

Jari Matinniemi

**HILUX-SÄHKÖTYÖKONEEN SÄHKÖTURVALLISUUDEN  
TARKASTELU UNECE SÄÄNNÖN NUMERO 100 POHJALTA**

**HILUX-SÄHKÖTYÖKONEEN SÄHKÖTURVALLISUUDEN  
TARKASTELU UNECE SÄÄNNÖN NUMERO 100 POHJALTA**

Jari Matinniemi  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

---

Tekijä: Jari Matinniemi  
Opinnäytetyön nimi: Hilux-sähkötyökoneen sähköturvallisuuden tarkastelu  
UNECE säännön numero 100 pohjalta  
Työn ohjaaja: Timo Väyrynen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 38 + 3 liitettä

---

Opinnäytetyö on osa Oulun ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikössä toteutettua Hilux-sähkötyökoneprojektia. Projektissa on muutettu dieselkäyttöinen Toyota Hilux sähkökäyttöiseksi ajoneuvoksi. Hilux on täysin toimiva sähköajoneuvo, mutta se on rakennettu nopealla aikataululla, joten kaikki turvallisuusmääräykset eivät välttämättä toteudu. Työn tavoitteena oli tutkia Hiluxin mahdollisia puutteita sähköturvallisuudessa ja etsiä niihin ratkaisut ja tällä tavoin kehittää sitä eteenpäin.

Työssä tarkasteltiin Hiluxin sähköturvallisuutta Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) säännön nro 100 pohjalta. Se määrittelee yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimajärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta. Tästä säännöstä on otettu kohdat, jotka koskevat Hiluxia. Esimerkiksi säännön vaatimusta akkujen vetypäästöille ei tarvitse tarkastella, koska Hiluxin akut ovat täysin suljettuja rakenteeltaan.

Työssä saatujen tulosten perusteella Hilux ei ole täysin E 100 -säännön mukainen. Havaitut puutteet ovat erotusresistanssin sisäisen seurantajärjestelmän puuttuminen, latureiden ja kontaktoriyksikön rungon puutteellinen liitäntä sähköiseen alustaan, ajoneuvolla ajamisen estäminen, kun ajoneuvo liitetään ulkoiseen tehonlähteeseen ja latureiden puutteellinen suojausluokka.

---

Asiasanat: sähkötyökone, turvallisuus, projekti

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 HILUX-SÄHKÖTYÖKONEEN YLEISTIEDOT	8
2.1 Kori	8
2.2 Moottori ja voimansiirto	8
2.3 Akusto	9
2.4 Latausjärjestelmä	9
2.5 Taajuusmuuttaja ja ohjauslogiikka	9
2.6 Lisälaitteet	9
3 SÄHKÖAUTOJEN TURVALLISUUS	10
4 YHDISTYNEIDEN KANSAKUNTIEN EUROOPAN TALOUSKOMISSION (UNECE) SÄÄNTÖ NRO 100	12
4.1 Hyväksyntä	12
4.2 Suojaus sähköiskuilta	14
4.3 Liitäntälaitteet	17
4.4 Huoltokatkaisin	17
4.5 Merkinnät	18
4.6 Suojaus epäsuoralta kosketukselta	18
4.7 Erotusresistanssi	19
4.7.1 Erillisistä tasavirta- tai vaihtovirtaväylistä koostuva sähköinen voimajärjestelmä	19
4.7.2 Yhdistetyistä tasa- ja vaihtovirtaväylistä koostuva sähköinen voimajärjestelmä	19
4.7.3 Erotusresistanssin mittausmenetelmä	20
4.7.4 Mittaus käyttäen ajoneuvon ulkopuolelta saatavaa tasavirtaa	21
4.7.5 Mittaus käyttäen ajoneuvon omaa RESS-järjestelmää tasajännitelähteenä	21

4.7.6 Erotusresistanssin sisäisen seurantajärjestelmän toimivuuden varmistusmenetelmä	21
4.8 Ladattava energiavarastojärjestelmä (RESS-järjestelmä)	22
4.8.1 Ylivirtasuojaus	22
4.8.2 Kaasun kerääntyminen	22
4.9 Toimintaturvallisuus	22
4.10 Tuotannon vaatimuksenmukaisuus	22
5 E 100 -SÄÄNNÖN SOVELTAMINEN HILUXIIN	24
5.1 Matkustamon ulkopuoliset komponentit	24
5.2 Matkustamon komponentit	26
5.3 Toimintaturvallisuus	28
5.4 Erotusresistanssi	29
5.5 Merkinnät	31
5.6 Ylivirtasuojaus	32
5.7 Tuotannon vaatimuksenmukaisuus	32
5.8 Vaadittavat muutokset	33
5.8.1 Laturit ja kontaktoriyksikkö	33
5.8.2 Toimintaturvallisuus	33
6 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	37
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuuisto	
Liite 2 Mittauspöytäkirja	
Liite 3 Hiluxin tekniset tiedot	

## SANASTO

BMS Battery Management System, akkujenhallintajärjeslemä

E-sääntö Geneven sopimukseen (SopS 70/1976) liitetty sääntö

E-tyyppihyväksyntä

E-säännön mukainen tyyppihyväksyntä

huoltokatkaisin

laite, jolla voidaan katkaista virtapiiri RESS-järjestelmästä

jännitteellinen osa

johtava osa, jossa on tarkoitus olla sähkövirta tavanomaisen käytön aikana

kotelointi osa, joka ympäröi sisäpuolella olevia yksiköitä ja estää suoran kosketuksen niihin kaikista suunnista

RESS-järjestelmä

ladattava energiavarastojärjestelmä

suojaus osa, joka estää suoran kosketuksen jännitteellisiin osiin kaikista suunnista

suojausluokka

suojausten ja/tai koteloinnin tarjoamaa suojaa kosketukselta jännitteellisiin osiin

suora kosketus

henkilöiden kosketus jännitteellisiin osiin

# 1 JOHDANTO

Hilux-sähkötyökone on Oulun ammattikorkeakoulussa vuonna 2010 alkunsa saanut projekti. Dieselkäyttöinen Toyota Hilux on muutettu täysin sähkökäyttöiseksi poistamalla alkuperäinen moottori sekä vaihteisto ja niiden tilalle on asennettu sähkömoottori. Se on rakennettu opiskelijavoimin ja siitä on tehty useita opinnäytetöitä. Projektissa on mukana useita yrityksiä yhteistyökumppaneina ja sponsoreina. Tärkeimpiä näistä ovat Oulun tekninen liikelaitos (Tekli), Randax ja ABB. Pääasiassa projektia ovat toteuttaneet jo tällä hetkellä valmistuneet opiskelijat, ja nyt vastuu on siirtynyt uusille vuosiluokille, jotka jatkavat projektia jatkokehittämällä Hiluxia. Suurin seuraava muutos tulee olemaan akkukapasiteetin kaksinkertaistaminen lisäämällä ajoneuvoon akkuja. Osa akuista tullaan sijoittamaan samaan tilaan nykyisten akkujen kanssa lavan etuosaan ja loput lisäakuista sijoitetaan ajoneuvon alkuperäisen moottorin paikalle moottoritilaan auton etuosaan.

Tässä työssä tarkastellaan Hilux-sähkötyökoneen sähköturvallisuutta Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) säännön numero 100 pohjalta. Ajoneuvo on ajokuntoinen, mutta se on rakennettu nopealla aikataululla eikä näin ollen välttämättä ole kaikkien määräysten mukainen. Työssä selvitetään ajoneuvon mahdolliset ongelmakohdat ja etsitään niihin ratkaisut, joilla ajoneuvosta tehdään määräysten mukainen. Työssä perehdytään pelkästään sähköisen voimansiirron komponentteihin. Ajoneuvon omaa 12 voltin järjestelmää tai mahdollisia sähköllä toimivia lisälaitteita ei tarkastella, koska E 100 -sääntö ei koske niitä. (7, . L57/55.)

Keväällä 2013 Tekli testasi ajoneuvoa ajamalla viiden päivän mittaisen testiajon, jossa kerättiin tietoa virrankulutuksesta ja ajoneuvon toimivuudesta. Testin perusteella Hilux on toimiva kokonaisuus ja soveltuu erittäin hyvin kevyen liikenteen väylien kunnossapitoon, johon se on alun perin rakennettu. Käyttäjät kehuivat eritoten Hiluxin helppoa käytettävyyttä. (1.)

## 2 HILUX-SÄHKÖTYÖKONEEN YLEISTIEDOT

### 2.1 Kori

Työkoneen pohjana on Toyota Hilux Xtra cab, vuosimallia 2001, joka on varustettu lumiauralla, lavakipillä sekä hiekoittimella. Se on ollut Teklillä auras- ja hiekoituskäytössä ja on nykyään Oulun seudun ammattikorkeakoulun omistuksessa. (2, linkki kori.)



KUVA 1. Hilux-sähkötyökone (2, linkki kori)

### 2.2 Moottori ja voimansiirto

Ajoneuvon sähkömoottori on Randax Oy:n valmistama nestejäähdytteinen kestmagnetoitu tahtimoottori, joka on rakennettu Hilux-projektin tarpeiden pohjalta. Se on kiinnitetty suoraan ajoneuvon jakovaihteistoon sekä koriin alkuperäisen vaihteiston tilalle. Valittavana on joko neliveto tai takaveto, jonka valitsin on ohjaamossa alkuperäisellä paikalla. Ajoneuvossa ei ole moottorin ja jakovaihteiston välillä kytkintä tai vaihteita, joten ajonopeus määrätään suoraan moottorin pyörintänopeudella. Huippunopeus on rajoitettu 70 kilometriin tunnissa ohjelmallisesti. (2, linkki kone.)

