



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Benjami Lindqvist

Sähkö- ja hybridi ajoneuvojen katsastusmääräykset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinööriyö

24.12.2020

Tekijä Otsikko	Benjami Lindqvist Sähkö- ja hybridiajoneuvojen katsastusmääräykset
Sivumäärä Aika	66 sivua + 2 liitettä 24.12.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	elektroniikka
Ohjaajat	tarkastaja Tatu Siivonen lehtori Vesa Linja-aho
<p>Tämän insinööryön tavoitteena oli selvittää, miten täyssähkö- tai hybridiajoneuvon sähköturvallisuudesta voitaisiin varmistua määräaikaikatsastuksessa. Työn ensisijaisena tavoitteena oli perehtyä määräaikaikatsastukseen, mutta lopulta perehdyttiin myös siihen, miten voitaisiin valvoa huoltotöiden laatua ja millä perusteella ajoneuvo tulisi muutostarkastaa, kun sen korkeajännitejärjestelmää on muokattu alkuperäisestä poikkeavaksi. Työn tilasi Liikenne- ja viestintävirasto Traficom.</p> <p>Työ toteutettiin selvitystyönä lähestymällä CITA:n kautta seitsemän eri Euroopan maan edustajia koskien sähköajoneuvojen korkeajännitejärjestelmän katsastusta. Lisäksi perehdyttiin Suomessa voimassaolevaan sähköturvallisuuslakiin, sähköturvallisuusstandardiin SFS 6002 sekä rakennemuutosmääräykseen ja vertailtiin niitä vastanneiden EU-maiden säädöksiin. Lisäksi työssä perehdyttiin UNECE:n sääntöön nro 100 ja haastateltiin suomalaisia sähköajoneuvojen asiantuntijoita.</p> <p>Työssä saavuttiin loppupäätelmään, jossa perinteinen ajoneuvon katsastus ei ole riittävä sellaisille ajoneuvoille, joissa on korkeajännitteinen ajovoimajärjestelmä. Katsastuksessa tulisi keskittyä samantyyppiseen tieliikennekelpoisuuden valvontaan kuin ennenkin, mutta sähköajoneuvoille olisi säännöllisesti, tai muutosten yhteydessä suoritettava erillinen sähköturvallisuuskatsastus, jotta niiden sähköturvallisuudesta voidaan varmistua täysin.</p> <p>Suurin sähköturvallisuusriski sähköajoneuvossa on huonokuntoinen ajoakusto, tai sen laatusjärjestelmä ja niihin on kiinnitettävä erityistä huomiota kaikissa täyssähkö- sekä hybridiajoneuvoissa. Sähköajoneuvojen korkeajännitejärjestelmän modifiointi on käsitteenä niin uusi asia, että toistaiseksi työssä lähestytyt asiantuntijat eivät olleet tietoisia kolmannen osapuolen osavalmistajista. Tällä hetkellä sähköajoneuvojen huoltoon voikin järkevästi käyttää ainoastaan uusia tai käytettyjä alkuperäisiä varaosia.</p> <p>Katsastajien koulutusta on lisättävä käsittelemään korkeajännitteisten järjestelmien parissa työskentelyn aiheuttamia vaaratilanteita ja katsastustiloja on päivitettävä niin, että mahdollisen sähkötapaturman sattuessa ensiapua on saatavilla. Erityishuomiota on kiinnitettävä ajoneuvon omiin vikavaloihin, koska toistaiseksi standardoitu vikakoodinlukukeino puuttuu.</p>	
Avainsanat	sähköajoneuvo, hybridiajoneuvo, katsastus, sähköturvallisuus

Author Title	Benjami Lindqvist Inspection of Electric and Hybrid Vehicles
Number of Pages	66 pages + 2 appendices
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Electronics
Instructors	Tatu Siivonen, Inspector Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The main objective of this thesis work was to find out how the inspection process of a vehicle with a high voltage powertrain should be carried out, to guarantee the vehicle is roadworthy. A secondary objective was also to find out, in which cases the vehicle should be conversion inspected and what sort of modifications could be done to its high voltage electric powertrain for it not to be considered as a factory condition vehicle. The thesis work was commissioned by the Finnish Transport and Communications Agency Traficom (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom).</p> <p>This thesis work was carried out by first creating a questionnaire, which was then sent to multiple European countries via CITA. The questionnaire was then used to compare different countries' legislations to Finnish laws and regulations. Additionally, Finnish experts on this subject were interviewed and UNECE regulation No 100 was examined.</p> <p>The conclusion was that the current way of inspecting vehicles is not enough to make sure that the electrical systems remain safe in a high voltage powertrain. The inspection should confirm the roadworthiness of a vehicle, but in addition, vehicles with high voltage powertrain should be demanded to go through electrical inspection at specified intervals, to guarantee they remain not only roadworthy but also electrically safe.</p> <p>The greatest electrical hazard in a vehicle is the high voltage battery and its charging circuitry and those should be paid particular attention to in the inspection. However, currently, there are basically no non-OEM parts available for any electric vehicle, so not even the experts who were interviewed, were aware of any substantial problems regarding the safety of these kind of parts. There are also compatibility issues even with OEM parts between the vehicles, so currently, the only real solution to repair high voltage systems is to use refurbished or used OEM parts.</p> <p>At this point, there are no standardized solutions to read fault codes of an electric powertrain, so it is very important to closely inspect the warning lights inside the vehicle. The inspectors should be educated of the possible electrical hazards and the inspection space should include emergency equipment, in case of an electric shock.</p>	
Keywords	EV, hybrid, electrical, vehicle, inspection, safety

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköajoneuvojen katsastamisesta aiheutuneita ongelmia	2
3	Sähköajoneuvojen teknisiä ominaisuuksia	3
3.1	Hybridiajoneuvoluokan sisäisiä eroavaisuuksia	3
3.2	Täyssähköajoneuvot	5
3.3	Hybridi- ja sähköajoneuvoja yhdistävät järjestelmät	6
4	UNECE:n sääntö nro 100	9
4.1	Suojaus sähköiskuilta	9
4.2	RESS-energiavarastojärjestelmä	11
4.3	Toimintaturvallisuus	12
4.4	Vetypäästöt	12
5	Suomen sähköturvallisuuslaki	14
6	Sähkötyöturvallisuusstandardi SFS 6002	16
6.1	Peruseriaatteita	16
6.2	Sähköajoneuvoja koskevat vaatimukset	19
7	Suosituksia sähköajoneuvon katsastamiselle	21
8	Rakennemuutosmääräys	26
8.1	Moottori ja voimansiirto	27
8.2	Moottorin muuttaminen	28
8.3	Jarrut	29
9	Katsastusmääräysten tilanne muissa EU-maissa	30
9.1	Korkeajännitejärjestelmän katsastaminen	30
9.2	Eriävät katsastusmenetelmät hybridi- ja täyssähköajoneuvon välillä	32
9.3	Yleisimmät sähköajoneuvoissa havaitut viat katsastuksen yhteydessä	32

9.4	Korkeajännitejärjestelmistä aiheutuneita tapaturmia	33
9.5	Korkeajännitejärjestelmiä koskevien säädösten ajantasaisuus	33
9.6	Muita huomioita	34
9.7	Sähköajoneuvojen huollolle vaadittava koulutus ja mahdolliset lisenssit	34
9.8	Huoltotilan sähköturvallisuus	35
9.9	Ajoneuvon korjaukseen soveltuvat varaosat ja muut komponentit	36
10	Asiantuntijoiden haastattelut Suomessa	38
11	Pohdinta	51
12	Yhteenveto	60
	Lähteet	63
	Liitteet	
	Liite 1. Lista kysymyksistä, joilla lähestyttiin asiantuntijoita	
	Liite 2. Sähkö- tai hybridiajoneuvon korkeajännitejärjestelmän tarkastuslomake	

Lyhenteet

ABS	Anti-lock Braking System. Lukkiutumaton jarrujärjestelmä.
AC	Alternating current. Vaihtosähkö.
BMS	Battery Management System. Akunhallintajärjestelmä.
CAN	Controller Area Network. Automaatioväylä, jota käytetään ajoneuvoissa.
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization. Vuonna 1973 perustettu eurooppalainen sähköalan standardoimisjärjestö.
CITA	International Motor Vehicle Inspection Committee.
DC	Direct current. Tasasähkö.
FELV	Functional extra low voltage. Jännite, joka ei ylitä pienoisjännitteen raja-arvoja ja järjestelmä täyttää SFS 6000-4-41 kohdan 411.7 vaatimukset.
IP	Ingress Protection. Lyhyesti puhutaan yleensä IP-luokituksesta.
Li-ion	Litiumioniakku. Akku, jossa litiumioni liikkuu anodin ja katodin välillä.
NiMH	Nikkelimetallihydridi. Yksi sähköajoneuvojen akkuteknologioista.
OBD	On-Board Diagnostics. Autotekniikan alan termi, jolla tarkoitetaan ajoneuvon itsediagnostiikka- ja raportointikykyjä. OBD-standardin käyttöliittymiä ovat OBD-I, OBD 1.5, OBD-II, EOBD ja EOBD2.
OEM	Original Equipment Manufacturer.
PELV	Protective extra low voltage. Jännite, joka ei ylitä pienoisjännitteen raja-arvoja normaaliolosuhteissa eikä yhden vian tapauksessa lukuun ottamatta maasulkua toisissa piireissä.

RESS	Rechargeable Energy Storage System. Ladattava energiavarastojärjestelmä.
SELV	Safety extra low voltage. Jännite, joka ei ylitä pienisjännitteen raja-arvoja normaaliolosuhteissa mukaan luettuna maasulut toisissa piireissä.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia sähkö- sekä hybridiajoneuvoja koskevia Euroopassa vallitsevia katsastusmääräyksiä, lakeja sekä muita määräyksiä ja standardeja, jotka vaikuttavat sähköajoneuvojen katsastukseen, tai niiden korkeajännitejärjestelmien huoltotoimenpiteisiin. Suomessa voimassaolevien täsmennystä kaipaavien katsastusmääräysten varjolla työssä keskitytään selvittämään, millaisilla menetelmillä sähköajoneuvo tulisi katsastaa niin, että katsastaja voi todeta sen sähköturvalliseksi. Oleellinen työssä vallitseva näkökulma on myös se, millaisin menetelmin sekä millaisella pätevyydellä sähköajoneuvoa tulisi voida huoltaa ja korjata niin, että tulos olisi suoritettu korkeajännitejärjestelmien osalta tyydyttävällä tasolla ja sekä sähköturvallisuuslakia että muita määräyksiä noudattaen. Työssä sähköajoneuvolla tarkoitetaan täyssähkö- tai hybridiajoneuvoa, joka kykenee liikkumaan käyttäen joko pelkästään korkeajännitteistä ajovoimajärjestelmäänsä, tai liikkumaan sähkömoottorilla avustettuna polttomoottorin toimiessa päävoimanlähteenä.

Työ toteutetaan selvitystyönä tutkimalla CITA:n (International Motor Vehicle Inspection Committee) välityksellä eri Euroopan maissa vallitsevia katsastussäädöksiä ja sitä, miten muissa maissa katsastetaan sähköajoneuvoja. Lisäksi tutustutaan Suomen sähköturvallisuuslakiin ja sähköturvallisuusstandardiin, muiden maiden vastaaviin määräyksiin sekä haastatellaan asian kannalta olennaisia henkilöitä, kuten sähköautojen huoltohenkilöitä, eri katsastusyritysten edustajia ja muilla tavoilla asiaan perehtyneitä. Opinnäytetyön on tilannut Traficom, joka voi sitten parhaaksi katsomallaan tavalla hyödyntää työn tuloksia esimerkiksi luomalla uusia katsastusmääräyksiä sähköajoneuvojen katsastusta varten.

