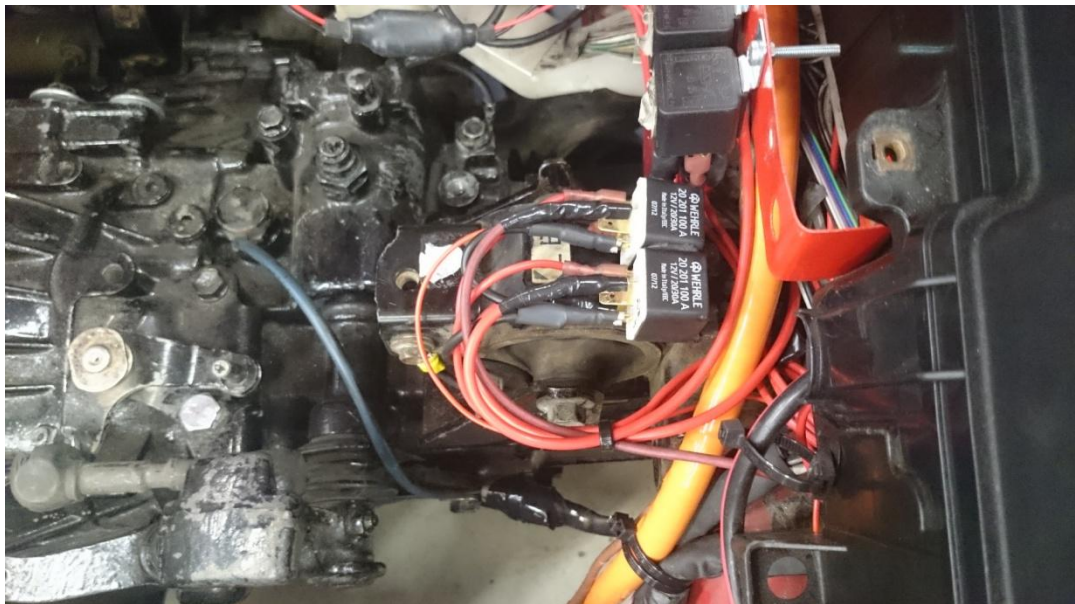
E-celicalla ajettiin yhteensä noin 2400 kilometriä testiajoa. Tarkoituksena oli selvittää auton todellinen ajomatka, sekä mahdolliset pitkän matkan ajossa ilmenevät ongelmat.

Todelliseksi ajomatkan pituudeksi saatiin 125 kilometriä yhdellä latauksella, mikä ylitti odotukset 25 kilometrillä. Testiajon aikana ilmeni kuitenkin muutamia ongelmia, jotka vaativat korjausta.

### 6.2.1 Peruutusvalot

Ensimmäistä kertaa ajaessa autoa katsastuskonttorille rekisteröintiä varten, huomasimme etteivät auton peruutusvalot toimineet lainkaan. Tämä johtui siitä, että vaihelaatikko on lukittu jatkuvasti 2-vaihteelle. Eteen- ja taaksepäin kulkeminen määräytyy vain sen mukaan kumpaan suuntaan logiikka ohjaa moottoria pyörimään. Tästä johtuen peruutusvalot eivät saaneet tietoa peruuttamisesta missään vaiheessa.

Valojen signaali johdon löytäminen osoittautui mahdottomaksi tehtäväksi, joten vedimme valoille kokonaan uuden johdon. Auton takaosaan vedettiin yksi johto ja peruutusvalot linkitettiin toisiinsa. Konehuoneessa oli yksi käyttämätön sulakepaikka, joten valot vedettiin sen kautta.



**KUVA 21. Lämmittimen ohjausrele (ylempi) ja pakkivalojen ohjausrele (alempi)**

Nyt valot on ohjattu logiikasta siten, että kun pakkitieto tulee, logiikka antaa releelle ohjaussignaalin ja peruutusvalot syttyvät. Peruutusvaloja ohjaava rele on alempi rele kuvassa 21.