### **2.3 Akusto**

Tällä hetkellä akusto koostuu Ebattery 30 -litiumioniakkumoduuleista, joiden energiasisältö on 24,5 kWh. Akkukapasiteetti on tarkoitus kaksinkertaistaa lisäämällä akkumoduuleja, jolloin energiasisältö kasvaa 49 kWh:iin.

Akkukotelo sijaitsee lavan etuosan alla ohjaamon takana. Se on kiinnitetty ajoneuvon runkoon ja on eristetty sekä lämmitetty. Uusille akkumoduuleille tullaan suunnittelemaan ja rakentamaan uusi parempi kotelo sekä lisäkotelo ajoneuvon moottoritilaan alkuperäisen dieselmoottorin tilalle. (2, linkki akusto.)

### **2.4 Latausjärjestelmä**

Akkuja ladataan kahdella Powerfinn-merkkisellä laturilla. Niiden yhteenlaskettu latausteho on 6 kW. (2, linkki latausjärjestelmä.)

### **2.5 Taajuusmuuttaja ja ohjauslogiikka**

Ohjauslogiikka- ja tiedonkeruujärjestelmä on Hilux-projektin omaa kehitystyötä. Se on sijoitettu ajoneuvon ohjaamon takaosaan. Se perustuu canopen-väyläprotokollaan ja sisältää PLC-logiikkapiirin ja ACSM1-taajuusmuuttajan ABB:ltä, BMS-akkujenhallintajärjestelmän European Batteriesilta ja Motec-tiedonkeruujärjestelmän. (2, linkki taajuusmuuttaja ja ohjauslogiikka.)

### **2.6 Lisälaitteet**

Lisälaitteita käytetään 12 voltin järjestelmällä, joka on suunniteltu erikseen. Järjestelmä sisältää Metric Mindin 600 V–12 V DC/DC muuntajan, Argo Hytosin hydraulisen tehoyksikön auralle ja lavakipille, TRW:n sähköhydraulisen ohjaustehostimen, SSBC:n sähköisen alipainepumpun jarrutehostimelle, Walbron sähköisen vesipumpun jäähdytysnesteelle, Ficonin sähköisen hiekoittimen moottorin, 4 kW:n tehoisen Eberspächer Airtronic lisälämmittimen ja alkuperäisen 12 voltin sähköjärjestelmän sisältäen valot ja turvavarusteet. (2, linkki lisälaitteet.)

### 3 SÄHKÖAUTOJEN TURVALLISUUS

Sähköajoneuvoissa ajoakuston jännite ja virta ovat erittäin suuria, joten turvallisuudesta huolehtiminen on äärimmäisen tärkeää. Suojaamattomana akut, kaapelit ja liittimet aiheuttavat hengenvaaran. Tavallisessa polttomoottorikäyttöisessä ajoneuvossa suurin jännite on 12 tai 24 volttia, joka ei vielä ole ihmiselle hengenvaarallinen. Onkin tärkeää, että sähkö- ja hybridautojen suuri jännite ja virta tiedostetaan sekä otetaan vakavasti (3, s. 57.)

Ajoneuvot ovat haastava ympäristö korkeajännitekomponenteille. Ne altistuvat suurille lämpötilanvaihteluille, kosteudelle, epäpuhtauksille ja tärinälle. Nämä tekijät on otettava huomioon komponenttien valinnassa ja sijoituksessa. Ajoneuvon matkustamo on hyvä sijainti monille komponenteille, koska se on kuiva ja suojainen. Sinne ei pääse kosteutta tai epäpuhtauksia, kuten ajoneuvon moottoritilaan tai pohjan alle.

Sähköajoneuvojen turvallisuutta koskevia määräyksiä on useita. Tärkein niistä on Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö numero 100, joka määrittelee turvallisuusvaatimukset nimenomaan sähköisessä ajoneuvossa. Muita määräyksiä ovat yleiset direktiivit ja lait, jotka koskevat kaikkia sähköasennuksia. (4.)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/95/EY koskee vaihtovirralla nimellisjännitealueella 50–1 000 V ja tasavirralla nimellisjännitealueella 75–1 500 V toimivia sähkölaitteita (5, s. 2), lukuun ottamatta seuraavia laitteita ja ilmiöitä: räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät sähkölaitteet, radiologisiin ja lääketieteellisiin tarkoituksiin suunnitellut sähkölaitteet, tavara- ja henkilöhissien sähköiset osat, sähkömittarit, kotitalouskäyttöön tarkoitettut pistotulpat ja -rasiat, sähköpaimenet, radiohäiriöt sekä laivoissa, lentokoneissa ja rautateillä käytettävät erikoissähkölaitteet, jotka täyttävät sellaisten kansainvälisten järjestöjen vaatimukset, joiden työskentelyyn jäsenvaltiot osallistuvat. (5, s. 6.) Tämä direktiivi tunnetaan yleisemmin nimellä pienjännitedirektiivi (6).

Sähköturvallisuuslaki 410/1996, Sähköturvallisuusasetus 498/1996 ja laki CE-merkintärikkomuksesta sisältävät pienjännitedirektiivin vaatimukset ja asettavat pätevyysvaatimukset asennus-, tarkastus-, arviointi- ja varmennustehtäviin. (6.)

Kauppa ja teollisuusministeriön päätöstä sähkölaitteistojen turvallisuudesta 1193/1999 ei sovelleta televerkkojen, hissien, ilma-alusten eikä maa- ja vesikulkuneuvojen sähkölaitteistoihin mutta sen liitteenä oleva olennaiset turvallisuusvaatimukset on hyvä ohje, jos standardeista tai määräyksistä ei löydy vastausta ongelmakohtaan. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä 516/1996 täsmentää henkilötasolla eri luokkien pätevyysvaatimukset. Trafi esittää noudatettavaksi muun muassa E 100 -sääntöä. Sitä käytetään tässä työssä pohjana Hiluxin turvallisuuden tarkasteluun. (4.)

## **4 YHDISTYNEIDEN KANSAKUNTIEN EUROOPAN TALOUSKOMISSION (UNECE) SÄÄNTÖ NRO 100**

E 100 -sääntö määrittelee yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimajärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta. Tässä työssä käytetään 4. joulukuuta 2010 voimaantullutta sääntöä. Soveltamisala on seuraava:

”Seuraavia säännöksiä sovelletaan turvallisuusvaatimukseen, jotka koskevat sellaisten M- ja N-luokkaan kuuluvien maantieajoneuvojen sähköisiä voimajärjestelmiä, joiden suurin rakenteellinen nopeus on yli 25 km/h, jotka on varustettu yhdellä tai useammalla sähkökäyttöisellä ajomootorilla ja joita ei ole kytketty pysyvästi sähköverkkoon. Säännöksiä sovelletaan myös tällaisten ajoneuvojen suurjännitekomponentteihin, jotka on galvaanisesti kytketty sähköisen voimajärjestelmän suurjänniteväylään. Tätä sääntöä ei sovelleta maantieajoneuvojen törmäystilanteen jälkeistä turvallisuutta koskeviin vaatimukseen.” (7, s. L 57/55.)

### **4.1 Hyväksyntä**

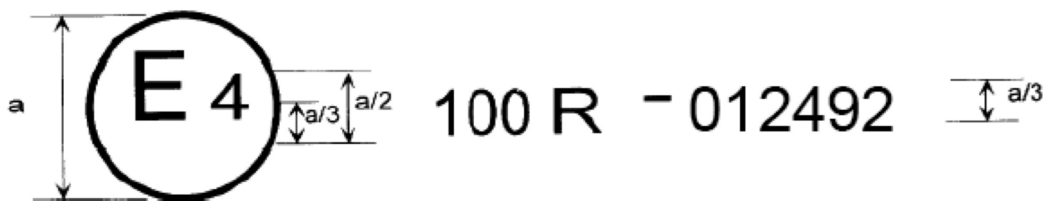
Ajoneuvon valmistajan tai valmistajan valtuutetun edustajan on haettava ajoneuvotyyppin hyväksyntää sähköistä voimajärjestelmää koskevien erityisvaatimusten osalta. Hakemukseen on liitettävä jäljempänä mainitut asiakirjat kolmena kappaleena ja yksityiskohtainen kuvaus ajoneuvotyyppistä sähköisen voimajärjestelmän ja galvaanisesti kytketyn suurjänniteväylän osalta. (7, s. L 57/56.)

Hyväksyttävää ajoneuvotyyppiä edustava ajoneuvo on toimitettava tyyppihyväksyntätesteistä vastaavalle tekniselle tutkimuslaitokselle. Toimivaltaisen viranomaisen on ennen tyyppihyväksynnän antamista tarkastettava, että tuotannon vaatimuksenmukaisuus on varmistettu tyydyttävissä järjestelyin. (7, s. L 57/55.)