2 Sähköajoneuvojen katsastamisesta aiheutuneita ongelmia

Vallitsevat katsastusmääräykset Suomessa ovat suurilta osin peräisin ajalta, jolloin sähköajoneuvoja ei ollut liikenteessä lähes missään muodossa. Vanhentuneet määräykset toimivat edelleen loistavasti auton rakenteellisten ja mekaanisten komponenttien katsastuksessa sekä polttomoottorien katsastuksessa esimerkiksi päästömittauksina ja silmä-määräisessä öljyvuototarkastelussa, mutta sähköautojen ajovoimajärjestelmä jää käytännössä suurilta osin huomiotta nykyisessä katsastuksessa. Keskeinen tarve uusille määräyksille aiheutuu myös siitä, että vanhimmat teillä liikkuvat täyssähköajoneuvot alkavat lähennellä, jopa ylittää kymmenen vuoden ikää, joka on mille tahansa ajovoimajärjestelmälle vanha ikä.

Toisin kuin polttomoottorikäyttöisessä ajoneuvossa, sähköajoneuvossa liikkuvia osia on polttomoottorikäyttöiseen ajoneuvoon verrattuna minimaalinen määrä, mutta käyttöjännite on moninkertainen. Tavallisen polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon käynnistysakun jännite on vain noin 12 V:n tasajännitettä (DC), kun taas korkeajännitteisessä sähköajoneuvon ajoakustossa puhutaan useista sadoista volteista tasajännitettä. Korkeajännitteellä tarkoitetaan tässä työssä 60 V:n – 1 500 V:n tasajännitettä (DC) tai 30 V:n – 1 000 V:n vaihtojännitettä (AC) UNECE:n säännön nro 100 mukaisesti (1. § 2.14). Vaihtojännitteestä puhuttaessa tarkoitetaan sen neliöllistä keskiarvoa (rms). Keskeinen työhön johtanut kysymys onkin se, miten ajoneuvon sähköturvallisuudesta voidaan katsastuksessa varmistua niin, että ajoneuvo täyttää ne vaatimukset, jotka sille on sähkön vaaroja ajatellen asetettu tyyppihyväksyntävaatimuksissa.

3 Sähköajoneuvojen teknisiä ominaisuuksia

Tässä työssä sähköajoneuvoista puhuttaessa tarkoitetaan kahta eri ajoneuvojen pääluokkaa, jotka ovat karkeasti jaoteltuna täyssähköajoneuvot sekä hybridiajoneuvot. Riippumatta ajoneuvojen voimalinjaratkaisuista voidaan kuitenkin mieltää, että pohjimmiltaan elektroniikka, joka vastaa sähköisestä voimalinjasta toimii kaikissa ajoneuvoissa suurin piirtein samalla tavalla niin, että mahdollisia eroavaisuuksia ei ole järkevää käsitellä syvemmin tässä opinnäytetyössä. Käsittelylle ei ole sähköturvallisuuden tai katsastuksen kannalta tarvetta, koska samat säännöt pätevät kaikkiin ajoneuvoihin, joiden ajo-voimajärjestelmä on korkeajännitteinen. Sähköajoneuvot voidaan kuitenkin jakaa mo- neen alaluokkaan niiden eriävien voimalinjaratkaisuiden perusteella. (3. s. 2–5.)

3.1 Hybridiajoneuvoluokan sisäisiä eroavaisuuksia

Hybridiajoneuvo tarkoittaa kaikessa yksinkertaisuudessaan ajoneuvoa, joka käyttää esimerkiksi perinteisen polttomoottorin lisäksi jotakin toista voimanlähdettä, yleisimmin sähkömoottoria. Voimanlähteiden yhteistoiminta vaihtelee ajoneuvojen välillä paljonkin, mikä näkyy esimerkiksi polttomoottorin koon lisäksi ajoneuvon energiataloudessa ja ympäristöystävällisyydessä. Erilaisilla hybridiratkaisuilla voidaan kuitenkin vaikuttaa vahvasti myös ajoneuvon käyttäytymiseen ja ajomukavuuteen, minkä vuoksi erilaiset voimalinjaratkaisut ovat tarpeen. (3, s. 2–5.)

Rinnakkaishybridi tarkoittaa sitä, että polttomoottori ja sähkömoottori toimivat normaali- lissa ajossa rinnakkain, ”tukien toisiaan”. Tässä kokoonpanossa moottorit käyttävät yhteistä voimansiirtoa, joka mahdollistaa niiden toiminnan vuorottelun. Kaupunkiajossa ja hiljaisissa nopeuksissa voidaan ajaa pelkällä sähkömoottorilla, lähes ilman päästöjä. Moottoritiellä sen sijaan voidaan ajaa pelkällä polttomoottorilla, sen optimaalisella teho- alueella ja ladata samalla korkeajänniteakustoa. Moottorit voivat myös toimia samanaikaisesti tuottaen ajoneuvolle suuremman hetkellisen tehon. Tässä rajana on tietysti akuston tehokapasiteetin rajallisuus. (4, s. 43.)

Sarjahybridissä polttomoottori käyttää generaattoria, joka taas edelleen käyttää sähkö- moottoria. Tällaiseen voimalinjaratkaisuun tarvitaan siis väkisin vähintään kaksi sähkö- konetta, koska ajomoottorin on saatava energiansa jostain. Sarjahybridistä erikoisen

ratkaisun tekee myös se, että siinä polttomoottori ei ole millään lailla kytketty ajoneuvon renkasiin ja ajoneuvon liikuttamisesta vastaavat puhtaasti joko ajomoottori tai useammat ajomoottorit. Tällainen hybridiratkaisu on omiaan silloin, kun ajotapa sisältää paljon liikkeellelähtöjä ja pysähdyksiä, esimerkiksi kaupunkiajossa. Sarjahybridin yleisiä vahvuuksia ovat tietynlainen mekaaninen yksinkertaisuus, koska esimerkiksi kytkintä, vaihteistoa tai minkäänlaista perinteistä voimansiirtolinjaa ei tarvita. (4, s. 42.) Ajomukavuus on myös positiivinen lisä, koska ”jatkuvasti vääntävä” sähkömoottori tuottaa erittäin tasaisen ajokokemuksen.

Maantieajossa sarjahybridin hyötysuhde on kuitenkin huonompi verrattuna perinteiseen polttomoottoriajoneuvon, koska energian muuttaminen ensin polttomoottorilla sähköksi ja sähköllä takaisin liikkeeksi tuottaa omat tehohäviönsä. Tästä johtuen hybriditekniikkaa on yleisimmin käytössä esimerkiksi laivoissa ja sähködieselvetureissa, mutta myös niin sanotut *Range Extender*-hybridiajoneuvot on pohjautettu sarjahybriditekniikkaan. Tässä tapauksessa polttomoottoria ei ole kuitenkaan varsinaisesti tarkoitus käyttää kuin poikkeustapauksissa pitkillä matkoilla, minkä nimi ”Range Extender” jo itsessään kertoo. (4, s. 42.)

Kun sarja- ja rinnakkaishybridi yhdistetään, saadaan *sarja-rinnakkaishybridi*, joka voi parhaimmillaan sisältää kummankin järjestelmän parhaat ja huonoimmillaan kummankin huonot puolet. Tällainen kokoonpano voidaan saada aikaan esimerkiksi yhdistämällä sähköinen ja mekaaninen voimalinja toisiinsa planeettavaihteistolla, jolloin voidaan valita, liikutaanko pelkällä sähköllä, pelkällä polttomoottorilla, vai molemmilla yhtä aikaa. (4, s. 42.) Käytännössä tästä ei ole muuta haittaa kuin mekaaninen monimutkaisuus ja tästä johtuva mahdollinen vikaherkkyys. Suurempana haittana voidaan mieltää lisääntyneet valmistuskustannukset.

Joskus hybridiajoneuvoja luokitellaan niiden hybridisointiasteen mukaan, mutta joskus puhtaasta markkinoinnintarpeesta. Niin sanottu *täyshybridi* on sellainen hybridi, jonka jokainen maallikkokin mieltäisi hybridiksi. Täyshybridiajoneuvo voi liikkua joko pelkällä polttomoottorilla, pelkällä sähkömoottorilla tai käyttämällä molempia moottoreita samanaikaisesti. Mikäli ajoneuvo taas ei voi liikkua pelkällä sähkömoottorilla ja sähkökone toimii pelkästään kiihdytysavustimena, sitä nimitetään *kevythybridiksi*.

Joskus autoissa on pysäytys-käynnistysautomaattikkaa sekä jarrutusenergian talteenottojärjestelmä, mutta ajoneuvo kuitenkin liikkuu puhtaasti polttomoottorilla. Tällaisessa tapauksessa ajoneuvoa saatetaan kaupallisista syistä nimittää *mikrohybridiajoneuvoksi*, vaikka todellisuudessa ajoneuvolla ei ole mitään tekemistä todellisen hybridiajoneuvon kanssa. (4, s. 44.)

Tavallisessa hybridiajoneuvossa sen akusto on tarkoitettu pääasiassa jarrutusenergian säilömiselle ja se mahdollistaa ajoittain ajamisen puhtaalla sähköenergialla. Polttomoottori on kuitenkin edelleen keskeisessä osassa perinteistä hybridiajoneuvoa. Ketjun seuraavaa lenkkiä nimitetään *plug-in-hybridiksi*, jolloin ajoneuvon ajoakustoa voidaan ladata suoraan sähköverkosta. Tällaisessa ajoneuvossa on tyypillisesti suurempi akusto kuin tavallisessa hybridiajoneuvossa, mutta kuitenkin edelleen pienempi kuin täyssähköajoneuvossa. Tämän tyyppisellä ajoneuvolla voidaan ajaa esimerkiksi lyhyitä työmatkoja tai kauppareissuja pelkällä sähköllä, mutta pidempiä matkoja tukee edelleen vahvasti polttomoottori. (4, s. 44.)

Mikäli plug-in-hybridi varustetaan vielä isommalla akustolla, mutta siinä kuitenkin edelleen on pieni polttomoottori, sitä voidaan nimittää *range extender*-ajoneuvoksi. Tällainen ajoneuvo korostaa polttomoottorin toimintaa vain poikkeustapauksissa, esimerkiksi satojen kilometrien lomamatkoilla, mutta ollaan koko ajan siirtymässä suuntaan, jossa yhä suurempi osa matkasta voidaan taittaa pelkästään sähkömoottorilla käyttämättä polttomoottoria ollenkaan. Teknisesti range extender on sarjahybridi, mutta ostajan mielestä se saattaa olla lähellä täyssähköautoa, koska akusto on niin suuri, että on todella harvinaista huomata polttomoottorin hyrähtävän käyntiin. On kuitenkin tärkeää huomioida, että kyseessä on vain eräs hybridiajoneuvojen alakategorioista. (4, s. 44.)