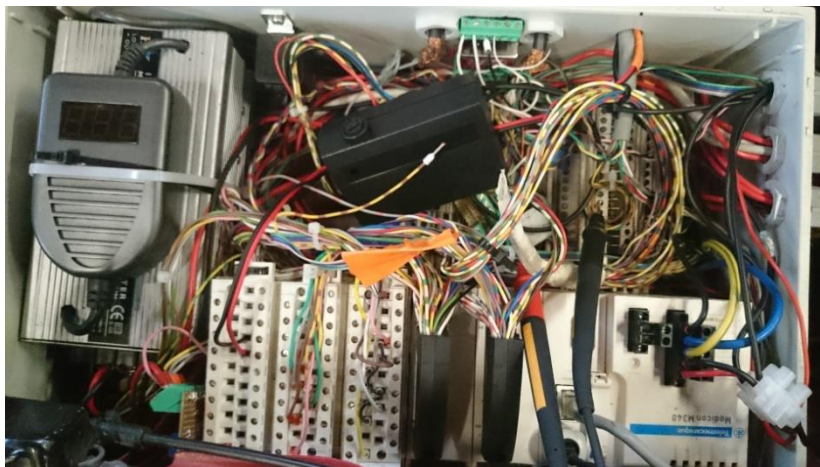
## 6.2.2 Kosketusnäytön informaatiopuute sekä jähmettyminen

Aiemmin kosketusnäyttö ei pitänyt sisällään kovinkaan paljon ajonaikaista informaatiota. Ajotilassa näkyi päällä oleva vaihde, muutama tilatieto sekä mahdolliset hälytykset. Lisäksi BMS:ien yli- ja alijännite tietojen ilmoitusruudut oli ohjelmoitu ristiin.

Tällä hetkellä ajonäkymässä näkyy mittarin muodossa akustolta otettava virta, kaasutieto mittarin vieressä, vaihde, jäljellä oleva ajomatka, ohjaus- ja jarrutehostimen tila, vesikierron pumpun tila sekä lämmittimen tila (kuva 22). Jäljellä olevan ajomatkan mittaus toteutettiin yhdistämällä logiikkaan jänniteanturi, joka tutkii akuston jännitettä ja määrittää siitä parin minuutin välein jäljellä olevan ajomatkan. Kuvassa 23 näkyy jänniteanturi asennettuna logiikkaan.



**KUVA 22. Kosketuspaneelin ajonaikaiset tiedot**



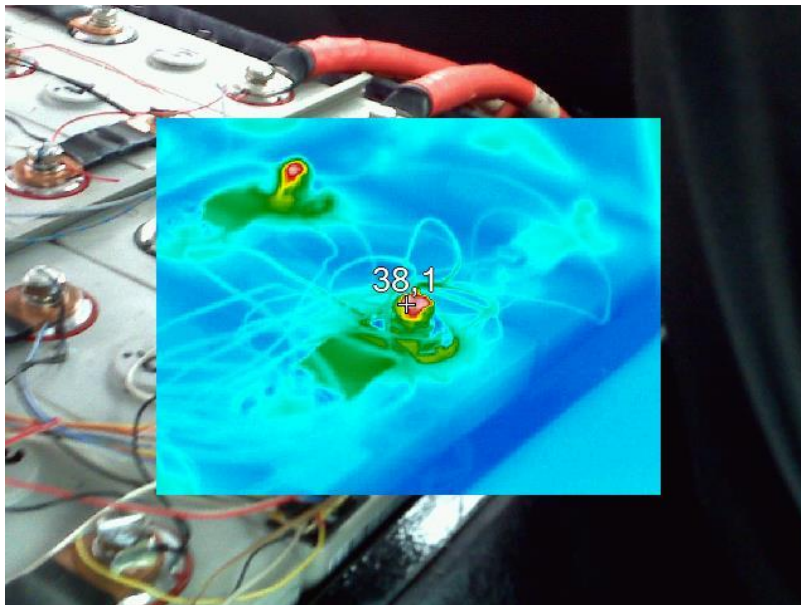
**KUVA 23. Musta anturilaatikko asennettuna**

Lisäksi ajotilasta pääsee lisävalikkoon, jossa voi säätää muun muassa auton maksiminopeutta, maksimi kierroslukua sekä sitä, missä akuston jännitetasossa logiikka alkaa rajoittaa kaasun käyttöä.