Jos ajoneuvo täyttää E 100 -säännön 5 kohdan ja liitteiden 3, 4, 5 ja 7 vaatimukset, kyseiselle ajoneuvotyypille on myönnettävä hyväksyntä. Kullekin hyväksytylle tyypille on annettava hyväksyntänumero. Hyväksyntänumeron kahdesta ensimmäisestä numerosta, jotka tällä hetkellä ovat 01 ja vastaavat säännön muutettua versiota, käy ilmi muutossarja, joka sisältää ne sääntöön tehdyt tärkeät tekniset muutokset, jotka ovat hyväksynnän myöntämishetkellä viimeisimmät. Sama sopimuspuoli ei saa antaa samaa numeroa toiselle ajoneuvotyypille. Tätä sääntöä soveltaville sopimuspuolille on ilmoitettava tähän sääntöön perustuvasta ajoneuvotyypin hyväksynnästä tai hyväksynnän epäämisestä, laajentamisesta tai peruuttamisesta tai ajoneuvotyypin tuotannon lopettamisesta tämän säännön liitteessä 1 esitetyn mallin mukaisella lomakkeella. (7, s. L 57/57.)

”Kaikkiin tämän säännön perusteella hyväksytyin ajoneuvotyypin mukaisiin ajoneuvoihin on kiinnitettävä näkyvästi ja hyväksyntälomakkeessa määriteltyyn helposti havaittavaan paikkaan kansainvälinen hyväksyntämerkki, jonka osat ovat E-kirjain ja hyväksynnän myöntäneen maan tunnusnumero (1) ympyrän sisällä, tämän säännön numero sekä R-kirjain, viiva ja hyväksyntänumero edellä mainitun ympyrän oikealla puolella.” (7, s. L 57/57.)

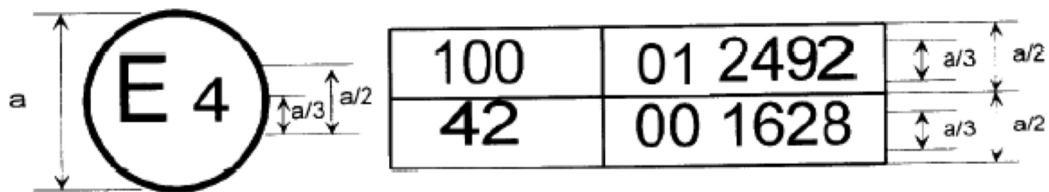
Kuvassa 2 on esitetty esimerkki E-tyyppihyväksyntämerkintä. Siitä käy ilmi, että kyseinen maantiekäyttöön soveltuva ajoneuvotyyppi on hyväksytty Alankomaissa (E4) säännön nro 100 nojalla hyväksyntänumerolla 012492. Hyväksyntänumeron kaksi ensimmäistä numeroa osoittavat, että hyväksyntä myönnettiin säännön nro 100 perusteella sellaisena kuin se on muutettuna muutossarjalla 01. A-mitta on minimissään 8 mm. (7, s. L 57/64.)



KUVA 2. Esimerkki E-tyyppihyväksyntämerkistä (7, s. L 57/64)

”Jos ajoneuvo on sellaisen ajoneuvotyypin mukainen, jolle on myönnetty hyväksyntä yhden tai useamman sopimukseen liitetyn säännön nojalla maassa, joka on myöntänyt hyväksynnän tämän säännön nojalla, 4.4.1 kohdassa mainittua tunnusta ei tarvitse toistaa; tällöin säännön numerot ja hyväksyntänumerot sekä muut tunnukset kaikkien niiden sääntöjen osalta, joiden nojalla on myönnetty hyväksyntä maassa, joka on myöntänyt hyväksynnän tämän säännön nojalla, sijoitetaan pystysuoriin sarakkeisiin kohdassa 4.4.1 tarkoitetun tunnuksen oikealle puolelle.” (7, s. L 57/57.)

Kuvassa 3 on esitetty useamman säännön E-tyyppihyväksynnästä. Siitä käy ilmi, että kyseinen maantiekäyttöön soveltuva ajoneuvo on hyväksytty Alankomaissa (E4) sääntöjen 100 ja 42 nojalla. Hyväksyntänumerosta käy ilmi, että hyväksynnän myöntämishetkellä sääntöön nro 100 sisältyi muutossarja 01 ja sääntö nro 42 oli alkuperäisessä muodossaan. (7, s. L 57/57.)



KUVA 3. Esimerkki useamman säännön e-tyyppihyväksyntämerkistä (7, s. L 57/64)

Hyväksyntämerkin on oltava helposti luettavissa ja pysyvä ja se on sijoitettava valmistajan kiinnittämään ajoneuvon tyyppikilpeen tai sen lähelle.

E 100 -säännön liitteessä 2 annetaan esimerkkejä hyväksyntämerkin sijoittelusta. (7, s. L 57/57.)

#### 4.2 Suojaus sähköiskuilta

”Jännitteellisten osien on oltava suojattuja suoralta kosketukselta 5.1.1.1 ja 5.1.1.2 kohdan vaatimusten mukaisesti. Suojien (kiinteiden eristimien, suojusten, koteloiden jne.) on oltava sellaisia, ettei niitä voi avata, purkaa tai poistaa ilman työkaluja.” (7, s. L 57/57.)

Kohta 5.1.1.1 määrittelee suojauksen seuraavasti: Matkustamossa tai tavaratilassa olevat jännitteelliset osat on suojattava suojausluokan IPXXD mukaisesti. (3, s 5). Kohta 5.1.1.2 määrittelee suojauksen seuraavasti: Muualla kuin matkustamossa tai tavaratilassa olevat jännitteelliset osat on suojattava suojausluokan IPXXB mukaisesti. (7, s. L 57/57.)

Kuvassa 4 on esitetty koettimet, joilla tarkastetaan suojaus kosketukselta jännitteellisiin osiin. Nivelletty testisormi on IPXXB-suojausluokalle ja testipiikko IPXXD-suojausluokalle.

Ensimmäinen tunnusnumero	Lisäkirjain	Kosketuskoetin	Voimakokeessa
2	B	<p>Nivelletty testisormi Ks. täydellinen mitoitus kuvasta 1</p> <p>Pysäytyspinta (Ø 50 x 20)</p> <p>Ø 12</p> <p>Nivelletty testisormi (metallia)</p> <p>Eristysainetta</p> <p>80</p>	10 N ± 10 %
4, 5, 6	D	<p>Testipuikko, halkaisija 1,0 mm, pituus 100 mm</p> <p>Sphere 35 ± 0,2</p> <p>Noin 100</p> <p>100 ± 0,2</p> <p>Ø 10</p> <p>Ø 1 ± 0,05</p> <p>Kahva (Eristysainetta)</p> <p>Pysäytyspinta (Eristysainetta)</p> <p>Jäykkä testipuikko (Metallia)</p> <p>Jäysteet poistettu</p> <p>443/89</p>	1 N ± 10 %

KUVA 4. Kosketuskoettimet (7, s. L 57/66)

Testaus määritellään seuraavasti: ”Koetinta työnnetään koteloinnin aukkoihin taulukon 1 mukaisella voimalla. Jos koetin tunkeutuu kotelointiin osittain tai kokonaan, se asetetaan kaikkiin mahdollisiin asentoihin, mutta pysäytyspinta ei saa missään tapauksessa tunkeutua kokonaan aukon läpi. Sisäisiä suojuksia pidetään osana kotelointia. Tarvittaessa suojuksen tai kotelon sisällä olevien jännitteellisten osien ja koettimen välille liitetään pienitehoinen jännitelähde

(vähintään 40 V ja enintään 50 V) joka on kytketty sarjaan sopivan lampun kanssa. Merkkilamppumenetelmää olisi sovellettava myös suurjännitelaitteiden jännitteellisiin liikkuviin osiin. Koteloinnin sisällä olevia liikkuvia osia voidaan pitää hitaassa liikkeessä, jos se on mahdollista.” (7, s. L 57/65.)

Hyväksymisehdot määritellään seuraavasti: ”Koetin ei saa koskettaa jännitteellisiä osia. Jos tämän vaatimuksen täytyminen määritetään koettimen ja jännitteellisten osien välille kytkettävällä merkkilampulla, lamppu ei saa syttyä. Suojausluokan IPXXB koestuksessa nivelletty testisormi saa työntyä koteloon täyden 80 mm:n mittansa, mutta pysäytyslevy (läpimitta 50 mm x 20 mm) ei saa läpäistä aukkoa. Sormen molempia niveliä on taivutettava vuoron perään suorasta asennosta viereisen osan akseliin nähden 90 asteen kulmaan saakka, ja sormi on asetettava kaikkiin mahdollisiin asentoihinsa. Suojausluokan IPXXD koestuksessa koetin saa työntyä koteloon täyden mittansa, mutta pysäytyslevy ei saa läpäistä aukkoa.” (7, s. L 57/65.)

#### **4.3 Liitäntälaitteet**

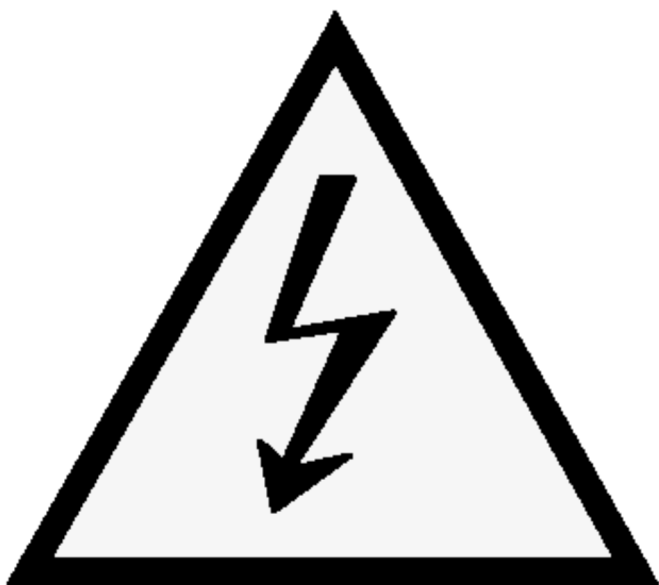
”Liitäntälaitteiden (kuten ajoneuvon sisääntulon) katsotaan täyttävän vaatimukset jos ne ovat 5.1.1.1 ja 5.1.1.2 kohdan vaatimusten mukaisia, kun ne voidaan irrottaa ilman työkaluja, ne on sijoitettu lattian alle ja varustettu lukitusmekanismilla, jos ne on varustettu lukitusmekanismilla ja muita osia on irrotettava työkaluja käyttämällä, jotta liitäntälaitte voidaan irrottaa, tai jos jännitteellisten osien jännite asettuu arvoon enintään DC 60 V tai enintään AC 30 V (rms) 1 sekunnin kuluessa siitä, kun liitäntälaitte on irrotettu.” (7, s. L 57/58.)