3.2 Täyssähköajoneuvot

Täyssähköajoneuvo toimii nimensä mukaisesti pelkästään sähköenergialla, eikä sillä ole näin ollen mahdollista ajaa ”perinteisesti” polttomoottorilla missään tilanteessa – polttomoottoria ei ole ajoneuvossa ollenkaan. Keskeinen etu hybriditai polttomoottoriajoneuvon verrattuna on sähköajoneuvon voimansiirron huomattava yksinkertaisuus verrattuna edellä mainittuihin ajoneuvotyyppeihin. Riippuen hybriditai polttomoottoriajoneuvon voimalinjaratkaisuista, voidaan olla nopeasti erittäin monimutkaisen

kokoonpanon äärellä, jos sähkömoottorin ja polttomoottorin on kyettävä yhteisvoimin esimerkiksi liikuttamaan ajoneuvoa sekä järkevästi että pehmeästi. Polttomoottorin yhdistäminen mekaanisesti voimansiirtoon tai esimerkiksi generaattoriin tuottaa myös tehohäviötä, mikä aiheuttaa tällaiselle ajoneuvotyypille huonomman hyötysuhteen kuin täyssähköajoneuvossa. Täysin sähköinen ajovoimajärjestelmä eliminoi tämän monimutkaisuuden täysin ja toimii samalla sekä energiatehokkaampana että ympäristöystävällisempänä voimalinjana. Sähkömoottorin maksimivääntö on myös käytettävissä välittömästi, toisin kuin polttomoottorissa maksimivääntö saavutetaan ainoastaan tietyllä kierrosalueella. Näin ollen täyssähköajoneuvoilla on entistä parempi hyötysuhde ja kiihtyvyys, minkä lisäksi ne voivat olla myös voimalinjaltaan hiljaisempia. (3, s. 6.)

3.3 Hybridi- ja sähköajoneuvoja yhdistävät järjestelmät

Koko korkeajännitteinen ajovoimajärjestelmä on kaikissa sähköajoneuvoissa hyvin samankaltainen riippumatta siitä, miten sitä käytetään. Useimmissa hybrideissä esimerkiksi saattaa olla pienempi akku kuin täyssähköajoneuvoissa sekä pienempi sähkömoottori, koska tarpeen tullen polttomoottori voi tukea sähkömoottoria. Varsinainen elektroninen kokonaisuus, joka on vastuussa kaikista näistä tehoelektronisista toiminnoista, kuten jarrutusenergian talteenotosta, akun lataamisesta tai ajomoottorin pyörittämisestä, on kuitenkin tekniseltä kannalta katsoen ihan sama järjestelmä. (3, s. 6.)

Tyypillisesti sähköisen ajovoimajärjestelmän korkeajänniteakuston jännite on sadoissa volteissa tasajännitettä (DC), mutta lähitulevaisuudessa saattavat yleistyä jopa yli tuhat voltin akustot (2). Ajoneuvojen toteutustavasta riippuen virtaa saatetaan ottaa ulkosiin järjestelmiin joko korkeajänniteakustosta tai sitten matalajänniteakustosta, joka on tyypillisesti suuruudeltaan 12 tai 24 volttia. Matalajännitteellä toimiva järjestelmä on korkeajännitejärjestelmän ohella erittäin tärkeä, koska sillä ohjataan elektroniikkaa, joka vastaa korkeajännitejärjestelmän toiminnasta, kuten myös kaikista perinteisistä auton sähköjärjestelmistä valoista viihdejärjestelmiin. Tällaista elektroniikkaa voivat olla esimerkiksi ajoneuvon päätietokone, korkeajännitteinen akunhallintajärjestelmä, tai esimerkiksi erilaiset jäähdytysjärjestelmät. Toteutustavasta riippuen joitakin järjestelmiä saateen käyttää eri ajoneuvoissa korkeajännitteellä, kun taas jossakin toisessa ajoneuvossa ne toimivat matalajännitteellä. On kuitenkin elintärkeää, että ajoneuvossa on korkeajänniteakustosta riippumaton valvontajärjestelmä, joka valvoo mahdollisesti muodostuvia

vikoja ja ilmoittaa tästä kuljettajalle, jos korkeajänniteakustoon ilmaantuisi vakava vika. (3, s. 7.)

Tyypillisesti sähköajoneuvoissa tällaisia järjestelmiä ovat muun muassa akunhallintajärjestelmä, joka tarkkailee akun yksittäisten kennojen tai kennoryhmien varaustilaa varmistuen sen, etteivät ne yllätaudu tai alipurkaudu. Toisaalta järjestelmä huolehtii myös korkeajänniteakuston kennojen balansoinnista, eli kennojen jännitteiden samankaltaisuudesta, joka vaikuttaa oleellisesti akun suorituskykyyn ja kestoikään. Vikatilanteessa akunhallintajärjestelmä voi avata korkeajänniteakun kontaktorit, mikä tarkoittaa korkeajänniteakun täydellistä galvaanista, eli virrankulun estävää erotusta muusta korkeajännitejärjestelmästä. Erotus voidaan matalajännitejärjestelmän avulla siis toteuttaa vaikka ilman koko korkeajänniteakua. Jos matalajännitteisessä valvontajärjestelmässä on vikaa, kontaktorit eivät aktivoidu, mikä estää auton liikkumisen. (3, s. 7.)

Toinen keskeinen järjestelmä on erotusresistanssin valvontajärjestelmä, joka valvoo korkeajännitejärjestelmän ja ajoneuvon korin välistä resistanssia. (3, s. 7.) Korkeajännitejärjestelmän ei tulisi missään tilanteessa olla yhteydessä matalajännitelaitteistoon, koska yleensä kuljettajalla on mahdollisuus koskea siihen paljain käsin. Mikäli erotusresistanssin valvontajärjestelmä havaitsee alentuvan erotusresistanssin korkea- ja matalajännitejärjestelmien välillä ja muutos on merkitsevä, tyypillisesti ensin seuraa ilmoitus kuljettajalle siitä, että ajoneuvossa on vikaa ja niin sanotusti ”Check EV”-valo syttyy (2). Hetkellinen erotusresistanssin muutos voi olla normaalia, esimerkiksi jos kosteutta pääsee väärään paikkaan väärään aikaan, mutta yleensä tämä ei aiheuta minkäänlaista vaaratilannetta ja kosteuden poistuttua erotusresistanssi palaa takaisin normaaliksi. Mikäli erotusresistanssi kuitenkin laskee niin alhaiseksi, että siitä olisi kuljettajalle vaaraa, järjestelmä erottaa korkeajänniteakuston ajoneuvosta avaamalla kontaktorit (3, s. 7).

Kolmas järjestelmä, joka myös katkaisee kontaktorien ohjausvirran, on nimeltään interlock-järjestelmä. Tämän järjestelmän tarkoituksena on tehdä ajoneuvo jännitteettömäksi, jos korkeajänniteosien suojuksia tai suojuuksia poistetaan, näin ollen estäen asiattomien korjausyritysten aiheuttamia sähkötapaturmia. Joissain ajoneuvoissa osana interlock-järjestelmää on korkeajännitekaapelien ympärille pyöritetty ohuempaa johdinta, joka katkeaa samalla kun paksumpaa johtoa leikkaa. Ohuemman kaapelin katketessa myös korkeajännite katkeaa. (4, s. 53.)

Vielä lopuksi on huomattava, että sähköajoneuvojen akustot eroavat akkutekniikaltaan suuresti perinteisestä käynnistysakkuna tunnetusta lyijyakusta, sillä lyijyakkua ei ole suunniteltu kestävään täysiä purkautumissyklejä. Yleisimmät käytössä olevat akkuteknologiat sähköajoneuvoissa ovat NiMH-akut (nikkelimetallihydridi) sekä Li-ion-akut (litiumioni), joista litiumioniakut ovat yleisin teknologia täyssähköajoneuvoissa. Litiumioniakut ovat NiMH-akkuja kevyempiä, mutta ne kestävät huonosti ylilatausta ja vaativat tarkahkon akunhallintajärjestelmän (BMS, Battery Management System) valvomaan kennojen varaustilaa. NiMH-akkujen etuja yleisesti ovat taas hyvä pakkaskestävyys ja kyky käsitellä suuria virtoja halvalla hinnalla. (4, s. 46.)

Akku on käytännössä aina vaarallinen ennen kuin se on hävitetty asianmukaisesti ongelmajätelaitoksella. Erityisesti litiumioniakut oikosulkeutuessaan tai tullessaan lävistyksi aiheuttavat suuren riskin valokaarelle tai räjähdysmäiselle tulipalolle. (4, s. 46.) Akusta peräisin oleva tulipalo voi pahimmillaan olla niinkin ärhäkkä, että perinteiset sammutusmenetelmät eivät tehoa siihen ja pahimmillaan auto voidaan joutua upottamaan kokonaan veteen palon leviämisen ehkäisemiseksi. (5.)

4 UNECE:n sääntö nro 100

Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 100 on nimensä mukaisesti kattava sääntö, joka koskee sähköajoneuvojen sähköturvallisuutta. Se sisältää yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimajärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta. Versio, jota tarkastellaan, on tullut voimaan 2.3.2011 ja on voimassa edelleen. Sääntö pitää sisällään informaatiota aina hyväksynnän hakemisesta vaatimuksiin ja testeihin, joilla voidaan ensikädessä varmistua ajoneuvon sähköturvallisuudesta. Käytännössä ajoneuvo, joka ei täytä testeissä esitettyjä kriteerejä, ei lukeudu tämän säännön perusteella sähköturvalliseksi. (1.)

Säännössä on eritelty vaatimuksia ja testejä, jotka koskevat M- ja N-luokkien sähköisiä ajovoimajärjestelmiä. Ne käsitellään nyt lyhyesti kuitenkin karsimatta pois oleellista informaatiota.

4.1 Suojaus sähköiskuilta

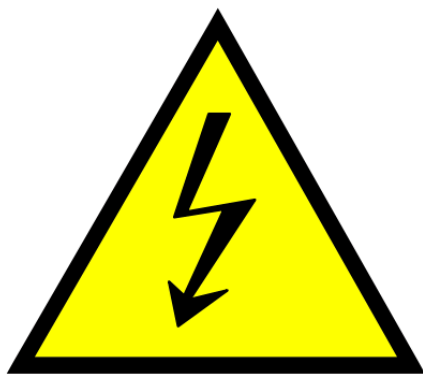
Osien, jotka ovat jännitteellisiä, on oltava suojattu niin, että niihin ei ole mahdollista koskea suoraan. Tämän toteutumisesta vastaavien suojien ei myöskään tule olla irrotettavissa ilman työkaluja. Suojausluokkaa IPXXD tulee noudattaa matkustamossa tai tavaratilassa sijaitseviin jännitteellisiin osiin ja suojausluokkaa IPXXB muualla oleviin jännitteellisiin osiin. (1. § 5.1.1.) Edellä käytetty IP-luokitus (Ingress Protection) kuvaa sähkölaitteen tai koteloinnin tiiviyttä esimerkiksi pölyä tai vettä vastaan ja siitä tarkempaa tietoa löytyy standardista SFS-EN 60529 (6).

Vaarallisten jännitteiden muodostumisen estämiseksi myös jännitteelle alttiit osat, kuten suojukset ja kotelot, on suojattava epäsuoran kosketuksen mahdollisuuden vuoksi. Tämä voidaan toteuttaa liittämällä johtava osa galvaanisesti sähköiseen alustaan joko sähköjohdolla tai hitsaamalla, ruuviliitoksella tai jollakin muulla vastaavan kontaktin muodostavalla tavalla. Kaikkien tällaisten kosketeltavien osien on muodostettava enintään 0,1 ohmin suuruinen resistanssi sähköiseen alustaan nähden, kun käytettävä mittausvirta on vähintään 0,2 ampeerin suuruinen.