Jostain syystä kosketuspaneeli jähmettyy muutaman minuutin ajon jälkeen. Tilanne korjaantuu käynnistämällä auto uudestaan, mutta silloinkin kosketusnäyttö pysähtyy uudelleen. Paneeli vaihdettiin toiseen, mutta se ei auttanut, joten ongelma on todennäköisesti ohjelmassa. Toinen mahdollisuus näytön pysähtymiselle on se, että näytölle tuleva jännite vaihtelee liikaa. Ongelmaan ei ole ainakaan toistaiseksi löytynyt ratkaisua.

### 6.2.3 Akkukennojen liiallinen lämpeneminen

Testiajon aikana logiikkaan yhdistetty tietokone näytti parilla akulla liiallista lämmönnousua. Tietokoneelta ei pystynyt suoraan näkemään, mitkä akkukennot lämpesivät liikaa. Lämmöt nousivat hyvin voimakkaasti varsinkin kiihdyttäessä, sekä pitkissä ylämäissä. Lämpökameralla lämpenevien kennojen paikannus onnistui helposti.



**KUVA 24. Lämpökameran kuva kiihdytyksen alussa**

Syyksi paljastui akun navan ja akut toisiinsa yhdistävän kupariliuskan väliin syntynyt oksidikerros. Kaikki akulta lähtevä virta kulki kiinnityspultin läpi kupariliuskan

yläpuolelle ja jatkoi siitä matkaa. Ongelma ratkaistiin hiomalla sekä kupariliuska että akun napa. Uudessa testiajossa ongelma oli kadonnut.

#### **6.2.4 Autoon kuuluva rengasmelu**

Sähköauto on yleisesti hiljainen, mutta halusimme tehdä autosta vieläkin hiljaisemmän. Toisesta takarenkasta kuului kovaa melua ja syyksi tähän paljastui lähes kokonaan irrallaan oleva jarrusatula. Kun satula oli kiinnitetty kunnolla, lisäsimme vaimennusmassaa ja vaimennusmattoa auton lokakaariin, peräkonttiin sekä pohjaan. Autoon kuuluva rengasmelu saatiin vähenemään huomattavasti.

### **7 POHDINTA**

Projektin tavoitteena oli saada auto muutoskatsastettua sekä hyväksytyä tieliikennekäyttöön. Tässä onnistuttiin varsin hyvin, eikä mitään suuria yllätyksiä työn aikana tullut vastaan. Aikataulullisesti projekti sujui mutkattomasti ja loppua kohden jäi vielä hieman ylimääräistäkin aikaa. Tämä mahdollisti myös muiden kuin vain pakollisten muutosten tekemisen autoon.

Positiivisinta ehdottomasti projektin onnistumisessa on alkuperäisen laturin toimintakunnon palautuminen. Itse tehty laturilla ei olisi pärjätty pitkällä aikavälillä, joten uusi laturi olisi ollut pakollinen hankinta. Onneksi tilanteesta selvittiin jo valmiiksi olemassa olevilla laitteilla.

Lämmityslaitteistosta on todettava, että letkulämmittimestä lopulta saatavan hyötylämmön määrä oli yllättävä. Toki laitteistossa kiertävä neste ei lämpene yhtä hyvin ja kuin laboratorio-olosuhteissa, mutta nykyiseen lopputulokseen olen varsin tyytyväinen.

Korjattavaa jäi vielä kosketuspaneelin osalta. Harmikseni en ehtinyt selvittää, miksei näyttöpaneeli toiminut kunnolla, mutta ongelma on varmasti selvitettävissä. Kehitysmahdollisuutena näkisin uuden robottivaihteiston rakentamisen. Robottivaihteistolla moottorin hyötysuhdetta saataisiin kasvamaan ja maksiminopeutta

nostettua. Esimerkiksi kolmiportainen vaihdelaatikko jossa ensimmäinen vaihde olisi kaupunkinopeuksiin, toinen taajamaan ja kolmas maantielle olisi erittäin hyvä. Tällaisen vaihteiston saisi varmasti rakennettua.



**KUVA 25. eCelica valmiina päivittäiseen ajoon**

Minulle tämä opinnäytetyö on ollut erittäin opettavainen ja olen oppinut paljon sähkö- ja autotekniikasta sekä niiden yhdistämisestä projektin aikana. Työ ei varmastikkaan tule kostaan valmistumaan aivan täysin, vaan se tulee kehittymään vuosi toisensa jälkeen. Nyt auto siirtyy toistaiseksi alkuperäiseen käyttötarkoitukseensa eli Mikkelin ammattikorkeakoulun sisäiseen postinjakoon ja ammattikorkeakoulun promootiokäyttöön.