#### **4.4 Huoltokatkaisin**

”Huoltokatkaisimen, joka voidaan avata, purkaa tai irrottaa ilman työkaluja, on oltava suojausluokan IPXXB mukainen silloin, kun se avataan, puretaan tai irrotetaan ilman työkaluja.” (7, s. L 57/58.)

#### 4.5 Merkinnät

”RESS-järjestelmässä tai sen läheisyydessä on oltava kuvassa 5 esitetty symboli. Symbolin taustan on oltava keltainen ja reunuksen ja nuolikuvion mustat.” (7, s. L 57/58.)



*KUVA 5. Suurjännitelaitteen merkintä (7, s. L 57/58)*

”Edellä tarkoitetun symbolin on oltava näkyvissä myös koteloissa ja suojuksissa, joiden poistaminen paljastaisi suurjännitepiirien jännitteellisiä osia. Tämän vaatimuksen soveltaminen suurjänniteväylillä oleviin liitälaitteisiin on valinnaista. Vaatimusta ei sovelleta seuraavissa tapauksissa: kun suojuksia tai kotelaitteita ei voida koskettaa fyysisesti, avata tai poistaa ilman että ajoneuvon osia poistetaan työkaluja käyttämällä tai kun suojuksia tai kotelaitteita sijaitsevat ajoneuvon lattian alla. Suurjänniteväylien kaapeleissa, jotka eivät ole koteloiden sisällä, on oltava oranssi ulkokuori.” (7, s. L 57/58.)

#### 4.6 Suojaus epäsuoralta kosketukselta

”Epäsuoran kosketuksen aiheuttamalta sähköiskulta suojauksen vuoksi jännitteelle alttiit kosketeltavat osat, kuten johtava suojuksia ja kotelaitteita, on liitettävä galvaanisesti sähköiseen alustaan sähköjohtimella tai maajohtimella taikka hitsaamalla, ruuviliitoksella tai vastaavalla tavalla niin, että vaarallisia

potentiaaleja ei pääse muodostumaan. Kaikkien jännitteelle alttiiden kosketeltavien osien ja sähköisen alustan välisen resistanssin on oltava pienempi kuin 1,0 ohmia, kun virran voimakkuus on vähintään 0,2 ampeeria. Tämä vaatimus täyttyy, jos galvaaninen liitintä on muodostettu hitsaamalla.” (7, s. L 57/59.)

”Sellaisissa moottoriajoneuvoissa, jotka on tarkoitettu kytkettäväksi maadoitettuun ulkoiseen tehonlähteeseen liitintäjohton 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.” (7, s. L 57/59.)

#### **4.7 Erotusresistanssi**

##### **4.7.1 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 100  $\Omega$  tasavirtaväylien käyttöjännitteen voltia kohden ja vähintään 500  $\Omega$  vaihtovirtaväylien käyttöjännitteen voltia kohden.” (7, s. L 57/59.)

##### **4.7.2 Yhdistetyistä tasa- ja vaihtovirtaväylistä koostuva sähköinen voimajärjestelmä**

Jos suurjännitteiset vaihto- ja tasavirtaväylät on yhdistetty galvaanisesti, suurjänniteväylän ja sähköisen alustan välisen erotusresistanssin on oltava vähintään 500  $\Omega$  käyttöjännitteen voltia kohden. Jos suurjännitteiset vaihtovirtaväylät kuitenkin on suojattu jollakin seuraavista kahdesta menetelmästä, suurjänniteväylän ja sähköisen alustan välisen erotusresistanssin on oltava vähintään 100  $\Omega$  käyttöjännitteen voltia kohden.

Suojaustavat ovat seuraavat: kaksi tai useampia kerroksia kiinteää eristettä, suojuksia tai koteloita, jotka erikseen täyttävät E 100 -säännön 5.1.1 kohdan vaatimuksen, esimerkiksi johdinsarja tai mekaanisesti vahvat suojuukset, jotka ovat riittävän kestäviä ajoneuvon käyttöiän ajan, kuten moottorien suojuukset, elektronisten muuttajien kotelot tai liittimet. (7, s. L 57/59.)

Suurjänniteväylän ja sähköisen alustan välinen erotusresistanssi voidaan osoittaa laskelmin tai mittauksin taikka molemmilla tavoilla. Mittaus on tehtävä E100-säännön liitteessä 4, Erotusresistanssin mittaamenetelmä, esitettyjen vaatimusten mukaisesti (7, s. L 57/59).

#### **4.7.3 Erotusresistanssin mittaamenetelmä**

”Ajoneuvon kunkin suurjänniteväylän erotusresistanssi on mitattava tai määritettävä laskemalla suurjänniteväylän kunkin osan tai yksikön mittaustulosten perusteella” (7, s. L 57/69). Erotusresistanssi voidaan mitata käyttämällä ajoneuvon ulkopuolelta saatavaa tasavirtaa tai käyttämällä ajoneuvon omaa RESS-järjestelmää tasajännitelähteenä (7, s. L 57/69).

”Mitattavan virtapiiriin jännitealue on selvitettävä etukäteen esimerkiksi piirikaaviosta. Laitteistoon voidaan tehdä erotusvastuksen mittauksen edellyttämiä muutoksia, kuten poistaa kansi jännitteellisten osien saamiseksi esille, kiinnittää mittausjohtimia tai muuttaa ohjelmistoa. Jos mitattavat arvot eivät ole vakaat siksi, että toiminnassa on esimerkiksi erotusvastuksen sisäinen seurantajärjestelmä, voidaan tehdä mittauksen edellyttämät muutokset, kuten keskeyttää kyseisen laitteen toiminta tai poistaa laite. Kun laite poistetaan, on osoitettava esimerkiksi piirustusten avulla, että poistaminen ei muuta jännitteellisten osien ja sähköisen alustan välistä erotusresistanssia. Tällöin on noudatettava erittäin suurta varovaisuutta lyhytsulkujen ja sähköiskujen yms. välttämiseksi, sillä menetelmä voi edellyttää suoraa yhteyttä suurjännitepiiriin.” (7, s. L 57/69.)

#### **4.7.4 Mittaus käyttäen ajoneuvon ulkopuolelta saatavaa tasavirtaa**

”Mittauksessa on käytettävä välinettä, johon voidaan johtaa tasavirta, jonka jännite on suurempi kuin suurjänniteväylän toimintajännite. Jännitteellisten osien ja sähköisen alustan välille on kytkettävä erotusresistanssin testauslaite. Erotusresistanssi on sitten mitattava tasajännitteellä, joka on vähintään puolet suurjänniteväylän toimintajännitteestä. Jos järjestelmässä on useita jännitealueita (esimerkiksi nostavan hakkuritehonlähteen käytön vuoksi) galvaanisesti kytketyssä piirissä, ja jotkin komponentit eivät kestä koko piirin toimintajännitettä, näiden osien ja sähköisen alustan välinen erotusresistanssi voidaan mitata erikseen osien ollessa irti kytkettyinä käyttämällä jännitettä, joka on vähintään puolet kyseisten osien omasta toimintajännitteestä.” (7, s. L 57/69.)

#### **4.7.5 Mittaus käyttäen ajoneuvon omaa RESS-järjestelmää tasajännitelähteenä**

”Suurjänniteväylään on syötettävä virtaa ajoneuvon omasta RESS-järjestelmästä ja/tai energianmuunnosjärjestelmästä, ja RESS-järjestelmän ja/tai energianmuunnosjärjestelmän jännitteen on koko testauksen ajan oltava vähintään ajoneuvon valmistajan ilmoittama toimintajännite. Tässä testissä on käytettävä jännitemittaria, jolla mitataan tasavirta-arvoja ja jonka sisäinen resistanssi on vähintään 10 MΩ.” (7, s. L 57/69.)

#### **4.7.6 Erotusresistanssin sisäisen seurantajärjestelmän toimivuuden varmistusmenetelmä**

”Ajoneuvossa olevan erotusresistanssin seurantajärjestelmän toimivuus on osoitettava seuraavalla menetelmällä:

Kytetään järjestelmään vastus, joka ei alenna seurattavan liittimen ja sähköisen alustan välistä erotusresistanssia vaadittua vähimmäisarvoa pienemmäksi. Varoituksen on tällöin aktivoitettava.” (7, s. L 57/72.)

## **4.8 Ladattava energiavarastojärjestelmä (RESS-järjestelmä)**

### **4.8.1 Ylivirtasuojaus**

”RESS-järjestelmä ei saa ylikuumentua. Jos ylivirta voi aiheuttaa RESS-järjestelmän ylikuumentumisen, järjestelmä on varustettava suojalaitteilla, kuten varokkeilla, virrankatkaisimilla tai pääkytkimillä. Vaatimusta ei kuitenkaan tarvitse soveltaa, jos valmistaja toimittaa tiedot, joista käy ilmi, että ylivirran aiheuttama ylikuumentuminen on estetty ilman suojalaitteita.” (7, s. L 57/60.)