Jos ajoneuvo on tarkoitettu liitettäväksi ulkoiseen tehonlähteeseen, ajoneuvon sähköisen alustan on maadoitettava galvaanisesti laitteen välityksellä. Yhteyden on muodostettava maahan jo ennen ulkoisen jännitteen kytkemistä ajoneuvon ja säilyttävä kunnes jännite on kytkeytynyt irti ajoneuvosta. (1. § 5.1.2.2.)

Ajoneuvon liitäntälaitteet luetaan säännön mukaisiksi, jos ne voidaan irrottaa ilman työkaluja ja ne on suojattu edellä mainittujen IP-luokitusten perusteella. Mikäli laitteita ei ole suojattu IP-luokitusten mukaisesti, niiden on sijaittava lattian alla lukitusmekanismin takana, tai jonkin muun osan takana, jonka irrottaminen vaatii työkaluja. Jos jännitteellisiin osiin on mahdollista koskea ilman työkaluja, jännitteen on asetettava yhden sekunnin kuluttua liitäntälaitteen irrottamisesta enintään arvoon 60 V DC tai 30 V AC (rms). Myös huoltokatkaisimen on oltava standardin IPXXB mukainen silloin, kun se voidaan avata, purkaa tai irrottaa ilman työkaluja. (1. § 5.1.1.3 – § 5.1.1.4.)

RESS-järjestelmä, eli ladattava energiavarastojärjestelmä, tai sen lähiympäristö on merkittävä asianmukaisesti kuvan 1 perusteella. Merkinnässä oleellista huomioida on symbolin värimaailma, jonka tulisi olla keltataustainen, mutta muutoin musta. Symbolin on näytävä kaikkialla siellä, mihin on päästävissä käsiksi ilman työkaluja, ajoneuvon osia poistamatta ja jossa on mahdollista joutua kosketuksiin jännitteellisten osien kanssa. Symbolin ei tarvitse näkyä missään muualla, ei edes ajoneuvon lattian alla sijaitsevissa suojuksissa tai koteloissa. Korkeajänniteväylän varrella sijaitsevan liitäntälaitteen kohdalla symbolin käyttö on vapaaehtoista, mutta korkeajänniteväylien kaapelit, jotka sijaitsevat koteloinnin ulkopuolella on varustettava oranssin värisellä kuorella. (1. § 5.1.1.5.)



Kuva 1. Korkeajännitelaitteen merkinnässä käytettävä symboli, jonka värimaailman tulisi olla keltataustainen, mutta muutoin musta. (1. § 5.1.1.5.)

Mikäli ajoneuvon sähköinen voimajärjestelmä koostuu erillisistä tasajännite- tai vaihtojänniteväylistä, eli ne on erotettu galvaanisesti toisistaan, kyseessä olevan korkeajänniteväylän on muodostettava vähintään 100 ohmin suuruinen resistanssi tasajännitevolttia kohden ja vähintään 500 ohmin suuruinen resistanssi vaihtojännitevolttia kohden. Mikäli voimajärjestelmä koostuu yhdistetyistä tasa- ja vaihtojänniteväylistä, eli ne on yhdistetty galvaanisesti toisiinsa, korkeajänniteväylän on muodostettava vähintään 500 ohmin suuruinen erotusresistanssi sähköiseen alustaan käyttöjännitteen voltia kohden. Mikäli korkeajännitteiset vaihtojänniteväylät on kuitenkin suojattu joko käyttämällä kahta tai useampaa kerrosta kiinteitä eristyksiä, tai hyödyntämällä mekaanisesti vahvoja ajoneuvon käyttöiän ajan kestäviä suojuksia, erotusresistanssin on oltava vähintään 100 ohmia käyttöjännitevolttia kohden. Yllä mainitut erotusresistanssit voidaan mitata tarkemmin UNECE:n määräyksen liitteen 4 opastamalla tavalla. (1. § 5.1.3.)

Jos kuitenkin erotusresistanssin vähimmäisvaatimuksia ei voida täyttää, suojaus on hankittava joko erotusresistanssin valvontajärjestelmän avulla tai käyttämällä erikseen hyväksyttäviä eristysmateriaaleja, kuten koteloita tai suojuksia § 5.1.1 kohdan perusteella. Erotusresistanssin valvontajärjestelmän on kyettävä antamaan kuljettajalle varoitus liiallisesta resistanssin laskemisesta. RESS-järjestelmän korkeajännitteisen latausväylän erotusresistanssia ei kuitenkaan tarvitse seurata, koska se on kytkettynä vain ajoneuvon latauksen ajan. (1. § 5.1.3.3.)

Ajoneuvon latausporttiin kytkeytyvän korkeajännitepiirin sekä sähköisen alustan välisen erotusresistanssin on oltava minimissään yhden megaohmin suuruinen silloin, kun latauskytkentä on irrotettuna. (1. § 5.1.3.4.)

Kaikki edellä mainitut vaatimukset pätevät, kun ajoneuvon korkeajänniteväyliä ei ole kytketty ulkoiseen korkeajännitteiseen tehonlähteeseen (1. § 5.1).

4.2 RESS-energiavarastojärjestelmä

Ladattava energiavarastojärjestelmä ei saa ylikuumentua missään tilanteessa. Tarpeen vaatiessa järjestelmä on suojattava esimerkiksi sulakkeilla tai pääkytkimillä, mikäli ylikuumentuminen on järjestelmän toiminnan ohella mahdollista. Jos järjestelmän ylikuumentuminen on estetty jollain muulla tavalla ilman ulkoisia suojalaitteita, vaatimusta ei

tarvitse noudattaa. Mikäli avoimesta ajoakusta on mahdollista vapautua vetykaasua, tämä tila, jossa akku sijaitsee, on varustettava asianmukaisella aktiivisella tai passiivisella, käyttökohteeseensa sopivalla tuuletusjärjestelmällä. (1. § 5.2.)

4.3 Toimintaturvallisuus

Ajoneuvosta on käytävä jonkinlaisella indikaattorilla ilmi, että ajoneuvo on aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa (1. § 5.3). Aktiivinen ajotila tarkoittaa sellaista tilaa, jossa esimerkiksi kaasun painaminen tai jarrun vapautus saisi ajoneuvon liikkumaan (1. §2.1). Tätä vaatimusta sovelletaan ainoastaan ajoneuvoissa, joilla on mahdollista ajaa pelkällä sähköenergialla. Jos ajoneuvon käyttövoima on siis peräisin suoraan tai epäsuorasti polttomoottorista, vaatimusta ei tarvitse noudattaa. Jos ajoneuvo kuitenkin on aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa vielä kuljettajan poistuessa ajoneuvosta, tästä on seurattava jonkinlainen visuaalinen ilmoitus tai äänimerkki.

Ajoneuvo ei saa lähteä liikkeelle, mikäli valmistajan määrittelemä latausliitin on kytkettynä ajoneuvon latausporttiin. Ajosuunnasta on myös seurattava jonkinlainen indikaatio ajoneuvon kuljettajalle. (1. § 5.3.)

4.4 Vetypäästöt

Ajoneuvon vetypäästöt on määriteltävä erikseen, mikäli ajoneuvossa on avoimen mallinen ajoakusto. Vedyn näytteenotto- ja analyysimenetelmien on oltava UNECE:n sääntön nro 100 liitteen 7 mukaisesti suoritettuja. Kaikkien akun lataamistoimintojen tulee olla tällöin automaattiohjauksessa, eikä latauksen vaiheisiin saa vaikuttaa manuaalisesti. Järjestelmään, joka vastaa latauksen ohjaamisesta ei myöskään saa vaikuttaa ulkoisesti millään tavalla. Mikäli latauksen aikana syntyy niin merkittävä häiriö, että ajoneuvolaturin toimintahäiriö on latauksen aikana mahdollinen, kuljettajan on saatava tästä selkeä pysyvä ilmoitus. Ajoneuvon valmistajan on myös erikseen mainittava ajoneuvon käyttöohjeessa, että edellä mainitut vaatimukset on asianmukaisesti täytetty. (1. § 5.4.)

Yllä käsiteltiin kokonaan UNECE:n sääntö nro 100:n kappale 5, joka käsittelee sähköajoneuvojen vaatimuksia ja testejä. Sääntön sisältö on kokonaisuudessaan vielä laajempi,

mutta se ei ole tämän opinnäytetyön kannalta oleellista informaatiota, sillä oleellista ovat ainoastaan tekniset määräykset, jotka koskevat ajoneuvon korkeajännitejärjestelmää.

5 Suomen sähköturvallisuuslaki

Sähköturvallisuuslaki, jota käsitellään, on julkaistu vuonna 2016, eli se on uudistunut kohtalaisen hiljattain. Sähköturvallisuuslain perustavanlaatuinen lähtökohta on varmistaa sähkölaitteiston käytön turvallisuutta sekä pyrkiä estämään sähkön ilmiöiden aiheuttamia haitallisia vaikutuksia ja taata vahingoista kärsineiden oikeuksia. Tämän lisäksi laki käsittelee muun muassa laitteiston vaatimuksenmukaisuutta. Sovellusalueena sähköturvallisuuslailla voidaan pitää sähkölaitteita ja -laitteistoja, joita käytetään sähkön siirrossa, sen jakelussa tai käytössä ja joiden sähköisistä ominaisuuksista voi aiheutua vahingon vaara tai riski häiriöiden muodostumiselle. (7, § 1 – § 2.)

Ennen sähköturvallisuuslain nykyistä versiota sähköajoneuvojen kohdalla oli sovellettava olemassa olevia säädöksiä käytännössä niin sähköturvallisuuslain kuin sähköturvallisuusstandardinkin osalta. Säädökset eivät vielä olleet päivittyneet ajantasaisiksi sähköajoneuvojen osalta, joiden kohdalla tietyt periaatteet ovat poikkeavia muusta sähkötekniikasta. Vuonna 2015 sähköturvallisuusstandardiin lisättiin kuitenkin Liite U, joka käsittelee syvällisemmin sähköajoneuvoja koskevia vaatimuksia (8, s. 46).

Sähköturvallisuuslain 55 §:n perusteella sähkötyötä saa tehdä seuraavin perustein:

1. Työn johtoon on nimetty sähkötyöiden johtaja, jolla tulee olla riittävä, työhön soveltuva kelpoisuus.
2. Mikäli työn suorittaja toimii kuitenkin itsenäisesti, hänellä tulee olla työhön riittävä ammattitaito.
3. Työn kannalta tarpeelliset työvälineet ovat työn suorittajalla käytettävissä ja sähköturvallisuussäännökset ovat tekijällä hallussa.
4. Toiminnasta tulee tehdä ilmoitus sähköturvallisuusviranomaiselle ennen sen aloittamista. (7, § 55.)

Näistä vaatimuksista voidaan kuitenkin sähköturvallisuuslain 56 §:n perusteella poiketa siinä tapauksessa, jos sähkötyöt koskevat tieliikennekäyttöön soveltuvan

sähköajoneuvon voimajärjestelmää ja mikäli henkilöllä on riittävä perehtyneisyys kyseiseen järjestelmään sekä sähkön vaaroihin. Poikkeaminen on mahdollista myös, mikäli sähkötyön tekijällä on 66–71 §:ssä tarkoitettu kyseisen työn tekemiseen oikeuttava pätevyystodistus, tai sähkölaitteisto rakennetaan tilapäiseksi esimerkiksi opetuskäyttöön siihen soveltuvassa laboratorioissa sähköalan ammattihenkilön valvoessa toimenpidettä.