## LÄHTEET

1. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Verkkodokumentti.  
[http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit\\_kayttovoimittain](http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain). Ei päivytystietoa. Luettu 18.3.2015.
2. Sähköautot - Nyt! Verkkodokumentti. <http://www.sahkoautot.fi/wiki:historia>  
Päivitetty 4.12.2011. Luettu 18.3.2015.
3. Jurgen, Ronald K. Electric and Hybrid-Electric Vehicles - Engines and Powertrains. 2010. SAE International.
4. TEK Verkkolehti. Verkkodokumentti.  
<http://arkisto.lehti.tek.fi/content/hybridi-saastaa>. Päivitetty 23.10.2013. Luettu 18.3.2015.
5. Sähköautot - Nyt! Verkkodokumentti. <http://www.sahkoautot.fi/wiki:vertailu-hybridit>. Päivitetty 3.7.2013. Luettu 18.3.2015.
6. Autowiki. Verkkodokumentti. <http://www.autowiki.fi/index.php/Hybridiauto>.  
Päivitetty 27.2.2015. Luettu 22.3.2015.
7. Altenergymag Online Trade Magazine. Verkkodokumentti.  
[http://www.altenergymag.com/content.php?issue\\_number=05.06.01&article=naftc](http://www.altenergymag.com/content.php?issue_number=05.06.01&article=naftc). Päivitetty 5.1.2006. Luettu 22.3.2015.
8. Motiva Oy. Verkkodokumentti.  
[http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/autotyypit/adattava\\_hybridiauto](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/autotyypit/adattava_hybridiauto). Päivitetty 19.3.2015. Luettu 22.3.2015.
9. Plug-in Hybrid Electric Vehicle. Verkkodokumentti.  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plug-in\\_hybrid\\_electric\\_vehicle\\_%28PHEV%29\\_diagram.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plug-in_hybrid_electric_vehicle_%28PHEV%29_diagram.jpg). Päivitetty 11.3.2015.  
Luettu 22.3.2015.
10. Fuel Cell Vehicle. Verkkodokumentti.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell_vehicle). Päivitetty 18.3.2015. Luettu 22.3.2015.
11. Configuration Of Components In A Fuel Cell Car. Verkkodokumentti.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell#/media/File:Fuelcell.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell#/media/File:Fuelcell.jpg). Päivitetty 20.3.2015. Luettu 22.3.2015.
12. Sähköauto. Verkkodokumentti.  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6auto>. Päivitetty 21.3.2015.  
Luettu 23.3.2015.
13. Motiva Oy. Verkkodokumentti.  
[http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/autotyypit/tayssahkoauto](http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/autotyypit/tayssahkoauto). Päivitetty 15.7.2014. Luettu 23.3.2015.



14. Sähköautojen määrä kasvaa Suomessa vakaasti. Verkkodokumentti.  
<http://www.sahkoinenliikenne.fi/uutiset/sahkoautojen-maara-suomessa-kasvaa-vakaasti>. Päivitetty 14.8.2014. Luettu 23.3.2015.
15. Nykänen, Veikko. 2014. Sähköauto akkujärjestelmä. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö.
16. Turunen, Jani. 2014. Muunnossähköauto eCelica Moottori ja Inverteri. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö.
17. Ehrnrooth, Joonas. 2014. ECELICA-MUUNNOSSÄHKÖAUTO Automatiikka ja käyttöliittymä. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö.
18. Sähköautot - Nyt! Verkkodokumentti.  
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautokonversion-viranomaisvaatimukset>. Päivitetty 13.3.2013. Luettu 29.3.2015.
19. Defa SafeStart 721-734. 2013. PDF-dokumentti.  
<http://www.defa.com/file/f5f941c71375/FIN%20DEFA%20SafeStart%20721-734.pdf>
20. Sähköautot - Nyt! Verkkodokumentti.  
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautojen-saehkoeturvallisuus>. Päivitetty 3.12.2014. Luettu 3.4.2015.
21. PlugIt! Verkkodokumentti.  
<http://plugit.fi/fi-fi/article/etusivu/latauspistoketyypit-sahkoautoille/135/> Ei päivitystietoa. Luettu 24.4.2015.