### **4.8.2 Kaasun kerääntyminen**

”Paikka, johon on sijoitettu avoin ajoakku, josta voi vapautua vetykaasua, on vetykaasun kertymisen estämiseksi varustettava tuulettimella tai tuuletuskanavalla” (7, s. L 57/60).

## **4.9 Toimintaturvallisuus**

”Kuljettajalle on annettava ainakin lyhyt ilmoitus siitä, että ajoneuvo on aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa. Tätä vaatimusta ei kuitenkaan sovelleta, kun ajoneuvo saa käyttövoimansa suoraan tai epäsuorasti polttomoottorista. Kuljettajan on saatava ajoneuvosta poistuessaan ilmoitus (esimerkiksi valo- tai äänimerkki), jos ajoneuvo on vielä aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa. Jos käyttäjä voi ladata ajoneuvon RESS-järjestelmän ajoneuvon ulkopuolelta, ajoneuvon liikkuminen sen oman käyttövoimajärjestelmän avulla ei saa olla mahdollista, kun ulkoisen sähkövirralähteen liitin on fyysisesti kytkettynä ajoneuvon sisääntuloon. Vaatimuksen täytyminen on osoitettava käyttäen ajoneuvon valmistajan määrittelemää liitintä. Ajosuunnan ohjausyksikön asento on ilmoitettava kuljettajalle.” (7, s. L 57/60.)

## **4.10 Tuotannon vaatimuksenmukaisuus**

E 100 -säännön mukaisesti hyväksytty ajoneuvo on valmistettava siten, että se täyttää säännön kohdan 5 vaatimukset ja vastaa hyväksyttyä tyyppiä. Näiden vaatimusten toteutumisen varmistamiseksi on käytettävä asianmukaisia tuotannonohjausmenetelmiä. (7, s. L 57/61.)

Hyväksynnän haltijan on varmistettava tarpeeksi tehokkaat menettelyt ajoneuvojen laadun tarkastamiselle ja huolehdittava, että käytettävissä on jokaisen hyväksytyyn tyyppiin vaatimustenmukaisuuden tarkastamisen edellyttämä testilaitteisto. Testitulokset on kirjattava ja liiteasiakirjat ovat oltava saatavilla hallinnollisen yksikön kanssa sovitun ajan. Jokaisen testityypin tuloksia on analysoitava, jotta voidaan tarkastaa ja varmentaa, että ajoneuvon ominaisuudet säilyvät yhdenmukaisina, kun otetaan huomioon teollisuustuotannossa sallittu vaihtelu. (7, s. L 57/61.)

Kullekin ajoneuvotyyppille on tehtävä ainakin E 100 -säännön kohdassa 5 määrätyt testit ja varmistettava, että jos näytteet tai testikappaleet eivät ole vaatimusten mukaisia, otetaan lisänäytteitä ja tehdään lisätetit. Kaikkiin tarvittaviin toimenpiteisiin on ryhdyttävä, jotta kyseisen tuotannon vaatimustenmukaisuus saadaan palautettua. (7, s. L 57/61.)

Tyyppihyväksynnän myöntänyt toimivaltainen viranomainen voi milloin tahansa tarkastaa kussakin tuotantoyksikössä sovellettavat vaatimuksenmukaisuuden valvontamenetelmät. Tarkastajalle on annettava nähtäväksi testi- ja tuotantoasiakirjat jokaisella tarkastuskerralla ja hän voi ottaa sattumanvaraisia näytteitä testattavaksi valmistajan laboratorioissa. Näytteiden vähimmäismäärä voidaan määritellä valmistajan omien tarkastustulosten perusteella. (7, s. L 57/61.)

Jos laatutaso vaikuttaa heikolta tai kun testien pätevyys on syytä varmistaa, tarkastaja valitsee näytteet, jotka lähetetään tyyppihyväksyntätetit suorittaneelle tutkimuslaitokselle. Toimivaltainen viranomainen voi suorittaa minkä tahansa tässä säännössä määrätyn testin ja tekee tarkastuksen tavallisesti kerran vuodessa. Jos jollakin tarkastuskäynnillä havaitaan puutteita, on hänen varmistettava tarpeelliset toimet tuotannon vaatimuksenmukaisuuden palauttamiseksi mahdollisimman pian. (7, s. L 57/62.)

## 5 E 100 -SÄÄNNÖN SOVELTAMINEN HILUXIIN

Hiluxin rakennusvaiheessa on pyritty ottamaan huomioon E 100 -säätö, jotta se täyttäisi turvallisuusvaatimukset. Se on kuitenkin rakennettu nopealla aikataululla, joten kaikkia vaatimuksia ei ole voitu huomioida. Mahdollisten puutoksien korjaustoimenpiteet on kerrottu tämän työn luvussa 5.7.

### 5.1 Matkustamon ulkopuoliset komponentit

Kuvassa 6 on esitetty ajoneuvon akkukotelo matkustamon takana lavan alla. Akusto on sijoitettu täysin suljettuun koteloon, jossa ei ole aukkoja, joten IPXXB-suojausvaatimus täyttyy. Normaalitylanteessa lava on alaslaskettuna, jolloin lavan etuosassa oleva kansi täytyy irroittaa, jotta akkukoteloon pääsee käsiksi. Kansi on kiinnitetty lavaan kahdeksalla M8-pultilla, jotka täytyy irroittaa, ennen kuin kannen saa irti. Kipattaessa kuormaa lava on ylösnostettuna kuvan 6 mukaisesti. Tällöin akkukoteloon on vapaa pääsy ilman työkaluja.



KUVA 6. Ajoneuvon akkujen sijainti (2, linkki akusto)

Ajoneuvon akusto on esitetty kuvassa 7. Ajoneuvon akut ovat suljettuja litiumioniakkuja, joista ei vapaudu vetykaasuja ympäristöön normaaleissa käyttötilanteissa (9, s. 1). Näin ollen tuulettimia tai tuuletuskanavia ei tarvita, vaan akkukotelo voi olla täysin suljettu rakenteeltaan. Myöskään akkujen vetypäästöjä latauksen aikana ei tarvitse mitata. Akuista voi vapautua vetyfluoridikaasua, jos ne altistuvat tulipalolle, ylikuumenemiselle, ylijännitteelle tai vaurioituvat (9, s. 2). Normaaleissa käyttötilanteissa kaasuvuotoa ei tapahdu, joten sitä ei tarvitse huomioida akkukotelon tuuletuksessa.



*KUVA 7. Ajoneuvon akusto*

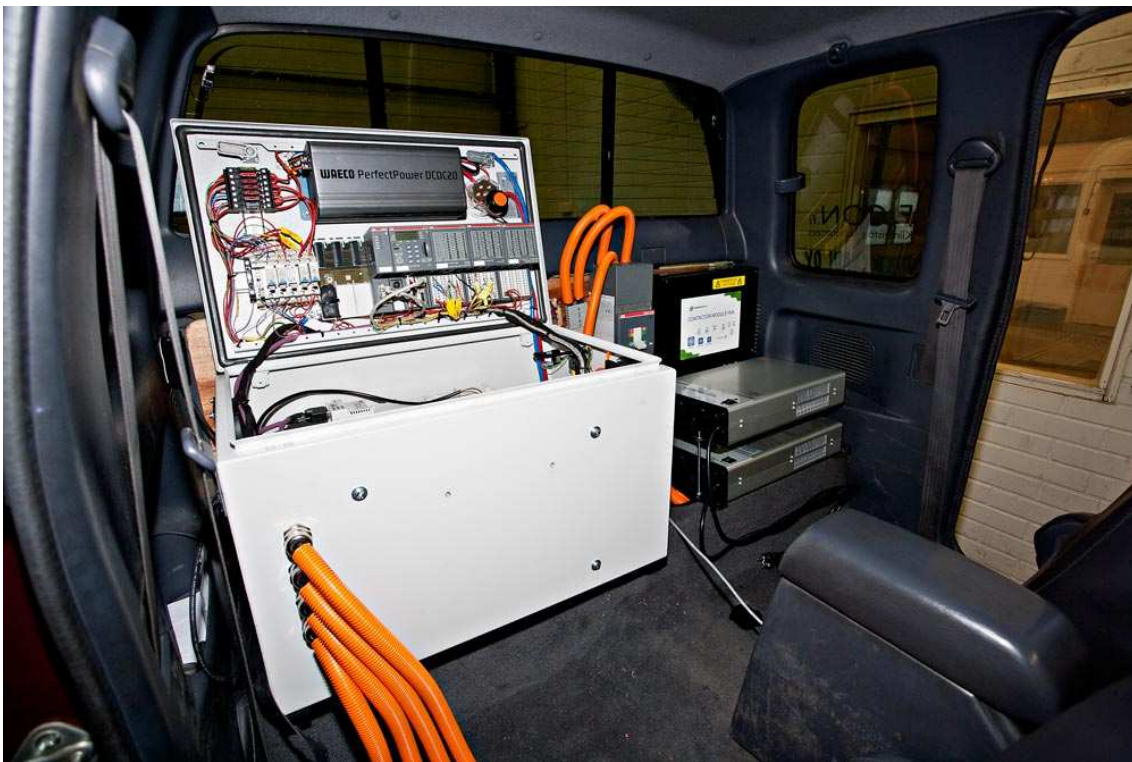
Ajoneuvon sähkömoottori on myös täysin suljettu kokonaisuus, jossa ei ole mitään aukkoja. Moottorin rungon ja sähköisen alustan välinen resistanssi on 0,3  $\Omega$  yleismittarilla mitattuna. Mittauspöytäkirja on esitetty liitteessä 3.