Enintään 250 voltin nimellisjännitteisten asennusrasioiden peitekansien irrotus ja kiinnitys, yksivaiheisten pistotulppien, liitosjohtojen sekä esimerkiksi sisustusvalaisimien asennus- ja huoltotyöt ovat myös sallittuja, sillä ne määritellään maallikotöiksi. Muita tällaisia töitä ovat sähköturvallisuuslailla eriteltynä muun muassa nimellisjännitteeltään enintään 50 voltin vaihtojännitteisten tai 120 voltin tasajännitteisten laitteistojen sähkötyöt sekä omaan käyttöön rakennettujen sähkölaitteiden korjaaminen, sen liittyessä sähköalan harrastustoimintaan. (7, § 56.)

6 Sähkötyöturvallisuusstandardi SFS 6002

SFS 6002 on sähkötyöturvallisuuteen keskittyvä standardi, joka perustuu CENELEC:n (European Committee for Electrotechnical Standardization) EN 50110-sarjan standardeihin. Nykyinen versio SFS 6002:sta vahvistettiin vuoden 2018 syksyllä ja se on ollut voimassa siitä asti. Tätä standardia sovelletaan sähkölaitteistojen käyttöön sekä työskentelyyn sähkölaitteistossa ja niiden läheisyydessä. Sähkölaitteiston jännitteen suuruudella ei ole standardin kannalta merkitystä, vaan se kattaa kaikki järjestelmät matalista jännitteistä suurjännitteeseen asti. Standardi asettaa vaatimukset turvalliseen sähkölaitteistojen operointiin sekä niiden läheisyydessä työskentelyyn. Tällaisia sähkölaitteistoja voivat olla muun muassa rakennusten pysyvät tai tilapäiset sähköasennukset sekä myös erilaiset siirrettävät tai liikkuvat asennukset riippumatta siitä, ovatko ne jännitteellisiä vai jännitteettömiä. (8, s. 1–6.)

6.1 Peruseriaatteita

Sähkölaitteiston turvallisen toiminnan kannalta on tärkeää arvioida sähköiset riskit. Arvioissa tulee määritellä, miten käyttötoimenpiteet tai työt tehdään niin, että laitteiston käyttöturvallisuus varmistuu. Työhön osallistuvien henkilöiden turvallisuusvastuut määräytyvät aina kansallisen lainsäädännön mukaisesti. Kaikkien niiden, jotka osallistuvat työhön sähkölaitteistossa tai sen läheisyydessä, on oltava kyllin hyvin opastettuja työtä koskeviin säädöksiin sekä yrityksen ohjeistukseen. Tällaisia säädöksiä ja vaatimuksia voivat olla esimerkiksi henkilösuojainten tai oikeanlaisen työvaatetuksen käyttö. Sähköturvallisuuden valvoja vastaa aina siitä, että työssä noudatetaan asianmukaista turvallisuutta sekä säädöksiä ja ohjeita. Mikäli työssä on riski sähköiselle vaaralle tai vammalle, sitä saa tehdä ainoastaan sellainen henkilö, jolla on kyseiseen työhön riittävä kokemus. Vaihtoehtoisesti työtä tekevää henkilöä on valvottava sellaisen henkilön toimesta, jolla on tarvittava kokemus ja osaaminen.

Jokaisesta sähkölaitteesta on vastuussa sen vastuuhenkilö. Vastuuhenkilö voi olla kuka tahansa luonnollinen henkilö omasta tai kolmannen osapuolen organisaatiosta. Jos henkilö ei ole omasta organisaatiosta, on järkevää dokumentoida henkilön nimitys sekä se, että millaisella ajanjaksolla ja millaisesta järjestelmästä tämä on vastuussa. Tarvittaessa sähkölaitteiston käytöstä vastuussa oleva henkilö voi siirtää osan tehtävistään muille

henkilöille. Jos järjestelmä on yhteydessä toiseen järjestelmään, josta on vastuussa eri vastuuhenkilö, on huolehdittava hyvästä kommunikaatiosta ja tiedonvaihdosta näiden vastuuhenkilöiden välillä. Maallikoiden pääsy sellaisille alueille tai sellaisiin laitteisiin on tarpeen mukaan rajattava niin, että sähköstä johtuvat vaarat on minimoitu. Lähtökohtaisesti jokaisesta työsuorituksesta on vastuussa työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja, mutta jos työ on jaettu erilaisiin osa-alueisiin, voi olla viisasta nimetä erillinen henkilö, joka on vastuussa tietyn osa-alueen turvallisuudesta. Kokonaisuudesta vastaa kuitenkin vain yksi henkilö.

Ennen kuin sähköjärjestelmää muutetaan tai töitä laitteiston läheisyydessä aloitetaan, on sovittava työtavoista ja mahdollisista käytännön järjestelyistä. Tällaisen sopimuksen pitäisi tapahtua työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojan ja sähkölaitteistoa valvovan henkilön yhteisymmärryksessä. Jos työn suoritus on erityisen haastavaa tai vaikeaa, on suunnittelu tehtävä kirjallisesti. Jos työt ovat helposti tehtäviä tai ne ovat kunnossapitotöitä, jotka suoritetaan sovittujen menetelmien perusteella, ammattihenkilö voi määritellä miten työ voidaan suorittaa turvallisesti selkeissä olosuhteissa. Jos työntekijä kuitenkin turvallisuussyistä vastustaa ohjetta tai työn tekemistä, hänen on voitava esittää vastustuksensa välittömästi työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojalle. Tämän on sitten neuvoteltava asiasta ylemmän esimiehen kanssa.

Yhteydenpidoksi lasketaan kaikki tavat, joilla tietoa siirretään ihmisten välillä suullisesti, kirjallisesti tai visuaalisesti. Sähkölaitteiston turvallisen käytön kannalta on oleellista, että tiedonvälitys tapahtuu täsmällisinä ilmoituksina erityisesti sähkölaitteiston käyttöä valvovalle henkilölle. Esimerkiksi verkon järjestelyt, kytkinten tila ja turvalaitteiden sijainti ovat tällaista oleellista tietoa. Tiedonsiirron on oltava luotettavaa ja siitä on varmistuttava, mikäli tiedonsiirtoon on käytettävä muita välineitä, esimerkiksi valoja, tietokoneita tai radio-signaaleja. Kaikista ilmoituksista on käytävä ilmi ilmoituksen antajan nimi sekä sijaintipaikka. Jotta suullisessa tiedonannossa esiintyvät virheet vältettäisiin, vastaanottajan tulee toistaa tiedot takaisin lähettäjälle, joka vahvistaa tietojen oikeellisuuden. Työtä ei saa myöskään aloittaa eikä sähkölaitteistoa tehdä jännitteelliseksi työn päätyttyä pelkästään ennalta sovitun kellonajan perusteella.

Työalue on määriteltävä ja merkittävä selkeästi. Riittävä valaistus ja työskentelytila ovat tehtävän suoritettavuuden kannalta oleellisia. Tarvittaessa turvallinen pääsy alueelle on

merkittävä selkeästi. Vaaratekijät on pyrittävä minimoimaan, eikä sähköisten kytkin- tai ohjauslaitteiden läheisyyteen tai niille johtaville reiteille saa asettaa kulkua estäviä esineitä tai palavia materiaaleja. Palavat materiaalit on pidettävä etäällä kaikista syttymislähteistä.

Työkalujen ja varusteiden on täytettävä soveltuvien eurooppalaisten, kansallisten tai kansainvälisten standardien vaatimukset niin pitkälle kuin standardeja on olemassa. Välineitä tai varusteita on käytettävä valmistajan tai toimittajan antamien ohjeiden mukaan. Ohjeiden on myös oltava mahdollista lukea kaikilla niillä kielillä, jotka maassa luetaan virallisiksi kieliksi. Suomen tapauksessa käyttöohjeiden on siis oltava luettavissa sekä suomeksi että ruotsiksi. Kaikki erikoistyökalut sekä varusteet ja laitteet on säilytettävä oikein ja pidettävä käyttökunnossa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi säännöllisin väliajoin tehtäviä silmämääräisiä tarkistuksia sekä tarvittavia sähköisiä testejä. Varusteisiin sisältyvät myös henkilökohtaiset suojavälineet. Suojauksen parantamiseksi suositellaan suojavaatteiden alla käytettäväksi vaatetusta, joka ei ole helposti sulavaa synteettistä materiaalia. Jännitetöissä käytettävien työvälineiden vaatimuksista on kerrottu tarkemmin sähkötyöturvallisuusstandardin liitteessä Y sekä kohdassa 6.3.6.

Työn tai käytön aikana mahdollisesti esiintyvistä vaaroista on tarvittaessa ilmoitettava kilpien avulla. Niiden tulee myös täyttää eurooppalaisten, kansallisten tai kansainvälisten standardien vaatimukset niiltä osin kuin standardeja on olemassa. Kielto- ja varoituskilpien on oltava standardin SFS-EN ISO 7010 vaatimusten mukaisia. Esimerkkejä tällaisista kilvistä, jotka liittyvät sähkölaitteistossa tehtävään työhön on esitetty tarkemmin sähköturvallisuusstandardin liitteessä V.

Sähkölaitteistosta ja sähkötyön turvallisuudesta vastuussa olevan henkilön pitää kehittää ja ottaa käyttöön sopivia hätätoimenpiteitä sähköonnettomuuksien varalta. Riittävällä määrällä henkilöitä, jotka työskentelevät sähkölaitteistossa tai niiden läheisyydessä tulee olla pätevä koulutus sekä tiedot, jotta he osaavat antaa ensiapua sähköiskuissa tai palovammojen hoidossa. Suositeltavaa on, että työpaikalla on olosuhteisiin nähden sopiva määrä erilaisia ensiapuohjeita ja -tauluja, joiden avulla työntekijät osaavat menetellä oikein hätätilanteissa. Jos varoitustauluja ei voida jostain syystä käyttää, työntekijöille voi yhtä hyvin antaa opasvihkosia tai turvallisuusohjeita, joista käy ilmi samoja asioita.

Yksityiskohtaiset vaatimukset ensiapukoulutuksesta löytyy sähkötyöturvallisuusstandardin liitteestä X. (8, s. 14–18.)

6.2 Sähköajoneuvoja koskevat vaatimukset

Sähköturvallisuusstandardin SFS 6002 liitteessä U käsitellään sähköajoneuvokorjauksia koskevia erityispiirteitä. Sähköajoneuvokorjaamot poikkeavat tavallisista sähkölaittekorjauksista esimerkiksi siten, että ajoneuvokorjauksissa vain pieni osa korjattavista autoista on sähkö- tai hybridiajoneuvoja ja samoissa korjaamotiloissa työskentelee mekaanikkoja, joilla ei ole sähköalan koulutusta, eikä varsinaista sähköalan kokemusta. Sähköturvallisuuslain perusteella sähköajoneuvojen voimajärjestelmien sähkötöissä ei tarvita sähkötöiden johtajaa, jos työn suorittajalla on riittävästi kokemusta kyseisen ajoneuvomallin sähköjärjestelmästä ja riittävä tietotaito sähkön vaaroihin liittyen. Työn tekijän on tosin tällöin huolehdittava itse työnaikaisesta sähköturvallisuudesta.

Liitteessä U sähköajoneuvolla tarkoitetaan sähkö- tai hybridiajoneuvoa tai työkonetta, jonka ajovoimajärjestelmän nimellisjännite on yli 120 voltia tasajännitettä tai 50 voltia vaihtojännitettä. Tyypillisesti sähköajoneuvoista puhuttaessa matalajännite tarkoittaa alle 60 voltin tasajännitettä tai alle 30 voltin vaihtojännitettä, eli tavallisimmat akkujännitteet 12 V sekä 24 V asettuvat tälle skaalalle. Suuremmat jännitteet tarkoittavat ajoneuvotekniikassa korkeajännitteitä ja niistä on kerrottu tarkemmin UNECE:n säännössä numero 100 sekä tämän opinnäytetyön luvuissa kaksi ja neljä.

Mikäli sähköajoneuvossa tehdään sähkötyötä, sen on käytävä selkeästi ilmi esimerkiksi lippusiimalla tai asianmukaisella varoituskilvillä. Kilvestä on käytävä ilmi vaarallinen jännite, ja kilpi on asetettava näkyvälle paikalle, josta se on nähtävissä mistä tahansa suunnasta autoa. Tällainen paikka on esimerkiksi ajoneuvon katto. Kun sähköajoneuvoa huolletaan tai korjataan, työntekijällä on aina oltava käytettävissään ajoneuvolle spesifiset mallikohtaiset ohjeet, joissa opastetaan, miten ajoneuvo tehdään oikeaoppisesti jännitteettömäksi.

Korjaamotilassa sekä työntekijöiden sosiaalitulassa on oltava ensiapuohjetaulu. Tämän lisäksi kaikki henkilökulkutiet korjaamotilassa on varustettava kilvillä, jotka varoittavat vaarallisesta jännitteestä sekä maininnalla: ”Pääsy asiattomilta kielletty”.

Aina kun sähköajoneuvolle suoritetaan huolto- ja korjaustoimenpiteitä, niitä tekevällä henkilöstöllä on oltava standardin SFS 6002 mukainen soveltuva sähköturvallisuuskoulutus sekä mahdolliset ajoneuvokohtaiset koulutukset. Jos kuitenkin korjaamohallissa työskentelee henkilöitä, jotka eivät osallistu sähköajoneuvon huolto- tai korjaustoimenpiteisiin, ei sähkötyöturvallisuuskoulutukselle ole tarvetta. Pelkkä perehdytys sähkön vaaroihin sekä ohjeistus toimintaan onnettomuustilanteessa on tällöin riittävä.

Ajoakuston jännitetöihin sovelletaan jänniterajoista riippumatta standardin SFS 6002 kohdan Y.7 vaatimuksia. (8, s. 46.) SELV- (Safety extra low voltage) ja PELV-pienoisjännitteisissä (Protective extra low voltage) laitteistoissa jännitteisenä tehtävissä töissä on käytettävä jännitetyövälineitä ja näitä järjestelmiä koskevia erityisohjeita on noudatettava. Mikäli laitteistossa on riski suurivirtaiselle oikosululle, kuten esimerkiksi sähköajoneuvon ajoakustossa, työn tekijän on oltava sähköalan ammattihenkilö tai opastettu henkilö, jolle on annettu sekä yleinen sähkötyöturvallisuuskoulutus että työtä koskeva jännitetyökoulutus. Mikäli kyseessä on FELV-järjestelmän (Functional extra low voltage) jännitetyö, siinä sovelletaan pienjännitelaitteistoja koskevia vaatimuksia standardin SFS 6002 kohdan Y.8 mukaisesti. (8, s. 58.)

7 Suosituksia sähköajoneuvon katsastamiselle

Vaikka varsinaisia yleispäteviä määräyksiä sähköajoneuvon katsastamiselle ei ole otettu käyttöön vielä monessakaan maassa, suosituksia silti löytyy jonkin verran. Muun muassa CITA on luonut oman suosituslistansa sähköajoneuvojen katsastamista varten, joka on peräisin vuodelta 2015. Tekstin alussa tuodaan ilmi, että tämä on CITA:n näkemys sellaisista asioista, jotka heidän mielestään olisi järkevää katsastaa ajoneuvon määräaikaiskatsastuksessa. Lisäksi mainitaan siitä, että dokumenttiin tulee hyvin todennäköisesti muutoksia tulevaisuudessa sitä myötä, kun tietotaito ja sähköajoneuvot lisääntyvät maailmassa. Jänniterajat ovat myös tässä dokumentissa identtiset aikaisemmin määritettyihin jänniterajoihin UNECE:n säännön nro 100 perusteella: korkeajännitteeksi luokitellaan järjestelmät, jotka sisältävät joko yli 30 voltia vaihtojännitettä tai yli 60 voltia tasajännitettä.

CITA:n suositusten perusteella ajoneuvosta tulisi tarkastaa se, että korkeajännitteestä varoitetaan oikeanlaisin merkinnöin UNECE:n säännön nro. 100 mukaisesti. Merkinnät ovat kriittisiä ajoneuvon tyyppihyväksynnän kannalta, ja niiden on oltava siellä mihin ne kuuluvat, ehjiä ja selkeitä sekä ajoneuvoon kuuluvia.

Jarrutusenergian talteenottojärjestelmä on katsastettava silmämääräisesti. Lisäksi on varmistuttava siitä, ettei mikään varoita järjestelmän viallisuudesta, esimerkiksi varotusvaloilla. Järjestelmän varoituslaitteen on myös oltava toimintakunnossa. Järjestelmä katsotaan vioittuneeksi silloin, kun sen osia puuttuu, niitä on vaurioitunut tai ne ovat hapettuneita. Jarrutusenergian talteenottojärjestelmä on ajoneuvon toiminnan kannalta kriittinen, koska se osallistuu ajoneuvon jarrutukseen. Järjestelmää ei kuitenkaan voi testata perinteisellä jarrudynamometrillä, koska se ei usein ole aktiivinen pienissä nopeuksissa. CITA ehdottaa, että ajoneuvosta luettaisiin mahdollisuuksien mukaan OBD-vikakoodit (On Board Diagnostics) liittyen tähän järjestelmään, tai mikäli niitä ei voida lukea, ajoneuvolla pitäisi suorittaa koeajo järjestelmän toimivuuden toteamiseksi.

Sähköinen ohjaustehostin tulisi katsastaa silmämääräisesti niin, että renkaiden ja ohjauspyörän asento säilyvät samassa kulmassa, kun ajoneuvosta katkaistaan virta ja se käynnistetään uudelleen. Myös järjestelmän kaapelointi sekä liittimet tulisi tarkastaa

silmämääräisesti. Mikäli johdot tai liittimet ovat hapettuneita, varoituslaite on epäkunnossa tai ilmoittaa aktiivisesta viasta tai jos ohjaustehostin ei toimi, on kyseessä kriittinen vika.

Matalajännitteiset kaapelit sekä akut tulisi tarkastaa silmämääräisesti kuilulla tai nosturilla niin, että myös moottoritilan sisäosa tarkastetaan, jos se on mahdollista. Ajoneuvo voitaisiin hylätä, jos kaapelointi ei ole kiinnitetty kunnolla, se on kulunut tai sen eristyskerros on selkeästi kulunut. Myös ajoneuvon matalajänniteakusto tulisi tarkastaa silmämääräisesti, ettei se esimerkiksi vuoda tai pääse heilumaan ajon aikana voimakkaasti telineessään. Joissakin ajoneuvomalleissa saattaa myös olla tarvetta jäähdyttää matalajänniteakustoa ja tässä tapauksessa olisi oleellista todeta jäähdytyksen toimivuus.

Jarrutusenergian talteenottojärjestelmä (RESS) tulisi tarkastaa silmämääräisesti kuilulla tai nosturilla, tarpeen vaatiessa myös moottoritilan sisäpuolelta. Järjestelmän toiminnasta voidaan varmistua komponenttien tarkastuksen ohella esimerkiksi niin, että tarkistetaan kaikkien mittareiden näyttävän järkevää lukemaa. Tällaisia mittareita ovat esimerkiksi akun kapasiteetti-indikaattori sekä etäisyysindikaattori. Kaikkien järjestelmään liittyvien komponenttien tulisi olla asianmukaisesti tuettuja ja kiinnitettyjä ajoneuvon runkoon, eikä niissä saa esiintyä hapettumaa. Suojakilpien on oltava paikallaan, eivätkä ne saa olla vaurioituneita. Järjestelmän varoitusjärjestelmän on oltava toimintakunnossa, eikä se saa indikoida aktiivisesta viasta. RESS-järjestelmän jäähdytysjärjestelmän on oltava kunnossa, eli esimerkiksi jäähdytysletkuissa ei saa esiintyä vuotoja ja tämän lisäksi ilman on päästävä vapaasti kulkemaan mahdollisissa tuuletusputkissa tai aukoissa, jotka liittyvät RESS-järjestelmään tai sitä valvovaan järjestelmään.

Huoltoerotuskytkin, jolla korkeajänniteakusto voidaan erottaa muusta järjestelmästä manuaalisesti, on tarkastettava katsastuksessa mahdollisuuksien mukaan. Kytkin tulee tarkastaa silmämääräisesti ja sen todellinen toiminta tulee tarkastaa mittaamalla, mikäli tämä on mahdollista osia purkamatta. Jos kytkin ei erota akustoa muusta korkeajännitejärjestelmästä, on kyseessä kriittinen vika.

Aktiivisen ajotilan indikaattorin toimivuus on tarkastettava niin, että se toimii UNECE:n säännön nro 100 mukaisesti. Myös ajosuunnan indikaattorin on toimittava, jos sellainen

on asennettu ajoneuvoon. Kummassakin tapauksessa katsastus suoritettaisiin kokeilemalla muuttaa ajotilaa ja katsomalla, muuttuuko indikaattorin tila asianmukaisesti.

Huomioitavaa katsastuksessa ovat myös elektroniset muuntimet, kuten invertteri, ajomoottori sekä johtosarja yleisesti. Myös liittimien kunto on oleellisessa osassa katsastusta. Ajomoottori tulisi tarkastaa silmämääräisesti ja todeta mahdollisuuksien mukaan, että se on kiinnitetty asianmukaisesti ajoneuvoon eikä sen läheisyydessä näy hapettuneita komponentteja, puutteellista kotelointia tai huonosti eristettyjä johtoja. Riippuen ajoneuvotyypistä on myös mahdollista, että ajoneuvo sisältää esimerkiksi lämmitystä tai tuulilasin sulatusta varten lisävarusteita, jotka saattavat olla sähköturvallisuuden kannalta riskitekijöitä. Nämä tulisi pyrkiä tarkastamaan myös ajoneuvokohtaisesti yleisesti niin, että niistä ei ole havaittavissa mitään hälyttävää. Kaikki nämä järjestelmät tulisi tarkastaa kuululla tai nosturilla ja tarpeen vaatiessa tulisi katsoa myös, että moottoritilassa on kaikki kunnossa.

Mikäli ajoneuvoa on mahdollista ladata ulkoisesti, latauskaapeleiden kunto tulisi tarkastaa silmämääräisesti, jos se on mahdollista. Ajoneuvon ei pitäisi voida siirtyä aktiivisen ajon mahdollistavaan tilaan silloin, kun latauskaapeli on kytkettynä ajoneuvon latausporttiin. Tämä tulisi myös tarkastaa katsastuksessa mahdollisuuksien mukaan. Mikäli esimerkiksi oikeanlaista latauskaapelia ei ole juuri katsastushetkellä saatavilla, voitaisiin turvautua ainoastaan latausportin sekä sen ympäristön silmämääräiseen tarkasteluun. Latausportin on myös oltava tukevasti kiinni ajoneuvossa eikä se saa näyttää hapettuneelta, eikä siinä saa olla jälkiä huonosta sääsuojauksesta tai sähköisen eristeen puuttumisesta.