## 5.2 Matkustamon komponentit

Kuvassa 8 on esitetty ajoneuvon matkustamossa olevat suurjänniteosat, joita ovat taajuusmuuttaja, huoltokatkaisin, kontaktoriyksikkö sekä laturit.

Taajuusmuuttaja on sijoitettu valkoiseen koteloon, jonka kantta ei voi avata ilman työkaluja, kun se on suljettu. Kotelo täyttää IPXXD-suojaluokan. Sen kahdesta tuuletusaukosta ei ylety jännitteellisiin osiin testipuikolla. Kotelon ja sähköisen alustan välinen resistanssi on yleismittarilla mitattuna 0,4  $\Omega$ .

Mittauspöytäkirja on esitetty liitteessä 3.



*KUVA 8. Ajoneuvon matkustamossa olevan jännitteelliset komponentit (2, linkki taajuusmuuttaja ja ohjauslogiikka)*

Kuvassa 9 on esitetty ajoneuvon huoltokatkaisin. Sillä voidaan katkaista virtapiiri akkujen ja korkeajännitekomponenttien väliltä. Akkukotelon sisällä on myös sulake jolla akkujen oma sarjaankytkentä voidaan erottaa sekä liitin, jolla akut voidaan erottaa muusta virtapiiristä.



*KUVA 9. Huoltokatkaisin*

Kuvassa 10 on esitetty ajoneuvon laturit ja kontaktoryksikkö. Valmistajan internetsivujen mukaan laturit täyttävät IP20-suojausluokan (10). Suojausluokka täytyisi kuitenkin olla IPXXD, joten laturit eivät täytä suojausvaatimusta. (7, s. L 57/58.)

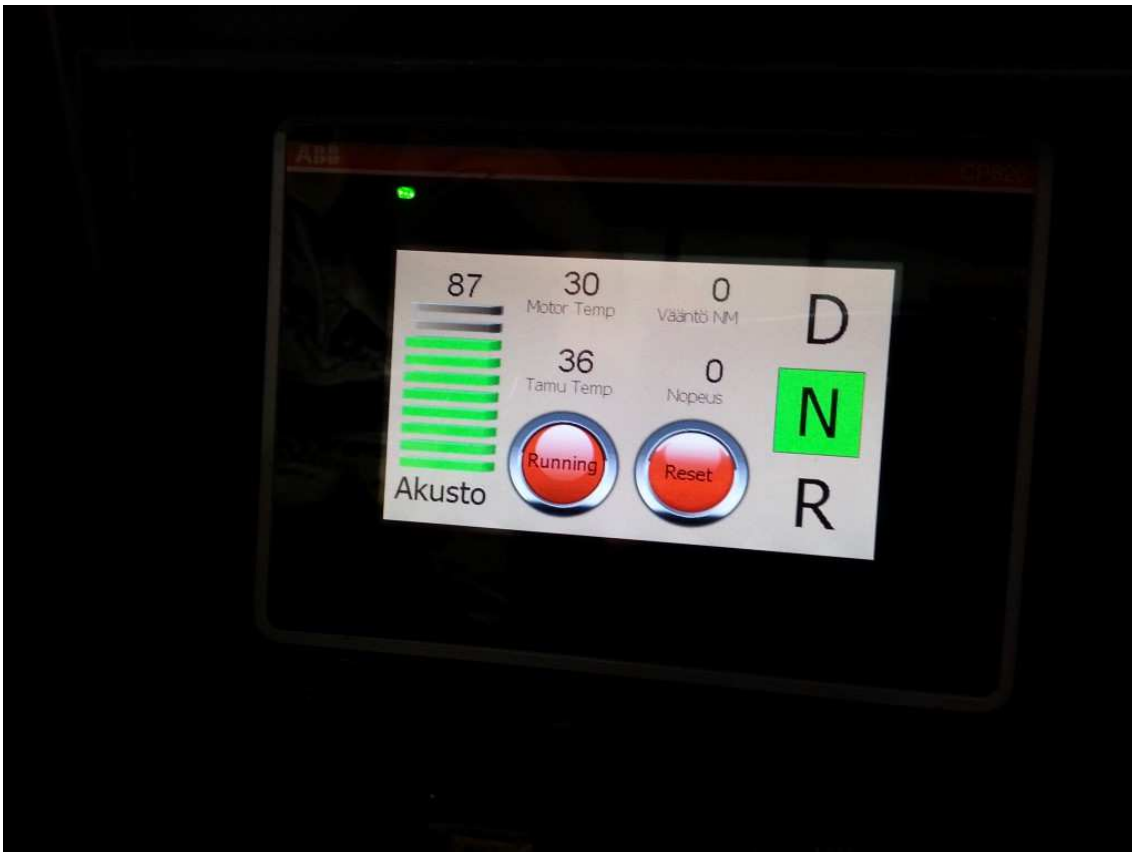


*KUVA 10. Ajoneuvon laturit ja kontaktoryksikkö*

Kontaktoryksikön sekä latureiden kotelot eivät ole yhteydessä sähköiseen alustaan, joten ne eivät täytä E 100-säännön kohtien 5.1.2.1 ja 5.1.2.2 vaatimusta niiden välisestä alle 1,0  $\Omega$  vastuksesta. Mittauspöytäkirja on esitetty liitteessä 3. Ajoneuvon sähköinen alusta kytkeytyy maahan latureiden kautta, kun ne kytketään pistorasiaan.

### **5.3 Toimintaturvallisuus**

Kuvassa 11 on esitetty Hiluxin monitoiminäyttö, josta selviää ajoneuvon tila. Kun valitaan ajosuunta eteen- tai taaksepäin, annetaan kuljettajalle äänimerkki ja valittu ajosuunta näytetään monitoiminäytöllä. Jos ajoneuvo on aktiivisen ajon tilassa, eli ajosuunta on valittu eteen- tai taaksepäin, annetaan kuljettajalle äänimerkki jos kuljettajan puoleinen ovi avataan. E 100 -säännössä ei ole erillistä vaatimusta siitä, miten kuljettajalle annetut ilmoitukset täytyy todentaa. Helppo tapa todeta vaaditut ilmoitukset on koeajo.



*KUVA 11. Ajoneuvon monitoiminäyttö*

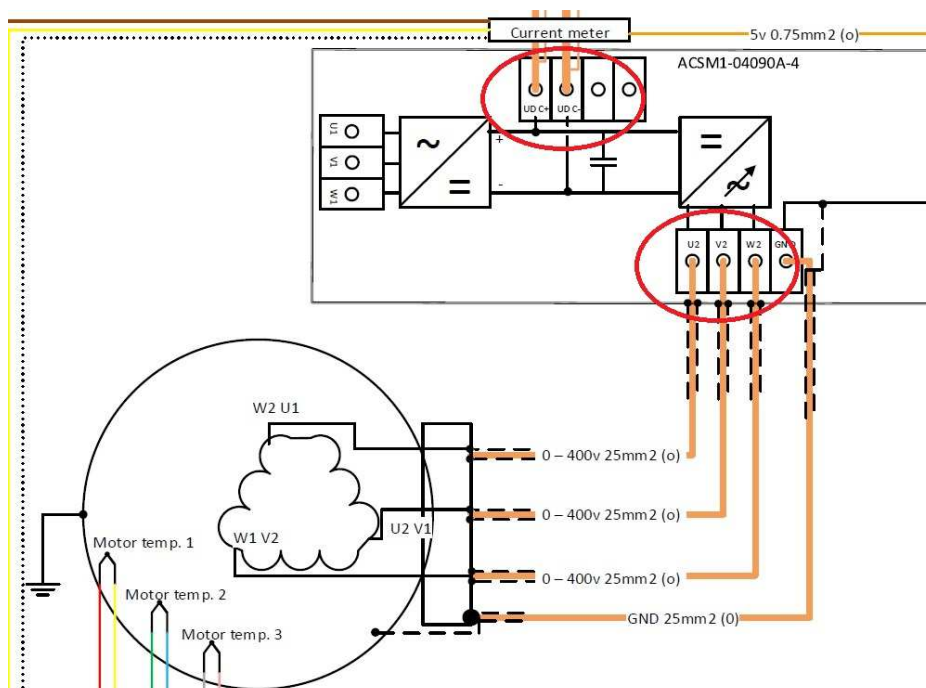
Kun ajoneuvon RESS-järjestelmää ladataan ulkopuolelta, ajoneuvon liikkuminen sen oman käyttövoimajärjestelmän avulla on estetty vain silloin, kun laturit ovat kytketty toimintaan. Jos latureiden liittimet ovat kytketty mutta laturit eivät vielä ole päällä, ajoneuvon liikkuminen on mahdollista. Tältä osin vaatimus ei täyty.

#### **5.4 Erotusresistanssi**

Taajuusmuuttajan vaihtosuuntaaja muuttaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi vaihtosuuntaajan IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) -kytkimien avulla. (11, s 23.) Vaihtosuuntaaja erottaa ajoneuvon tasa- ja vaihtovirtaväylät galvaanisesti toisistaan. Näin ollen tasavirtaläylien ja sähköisen alustan välisen erotusresistanssin on oltava vähintään 100  $\Omega$  käyttöjännitteen voltia kohden ja vaihtovirtaväylien 500  $\Omega$  käyttöjännitteen voltia kohden.