Sähköajoneuvon suojavaadoitus on todettava täysin toimivaksi suorittamalla maadoituksen jatkuvuusmittaus. Tämä perustuu UNECE:n sääntöön nro 100, jonka perusteella sellaisessa ajoneuvossa, joka on tarkoitettu liitettäväksi maadoitettuun ulkoiseen tehonlähteeseen, on oltava mahdollisuus kytkeä ajoneuvon runko galvaanisesti ulkoiseen suojavaahan. Mittauksessa on noudatettava ajoneuvovalmistajan ohjeita, jotta kytetään mitaamaan suojajohdinpiirin jatkuvuus oikeista mittapisteistä.

CITA:n suosituksen lopussa mainitaan vielä, että katsastajalla on ehdottomasti oltava asianmukainen sähköturvallisuuskoulutus, jotta hän kykenisi tekemään tiettyjä

sähköajoneuvojen katsastuksessa suositeltuja toimenpiteitä sähköturvallisesti. Mittaus, joka on CITA:n mielestä erityisen vaarallinen, on suojamaadoituksen tarkistusmittaus, koska väärin suoritettuna se voi antaa katsastajalle tappavan sähköiskun. Toisaalta tämä olisi myös hyvin oleellinen mittaus, koska tappavan sähköiskun voi järjestelmän vioituttua saada tietysti myös ajoneuvon kuljettaja tai siihen koskevat muut ihmiset. (9.)

CITA:n lisäksi toinen vastaavanlaatuinen tekninen ohjeistuslista saatiin Ranskasta (IT VL F4), mutta tässä suosituksessa ei varsinaisesti läpikäydä mitään sellaista, mitä ei olisi jo CITA:n suosituksissa käyty läpi. Asiat ovat tosin selkeämmin omaksuttavissa tästä listasta ja paikoin on käytetty tarkempaa kieltä kuin CITA:n tekstissä – IT VL F4 -dokumentissa puhutaan esimerkiksi laajemmin pinnan muutoksista, kuten hapon aiheuttamista vahingoista. Hapettuma on myös jaoteltu pinnan hapettuman lisäksi sellaiseen hapettumaan, mikä on edennyt pinnan alle ja irrotanut pinnoitteen esimerkiksi ajoakun pinnasta. Lisäksi erikseen on huomioitu akun sääsuojauksen mahdollinen puutteellisuus, joka johtaisi automaattisesti ajoneuvon hylkyyn. Ohjeistuksena on kuitenkin vain ”Control without removing the seats.”, eli katsastus pitäisi pystyä tekemään ilman penkkien purkamista.

Liittimien kohdalla ranskalaisessa suosituksessa on otettu selkeämmin esille mahdollisen ylikuumentumisen aiheuttamat jäljet, jotka automaattisesti johtaisivat ajoneuvon hylkyyn katsastuksessa. Tietysti myös huonosti kiinnitetyt kaapelit ja erityisesti sellaiset kaapelit, joilla on riskinä osua ajoneuvon runkoon, lukeutuisivat samaan kategoriaan. Sama sääntö pätee kaikkiin korkeajännitekaapeleihin. Maadoituskaapeleista on erikseen mainittu niiden rispaantumisen kontrollointi, tosin tämä ei johtaisi ajoneuvon hylkyyn. Vasta jos maadoituskaapeli on kokonaan poikki tai kytketty huonosti, ajoneuvo hylättäisiin katsastuksessa.

Mikäli ajoneuvon latauspistokkeissa on jälkiä valokaarista tai se liikkuu huomattavasti, kyseessä on vakava vika ja ajoneuvo tulee hylätä. Myös sääsuojauksen vajaavaisuus lukeutuu samaan kategoriaan. Latauskaapelin kunto ei kuitenkaan sellaisenaan ole niin vakava asia, että sitä olisi sen erityisemmin kategorisoitu tässä suosituksessa. Jos kaapelia ei ole ajoneuvon mukana, se lukeutuisi kuitenkin pieneksi viaksi.

Maadoituksen jatkuvuus on myös selitetty tässä ohjeistuksessa tarkemmin kuin CITA:n ohjeistuksessa. Lyhyesti asia menee kuitenkin niin, että mittarin toinen mittakaapeli pitää liittää latauspistokkeen maaliittimeen ja toinen mittakaapeli sitten ajoneuvon maadoituspisteeseen, esimerkiksi maadoituskaapeliin, rungon osiin, moottoriin tai itse akkuun. Jos latauspistokkeesta ei pysty päättämään, mikä liitin on maadoitusliitin, mittausta suoritetaan kaikille liittimille ja matalin mittaustulos jää voimaan. Mittaus voitaisiin suorittaa myös latauskaapelin kautta, mutta jos kaapelia ei ole saatavilla, mittausta suoritettaisiin suoraan ajoneuvon vastakkeesta. Mikäli resistanssi on yli 100 ohmia, tai mittari on kykenemätön näyttämään järkevää lukemaa, ajoneuvo on hylättävä. (10.)

Muilta osin Ranskan ohjeistus on enemmän tai vähemmän identtinen CITA:n vastaavaan ohjeistukseen. Yleispätevästi kuitenkin Ranskan ohjeistuksessa asiat on selkeästi yritetty selittää hieman käytännönläheisemmin termein, mikä olisi suotavaa sellaisessa ohjeistuksessa, joka on suunnattu suoraan katsastusmiehille. Ohjeistuksessa puhutaan vielä erilaisista ongelmatilanteista, kuten vuotavista letkuista ja haljenneista koteloista, mutta ne ovat niin yleispäteviä, että katsastajan luulisi oman koulutuksensa pohjalta löytävän tällaiset viat ilman, että niitä eritellään korkeajännitejärjestelmille spesifisiksi viikoiksi. CITA:n suosituksessa on kuitenkin yksi maininta, joka on oleellista huomioida: aina pitäisi noudattaa ajoneuvovalmistajan suosittelemia mittausten menetelmiä sähköisissä mitauksissa, jotta virheet sekä vaaratilanteet minimoitaisiin ja mittaustulos olisi mahdollisimman luotettava (9, s. 6–7).

8 Rakennemuutosmääräys

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä rakennemuutosmääräys on parhaillaan voimassa oleva määräys, joka tuli voimaan 1.5.2016. Rakennemuutosmääräyksen ohella käsitellään myös määräyksen 2 kohdan muuttamista koskevaa 25.6.2018 voimaan tullutta määräystä, jolla osittain muutetaan alkuperäisen rakennemuutosmääräyksen sisältöä.

Yleisinä periaatteina kaikkien ajoneuvon tehtävien muutosten jälkeen ajoneuvon tulee täyttää sen käyttöönottoajankohtana vallinneet tekniset vaatimukset ja hyväksyntävaatimukset, jollei toisin määrätä. Muutetun ajoneuvon on täytettävä ne vaatimukset, jotka olivat voimassa ajoneuvon ensimmäisen käyttöönoton ajankohtana tai tätä myöhemmin, jollei toisin määrätä. Passiivista turvallisuutta koskevien vaatimusten tulee kuitenkin täyttyä muutosten jälkeenkin.

Rakennemuutosmääräyksen mukaiset muutokset voidaan hyväksyä muutoskatsastuksessa, jos ne edellyttävät muutoskatsastusta. Muutoksille, jotka poikkeavat määräyksessä luokiteltavista muutoksista voidaan hakea poikkeuslupaa Liikenne- ja viestintävirastolta. Tehdyt muutokset eivät kuitenkaan saa oleellisesti heikentää ajoneuvon liiketurvallisuuteen vaikuttavia ominaisuuksia eivätkä oleellisesti lisätä ajon aikana kohdistuvaa räsitystä ohjauslaitteisiin, akselistoihin, jarruihin, voimansiirtoon tai kantaviin rakenteisiin.

Ajoneuvon suurimmat sallitut akselimassat eivät saa muutoksen seurauksena ylittyä. Mikäli sovelletaan muun tyyppin kuin muutoksen kohteena olevan ajoneuvon suurimpia sallittuja akselimassoja, tulee muutetun ajoneuvon akselistojen vastata lujuudeltaan vähintään ajoneuvon valmistajan kyseisille akselimassoille tarkoittaman ajoneuvon rakenteita. Muutosten seurauksena valmistajan ajoneuvolle sallima suurin sallittu kokonaisuus ei saa ylittyä ja tarvittaessa massan lisäystä on kompensoitava varusteita siirtämällä, korin osia keventämällä tai henkilö- tai tavarakantavuutta pienentämällä. (11.)

8.1 Moottori ja voimansiirto

Jos vaihdettava moottori on teholtaan ja iskutilavuudeltaan alkuperäistä pienempi, sen voi vaihtaa. Moottorin vaihtoon rinnastuvat sylinterikannen vaihto sekä moottorin iskutilavuuden suurentaminen, jos iskutilavuus suurenee yli 10 %. Myös ahtimen tai ahtoilman jäähdyttimen asentaminen sekä ahtimella varustetun moottorin muuttaminen rinnastuvat moottorin vaihtoon, pois lukien bensiinikäyttöisen ahtimella varustetun moottorin muuttaminen käyttämään pääosin etanolista koostuvaa polttoainetta. Sallittua on sellaisen teholtaan tai iskutilavuudeltaan alkuperäistä suuremman moottorin vaihtaminen, jonka ajoneuvon valmistaja on tarkoittanut käytettäväksi samaan tyyppiin kuuluvassa, tieliikenteeseen tarkoitettussa ajoneuvossa tai vertailumoottoreita tehokkaamman tai iskutilavuudeltaan suuremman moottorin vaihtaminen seuraavin edellytyksin:

- a) ajoneuvon jarrut, voimansiirto ja akselistot vastaavat vertailumoottorilla varustettua ajoneuvoa, mahdollinen vakiovarusteena oleva lukkiutumaton jarrujärjestelmä mukaan luettuna;
- b) ajoneuvon vaihdettavan vertailumoottoreita tehokkaamman moottorin teho on korkeintaan 20 % suurempi kuin tehokkaimman vertailumoottorin teho saman normin mukaan mitattuna;
- c) ajoneuvon vaihdettavan vertailumoottoreita iskutilavuudeltaan suuremman moottorin iskutilavuus on korkeintaan 25 % suurempi kuin iskutilavuudeltaan suurimman vertailumoottorin iskutilavuus;
- d) moottorin vaihdon mahdollisesti edellyttämien uusien tai muutettujen kiinnikkeiden tulee olla asianmukaiset; kiinnikkeiden lujuudesta on esitettävä selvitys;
- e) jos ajoneuvon vaihdettavaan moottoriin on tehty alkuperäiseen tehoon ilmeisesti vaikuttavia muutoksia, on muutetun moottorin tehosta esitettävä tehonmittaustodistus; ja
- f) jos autoon vaihdettavan moottorin teho verrattuna sen iskutilavuuteen on pienempi kuin 30 kW/dm³, tulee moottorin teho ja polttoaineensyöttölaitteiston tyyppi yksilöidä ja merkitä rekisteritietoihin; ja
- g) moottoria ei saa vaihtaa, jos ajoneuvon omamassan suhde moottorin nettotehoon on muutoksen jälkeen pienempi kuin 7 kg/kW; jos vertailumoottorilla suhde on enintään 10 kg/kW, saa suhde kuitenkin pienentyä 30 %, mutta ei pienemmäksi kuin 5 kg/kW; ajoneuvon omamassan katsotaan tällöin vastaavan punnittua omamassaa taikka tyyppihyväksynnässä määriteltyä tai valmistajan ilmoittamaa omamassaa korjattuna moottorin vaihtoon olennaisesti liittyvien rakennemuutosten aiheuttamalla massan muutoksella; moottorin

nettotehon katsotaan vastaavan autojen ja niiden perävaunujen teknisistä vaatimuksista annetun Liikenne- ja viestintäviraston määräyksen tai DIN-normin mukaista tehoa, 0,9-kertaista SAE netto -normin mukaista tehoa tai 0,7-kertaista SAE brutto -normin mukaista tehoa. (12.)