Erotusresistanssin mittaus on suoritettu Bosch FSA 050 -eristysvastusmittarilla E 100 -säännön liitteen 4 vaatimusten mukaan. Se mitattiin tasavirtaväylästä plus- ja miinuskaapeleista ennen taajuusmuuttajaa ja vaihtovirtaväylästä taajuusmuuttajan jälkeen jokaisesta kolmesta vaiheesta. Tasavirtaväylän maksimikäyttöjännite on 587 voltia, joten se mitattiin käyttämällä 500 voltin tasajännitettä. Vaihtovirtaväylän maksimikäyttöjännite on 400 voltia, joten siinä käytettiin 250 voltin tasajännitettä. Ennen mittauksen aloittamista järjestelmä tehtiin jännitteettömäksi irrottamalla sulake akustosta, joka katkaisee virtapiirin ja odottamalla noin 20 minuuttia jännitteen purkautumista taajuusmuuttajasta. Näin ollen huoltokatkaisin voitiin jättää kytketyksi päälle ja osaksi mitattavaa virtapiiriä. Mittausta varten kaapeleiden liittimien suoja täytyi purkaa, jotta mittausta olisi mahdollinen.

Kuvassa 12 on esitetty ajoneuvon sähköjärjestelmän kytkentäkaavio erotusresistanssin mittaukseen käytetyistä komponenteista. Koko kytkentäkaavio löytyy Miika Kajulan opinnäytetyön liitteestä 1. (12.) Mittaus suoritettiin tasavirtaväylästä taajuusmuuttajan liittimistä UD C+ ja UD C-. Vaihtovirtaväylän mittausta suoritettiin liittimistä U2, V2 ja W2.



KUVA 12. Osa ajoneuvon sähköjärjestelmän kytkentäkaaviosta (12)

Tasavirtaväylän erotusresistanssi on miinuskaapelista mitattuna 1,1 G $\Omega$  ja pluskaapelista mitattuna 1,5 G $\Omega$ . Vaihtovirtaväylän erotusresistanssi on W-vaiheessa 2,1 G $\Omega$ , U-vaiheessa 2,2 G $\Omega$  ja V-vaiheessa 2,8 G $\Omega$ . minimierotusresistanssi tasavirtaväylässä saa olla 58 700  $\Omega$  ja vaihtovirtaväylässä 200 000  $\Omega$ . Erotusresistanssit ovat gigaohmeja, joten vaatimus toteutuu monituhatkertaisesti. Mittauspöytäkirja on esitetty liitteessä 2.

E 100 -säännön liitteen 5 mukaan ajoneuvon erotusresistanssin sisäisen seurantajärjestelmän toimivuus on varmistettava, jos sellainen ajoneuvossa on. Ajoneuvoon ei ole asennettu erotusresistanssin sisäistä seurantajärjestelmää.

### 5.5 Merkinnät

Kuvan 5 merkintä löytyy kaikista korkeajännitekomponenteista, jotka eivät ole ajoneuvon lattian alla. Kaikki suurjännitekaapelit, jotka eivät ole koteloiden sisällä, ovat koteloitu oranssilla suojakuoarella. Tämä selviää kuvista 8, 9, 10, 13 ja 14.



KUVA 13. Akkukotelon kansi



*KUVA 14. Matkustamon komponenttilaatikko*

## **5.6 Ylivirtasuojaus**

RESS-järjestelmää valvoo kaikissa tilanteissa akkujen valmistajan oma akkujenhallintajärjestelmä (BMS) yhdistettynä ajoneuvon moottorinohjausjärjestelmään. Tämä järjestelmä estää ajonaikaisen ylikuormituksen ja siitä johtuvan ylikuumenemisen sekä myös varmistaa akkujen oikeanlaisen latauksen. (12, s. 20; 13, s. 30.)

## **5.7 Tuotannon vaatimuksenmukaisuus**

Hiluxin rakennusvaiheessa ei ole otettu huomioon asianmukaisia tuotannonohjausmenetelmiä. Hilux on prototyyppi ja rakennettu testiautoksi, jotta sillä voidaan kokeilla sähköisen voimansiirron soveltuvuutta teiden ylläpitoon. Rakennusvaiheen pääpaino on ollut toimivan prototyypin saaminen valmiiksi.

## **5.8 Vaadittavat muutokset**

### **5.8.1 Laturit ja kontaktoriyksikkö**

E 100 -säännön kohtien 5.1.2.1 ja 5.1.2.2 mukaan kaikkien jännitteelle alttiiden kosketeltavien osien ja sähköisen alustan välisen resistanssin on oltava pienempi kuin 1,0 ohmia (7, s. L 57/58). Tämä vaatimus ei täyty latureiden ja kontaktoriyksikön koteloiden kohdalla. Vaatimus täyttyy liittämällä ne suoraan ajoneuvon runkoon ruuviliitoksella, hitsaamalla tai muulla vastaavalla tavalla tai sopivalla johtimella, joka kiinnitetään koteloa ja ajoneuvon rungon väliin. Liitoksen toimivuus on tarkistettava mittaamalla resistanssi.

E 100 -säännön kohdan 5.1.1.1 mukaan matkustamossa tai tavaratilassa olevat jännitteelliset osat on suojattava suojausluokan IPXXD mukaisesti. (7, s. L 57/58.) Ajoneuvon latureiden suojausluokka on IP20, joten suojausvaatimus ei täyty (7). Suojausvaatimuksen täyttymiseksi laturit täytyy sijoittaa samanlaiseen koteloon, johon taajuusmuuttaja on sijoitettu tai tehdä sopivasta ritilästä lisäsuojaus latureiden tuuletuskanavien päälle. Lisäsuojauksen jälkeen suojausluokka on varmistettava testipuikolla. Latureiden ilmankierto on myös varmistettava, jotta ne eivät pääse ylikuumenemaan.

### **5.8.2 Toimintaturvallisuus**

E 100 -säännön kohdan 5.3 mukaan ajoneuvolla ajaminen on oltava estetty, kun ulkoisen sähkövirtalähteen liitin on fyysisesti kytkettynä ajoneuvon sisääntuloon. Vaatimuksen täytyminen on osoitettava käyttäen ajoneuvon valmistajan määrittelemää liitintä. (7, s. L 57/60.)

RESS-järjestelmää ladattaessa ajoneuvon ulkopuolelta sen liikkuminen oman käyttövoimajärjestelmän avulla on estetty vain silloin, kun laturit ovat kytketty toimintaan. Jos latureiden liittimet on kytketty mutta laturit eivät vielä ole päällä, ajoneuvon liikkuminen on mahdollista. Tältä osin vaatimus ei täyty. Jotta vaatimus täytyisi, ajoneuvolla liikkuminen sen omalla käyttövoimalla täytyy estää heti, kun latureiden liittimet kytketään pistorasiaan. Tämä voitaisiin

toteuttaa järjestelmällä, joka tunnistaa latureille tulevan ulkoisen jännitteen ja estää esimerkiksi ajosuunnan valitsemisen.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin, täyttääkö Hilux-sähkötyökone Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) säännön nro 100 yhdenmukaiset vaatimukset sähköisen voimajärjestelmän erityisvaatimusten osalta. Työssä saatujen tulosten perusteella Hilux-sähkötyökone ei ole täysin säännön nro 100 vaatimusten mukainen. Puutteet ovat pieniä, mutta vaikuttavat kuitenkin oleellisesti ajoneuvon turvallisuuteen.

Havaitut puutteet ovat erotusresistanssin sisäisen seurantajärjestelmän puuttuminen, latureiden ja kontaktoriyksikön rungon puutteellinen liitäntä sähköiseen alustaan, ajoneuvolla ajamisen estäminen, kun ajoneuvo liitetään ulkoiseen tehonlähteeseen, ja latureiden puutteellinen suojausluokka. Muilta osin vaatimukset täyttyvät, ja nämä korjaamalla ajoneuvo täyttää E 100 -säännön vaatimukset.

Tämän opinnäytetyö sisältää tiedot, joista selviää Hiluxin turvallisuusvaatimusten täytyminen ja tarvittavat muutostoimenpiteet E 100 -säännön mukaan. Tämän työn lisäksi hyväksyntää haettaessa tarvitaan tarkat tekniset tiedot ajoneuvosta, sen komponenteista sekä suojaukselta sähköiskulta. Nämä on listattu E 100 -säännön liitteessä 6 ”Maantieajoneuvojen tai järjestelmien olennaiset ominaisuudet”. Nämä tekniset tiedot löytyvät tämän työn liitteestä 3.

Puutteiden ja ajoneuvon tulevien muutoksien takia hyväksyntää ei voi ja ole järkevää vielä tässä vaiheessa hakea. Ajoneuvon uusi akusto ja sen vaatimat uudet kaapeloinnit täytyy tarkastella E100 -säännön pohjalta ja tehdä tarpeelliset toimenpiteet aiemmin esitettyihin puutoksiin. Uudet akkukotelot suunnittelee Vesa Mikkala omassa opinnäytetyössään Uuden ajoakuston suunnittelu ja mallinnus Hilux-sähkötyökoneeseen (14). Kaapelit tullaan sijoittamaan todennäköisesti ajoneuvon pohjan alle suojakoteloon.

Aiempi työskentely Hilux-projektin parissa auttoi työn tekemissä huomattavasti, koska ajoneuvo oli jo ennestään tuttu ja sen perusrakenne selvillä. Liitteenä 1

olevassa lähtötietomuistiossa esitetty työn kuvaus tarkentui työn edetessä eikä työssä käsitelty ollenkaan kolariturvallisuutta vaan keskityttiin pelkästään sähköturvallisuuteen. Sähköturvallisuuden tarkastelu tarkentui työn edetessä käsittelemään pelkästään E 100 -säännön vaatimuksia. Jotta ajoneuvon koko sähköjärjestelmän turvallisuus saadaan selvitettyä, se täytyy tutkia myös tämän työn teoriaosuuden alussa mainittujen direktiivien ja määräysten pohjalta.

## LÄHTEET

1. Varis, Lassi 2013. Dieselmootorin korvaaminen täyssähköisellä voimansiirtojärjestelmällä Hilux-sähkötyökoneprojektissa. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/56661/varis\\_lassi.pdf?sequence=1](http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/56661/varis_lassi.pdf?sequence=1) Hakupäivä 19.5.2015.
2. HILUX – Sähkötyökoneprojekti. Ominaisuudet. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa <http://www.oamk.fi/tekniikka/hilux/ominaisuudet/> Hakupäivä 19.5.2015.
3. Linja-aho, Vesa 2012. Sähkö- ja hybridiajoneuvojen sähkötyöturvallisuus. Saarijärvi: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
4. Sähköautojen sähkötyöturvallisuus – Sähköautot – Nyt!. Sähköautot – Nyt!. 2014. Saatavissa: <http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautojen-saehkoeturvallisuus> Hakupäivä 19.5.2015.
5. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/95/EY. Tietyllä jännitealueella toimivia sähkölaitteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä. 2006. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:374:0010:0019:fi:PDF> Hakupäivä 19.5.2015.
6. Teknologiateollisuus ry – Sähköturvallisuus. 2015. Teknologiateollisuus ry. Saatavissa: <http://www2.teknologiateollisuus.fi/fi/a/sahkoturvallisuus.html> Hakupäivä 19.5.2015.
7. Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 100 – Yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimajärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta. 2011. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:057:0054:0085:FI:PDF> Hakupäivä 19.5.2015.

8. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä 516/1996. 1996. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960516> Hakupäivä 19.5.2015.
9. EuropeanBatteries. Safety data sheet. Rechargeable lithium ion cell, EBattery®. 2011. European Batteries Oy.
10. 3200 W – Powerfinn. Powerfinn Oy. Saatavissa: <http://www.powerfinn.fi/3200W> Hakupäivä 19.5.2015.
11. Laiteopas ACSM1-04-taajuusmuuttajamoduulit 0,75...45 kW. 2007. ABB Oy. Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/ec6b1bf5cfd4458dc1257379002b7848/\\$file/FI\\_ACSM1\\_04\\_HW\\_C\\_screenres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/ec6b1bf5cfd4458dc1257379002b7848/$file/FI_ACSM1_04_HW_C_screenres.pdf) Hakupäivä 19.5.2015.
12. Kajula, Miikka 2013. Sähkötyökoneen moottorinohjausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/57388/Kajula\\_Miika.pdf?sequence=1](http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/57388/Kajula_Miika.pdf?sequence=1) Hakupäivä 19.5.2015.
13. Pennanen, Tuukka 2013. Sähkötyökoneen moottorinohjausjärjestelmän ohjelmointi. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/58295/Pennanen\\_Tuukka.pdf?sequence=1](http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/58295/Pennanen_Tuukka.pdf?sequence=1) Hakupäivä 19.5.2015.
14. Mukkala, Vesa 2014. Uuden ajoakuston suunnittelu ja mallinnus Hilux-sähkötyökoneeseen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73629/Mukkala\\_Vesa.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73629/Mukkala_Vesa.pdf?sequence=1) Hakupäivä 19.5.2015.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Jari Matinniemi \_\_\_\_\_

Tilaaaja Oulun ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö, Autolaboratorio \_\_\_\_\_

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Janne Ilomäki, puh. 050-4301344,  
janne.ilomaki@oamk.fi \_\_\_\_\_

Työn nimi Hilux-sähkötyökoneen turvallisuus \_\_\_\_\_

Työn kuvaus Työssä perehdytään sähköajoneuvojen tieliikenteen vaatimiin määräyksiin sähkö- sekä kolariturvallisuuden osalta ja tutkitaan täyttääkö Toyota Hilux-sähkötyökone nämä vaatimukset. Jos vaatimukset eivät täyty, niin puutteisiin etsitään ratkaisut ja tarvittavat muutostoimenpiteet, jotta ajoneuvosta tulee määräysten mukainen. Tällä hetkellä kyseinen ajoneuvo on ajokuntoinen, mutta rakennettu nopealla aikataululla, joten kaikkiin tarvittaviin vaatimuksiin ei ole perehdytty. \_\_\_\_\_

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on kehittää Hilux-sähkötyökonetta eteenpäin ja erityisesti parantaa sen turvallisuutta. \_\_\_\_\_

Tavoiteaikataulu Työ aloitetaan kesällä 2013 ja sen tavoitevalmistumisaika on kevät 2014 \_

Päiväys ja allekirjoitukset \_\_\_\_\_

Työ: Hilux-sähkötyökoneen erotusresistanssin mittaaminen sekä jännitteelle alttiiden osien ja sähköisen alustan välisen resistanssin mittaaminen

Pvm: 11.4.2014

Paikka: Oulun ammattikorkeakoulu, autolaboratorio

Tekijät: Janne Ilomäki & Jari Matinniemi

Käytetyt välineet: Bosch FSA 050 eristysvastusmittari ja Fluke 78 yleismittari

Mittaustulokset:

Hilux-sähkötyökoneen suurjänniteväylien erotusresistanssit							
Tasavirtaväylä				Vaihtovirtaväylä			
Mittausjännite	Erotusresistanssi			Mittausjännite	Erotusresistanssi		
	UD C+	UD C-			W2	U2	V2
50 V	1,5 GΩ	1,5 GΩ		50 V	3,5 GΩ	3,6 GΩ	3,3 GΩ
100 V	1,5 GΩ	1,5 GΩ		100 V	1,5 GΩ	1,6 GΩ	1,0 GΩ
250 V	1,5 GΩ	1,5 GΩ		250 V	2,1 GΩ	2,2 GΩ	2,8 GΩ
500 V	1,5 GΩ	1,1 GΩ					

Jännitteelle alttiiden kosketeltavien osien ja sähköisen alustan välinen resistanssi			
Komponentti	Resistanssi		
Matkustamon valkoinen laatikko	0,4 Ω		
Latureiden rungot	Ei yhteyttä=ääretön		
Kontaktoriyksikkö	Ei yhteyttä=ääretön		
Moottori	0,3 Ω		

## 1. YLEISTÄ

1.1 Merkki (valmistajan kaupp nimi): Hilux-sähtyökone

1.2 Tyyppi: Työkone

1.3 Ajoneuvon luokka: N1G

1.4 Kaupalliset nimet (jos on):

1.5 Valmistajan nimi ja osoite: Oulun ammattikorkeakoulu, Kotkantie 1 90250 Oulu

1.6 Valmistajan mahdollisen edustajan nimi ja osoite:

1.7 Ajoneuvon piirustus ja/tai valokuva:



## 2. SÄHKÖMOOTTORI (AJOMOOTTORI)

2.1 Tyyppi (käämitys, magnetointi): Nestejäähdytteinen kestmagnetoitu tahtimoottori

2.2 Enimmäistuntiteho (kW): 70,4 kW

## 3. AKKU (JOS RESS ON AKKU)

3.1 Akun kaupp nimi tai merkki: EBattery 30

3.2 Kaikkien sähkökemiallisten kennojen tyypit: Litium-ioni

3.3 Nimellisjännite (V): 537,6 V

3.4 Akkukennojen lukumäärä: 7

3.5 Kaasurekombinaatioarvo (prosentteina):

3.6 Akkumoduulin/akkuyksikön tuuletustavat: Ei ole

3.7 Jäähdytysjärjestelmän tyyppi (jos on): Ei ole

3.8 Kapasiteetti (Ah): 45 Ah

#### 4. POLTTOKENNO (JOS ON)

4.1 Polttokennon kaupp nimi ja merkki:

4.2 Polttokennotyypit:

4.3 Nimellisjännite (V):

4.4 Kennojen lukumäärä:

4.5 Jäähdytysjärjestelmän tyyppi (jos on):

4.6 Enimmäisteho (kW):

#### 5. SULAKE JA/TAI SUOJAKATKAISIN

5.1 Tyyppi: Huoltokatkaisin sekä irroitettava sulake, joka katkaisee akkujen virtapiiriin

#### 6. JOHDINSARJA

6.1 Tyyppi: Itse suunniteltu ja valmistettu

#### 7. SUOJAUS SÄHKÖISKUILTA

7.1 Suojausperiaatteen kuvaus: Kaikki korkeajännitekomponentit on koteloitu ja suojattu siten, että suoraa kosketusta ei pääse syntymään.

#### 8. LISÄTIEDOT

8.1 Moottori on asennettu ajoneuvon kardaanitunneliin ja akusto lavan etuosaan omaan koteloon. Muut korkeajännitekomponentit ovat ajoneuvon ohjaamossa.



8.2 Päävirtapiirin kaikkien sähkötoimintojen kytkentäkaavio: KytKentäkaavio on nähtävissä Miika Kajulan opinnäytetyön liitteessä 1. (12.)

8.3 Toimintajännite (V): 537,6 V