8.2 Moottorin muuttaminen

Muun kuin ahtimella varustetun moottorin muuttaminen on sallittua vaihtamalla kaasutin, asentamalla polttoaineen suihkutuslaitteisto tai muuttamalla sitä, muuttamalla sytytyslaitteistoa, muuttamalla puristussuhdetta, muuttamalla moottorin ohjausyksikön ohjelmistoa, vaihtamalla nokka-akseli, muuttamalla venttiilikoneistoa ja siihen liittyviä kanavia sekä vaihtamalla imusarja ja pakosarja sillä ehdolla, ettei rakennemuutosmääräyksen kohdassa 2.1 määrättyä ajoneuvon omamassan ja moottorin nettotehon suhdetta aliteta.

Mikäli moottorin tehoa on lisätty, on muutetun moottorin tehosta esitettävä tehonmittaus-todistus. Tällaista todistusta ei kuitenkaan vaadita, jos kaasutin tai kaasuttimet korvataan polttoaineen suihkutuslaitteistolla, tai bensiinikäyttöinen ajoneuvo muutetaan käyttämään pääosin etanolista koostuvaa polttoainetta. Jos moottorin iskuilavuutta kasvatetaan, sen tehon katsotaan muuttuvan iskuilavuuksien suhteessa. Tehonmittaustodistusta ei tällöinkään vaadita.

Jos ajoneuvon moottorin käyttövoimaksi muutetaan neste- tai maakaasu, tulee kaasulaitteiston asennus tarkastaa lain (390/2005) 6. luvun mukaisesti. Nestekaasulaitteiston asennuksessa tulee käyttää E-säännön 67 vaatimuksia vastaavia osia ja maakaasulaitteiston asennuksessa E-säännön 110 vaatimuksia vastaavia osia.

Ajoneuvon voidaan asentaa E-säännön 132 mukaan tyyppihyväksytyjä jälkiasennettavia pakokaasun puhdistusjärjestelmiä ja jos päästöt näin muuttuvat alkuperäistä päästöluokkaa paremmiksi, voidaan kyseinen päästöluokka muuttaa ajoneuvon rekisteriin merkittäviin tietoihin.

8.3 Jarrut

Ajoneuvon nestetoimiset jarrut saa vaihtaa seuraavin edellytyksin:

- a) jarrut ovat alkuperäisiä tehokkaammat ja peräisin ajoneuvosta tai tarkoitettu ajoneuvoon, jonka akselimassa tai valmistajan sallima akselimassa ja moottoriteho vastaavat vähintään muutettavaa ajoneuvoa;
- b) jarrusatula tai -kilpi on kiinnitetty ruuviliitoksella suoraan tai asianmukaista sovitteosaa käyttäen olka-akseliin tai vastaavaan taikka taka-akselistoon; oma- valmistusteisten sovitteosien lujuudesta on esitettävä selvitys;
- c) jarrupääsylinteri on toiminnalliselta mitoitukseltaan jarrujärjestelmään sopiva; tarvittaessa on käytettävä tehostusta;
- d) jarrupolkimen ja jarrupääsylinterin kiinnitykset ovat asianmukaiset;
- e) jarruvoiman jakaantuminen ei muutoksen seurauksena muutu alkuperäistä huonommaksi, mikä tulee tarkastaa katsastuksessa; jarruvoiman oikean jakautumisen aikaansaamiseksi jarrujärjestelmästä saa poistaa tai siihen saa asentaa akselistokohtaisesti jarruihin vaikuttavan säätöventtiilin; asennettu säätöventtiili ei saa olla ajon aikana säädettävissä;
- f) muuta kuin lisävarusteena olevaa jarrujen lukkiutumisenestojärjestelmää ei poisteta eikä levyjarruja vaihdeta ajoneuvon tyyppiin kuulumattomiksi rumpujarruiksi; ja
- g) jarrut, joiden on edellytetty ajoneuvon käyttöönottoajankohtana olevan E-säännön, direktiivin tai FMVSS-standardin mukaiset, tulee muutoksen jälkeen osoittaa sanotut vaatimukset täyttäväksi. (12.)

Ajoneuvon yksipiirisen jarrujärjestelmän saa myös muuttaa kaksipiiriseksi niin, että alkuperäinen jarrupääsylinteri vaihdetaan asennusmitoiltaan ja toimintaan vaikuttavalta mitoitukseltaan vastaavaksi kaksipiirijärjestelmän jarrupääsylinteriksi. Jarrupiirit on jaettava samalla tavalla kuin ajoneuvoon asennettavaa pääsylinteriä vastaavassa järjestelmässä. Tarvittaessa on tehtävä uuden jarrupääsylinterin vanhaan jarrujärjestelmään edellyttämät muutkin muutokset.

Rakennemuutosmääräyksessä käsitellään myös muita muutoksia, jotka koskevat ajoneuvon muita rakenteita, kuten korirakenteita ja alustaa, mutta ne eivät ole tämän työn kannalta oleellisia, koska keskitytään vain sähköisiin muutoksiin koskien ajoneuvojen korkeajännitteisiä ajovoimajärjestelmiä, eli tyypillisesti akustoa ja moottoria. (12.)

9 Katsastusmääräysten tilanne muissa EU-maissa

Sähköajoneuvojen katsastaminen ei ole ainoastaan Suomen ongelma, vaan määräykset ovat puutteellisia ympäri maapalloa. Tämän vuoksi on tärkeää saada tietoa myös muista maista, jotka taistelevat varmasti samojen ja osittain myös erilaisten ongelmien kanssa kuin Suomi. Kysely toteutettiin CITA:n avustuksella, joka lähetti korkeajännitejärjestelmien katsastusta koskevan kyselylomakkeen kaikkien vapaaehtoisten jäsentensä vapaasti vastattavaksi. Kysely pohjautui suomenkielisiin kysymyksiin, jotka ovat luettavissa liitteestä 1. Kysely oli voimassa kaksi viikkoa, jonka aikana siihen vastasi seitsemän eri maan edustajat: Saksasta DEKRA Automobil GmbH, Unkarista Ministry of Innovation and Technology, Kroatiasta Center for Vehicles of Croatia, Ranskasta DEKRA, Kiinasta TÜV SÜD China, Belgiasta GOCA VLAANDEREN sekä Luxemburgista SNCT.

CITA kuitenkin ilmoitti, että kaikkiin kysymyksiin ei voida heidän kauttaan vastata, sillä ne eivät koske ajoneuvon katsastusta, vaan liittyvät enemmänkin ajoneuvon huoltoon. (13.) Nämä kysymykset jätettiin alkuperäisestä kyselystä pois ja kysyttiin jälkikäteen manuaalisesti niiltä, jotka olivat vastanneet alkuperäiseenkin kyselyyn.

Tässä luvussa käsitellään CITA:n kautta hankittujen vastausten lisäksi myös muilta henkilöitä haastatteleamalla hankittu informaatio, joka koskee ajoneuvon huoltoa ja katsastusta.

9.1 Korkeajännitejärjestelmän katsastaminen

Saksassa ajoneuvon katsastus tulee erotella siten, että jo rekisterissä olevan ajoneuvon määräaikaikatsastus erotellaan ajoneuvon muutoskatsastuksesta, eli katsastus toimii karkeasti samalla tavalla kuin Suomessa jo nyt. Katsastuksessa suoritetaan silmämääräinen tarkastelu ajoneuville, eikä ajoneuvoa lähdetä purkamaan. Tämän lisäksi tarkastetaan silmämääräisesti mittaristo ja mahdolliset näytöt vikavalojen varalta. Jos ajoneuvon tietokoneesta on saatavissa jotakin muuta käyttökelpoista dataa, sitä käytetään. Tällä hetkellä sellaista ei kuitenkaan vastaajan mukaan ainakaan Saksassa ole saatavilla sähköajoneuvojen korkeajännitejärjestelmän osalta niin, että sitä voitaisiin katsastuksessa tarkastella syvemmin.

Mikäli ajoneuvo on kaupallisessa käytössä, sille suoritetaan katsastuksessa työturvallisuuteen perustuen sähköturvallisuustestejä DGUV A3 -määräyksen mukaisesti. Tähän sisältyvät eristysvastusmittaus ja maadoituksen jatkuvuusmittaus, mutta jäähdytysjärjestelmää ei erikseen tarkasteta. Mikäli ajoneuvoa muokataan teknisesti, se katsastetaan kansallisten määräysten perusteella. Suurilta osin Saksassa nämä määräykset perustuvat UNECE:n sääntöön nro 100, jossa tyyppihyväksynnän saamiseksi ajoneuvon on läpäistävä tietyt testit. Lähdetään siis liikkeelle siitä, että ajoneuvon tyyppihyväksynnän on säilyttävä, vaikka sen sähköjärjestelmää modifioitaisiin, mutta kansallisissa määräyksissä saattaa olla eroa UNECE:n viralliseen sääntöön. (14.)

Unkarissa ajoneuvojen korkeajännitteiset komponentit tarkastetaan silmämääräisesti ilman purkamista. Lisäksi korkeajännitejärjestelmällisten ajoneuvojen tulisi vastaajan mukaan läpäistä ”contact protection inspection”, eli ”kosketussuojauksatsastus”, jolla luultavasti tarkoitetaan sitä, että ajoneuvon erotusresistanssimittaus on läpäisty ja että mahdollinen korkeajännitejärjestelmien kotelointi on siltä osin kunnossa kuin määritellään UNECE:n säännössä nro. 100. Tätä sääntöä vastaaja ei kuitenkaan mainitse, joten kyseessä saattaa olla kansallisia metodeja, jotka eivät perustu mihinkään standardiin. (15.)

Kroatiassa sähköajoneuvot katsastetaan ainoastaan silmämääräisesti ilman erillisiä sähköturvallisuusmittauksia. (16.)

Ranskassa sähköajoneuvot katsastetaan silmämääräisesti ruosteelta ja osien epämuodostumilta sekä muilta mekaanisilta vaurioilta. Tarkastellaan myös osien oikeaoppista kiinnitystä, eli että ne eivät heilu ja ovat kunnolla kiinni ajoneuvossa. Lisäksi ajoneuvolle suoritetaan suojajohtimen jatkuvuusmittaus. (17.)

Luxemburgissa korkeajännitejärjestelmälliset ajoneuvot katsastetaan ilman erityisiä testejä perustuen ainoastaan Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2014/45, koskien moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen määräaikaikatsastusta ja jossa ei määritellä erityisiä ohjeita korkeajännitejärjestelmien katsastukseen. (18.)

Belgian ja Kiinan vastaus kysytyyn kysymykseen oli ”ei”, joten tulkinvaraisesti päättelemällä erityismittauksia ei suoriteta näissäkään maissa, vaan

korkeajännitejärjestelmällinen ajoneuvo katsastetaan kuin polttomoottorikäyttöinenkin ajoneuvo, ilman korkeajännitejärjestelmälle spesifisiä mittauksia. (19 & 20.)

9.2 Eriävät katsastusmenetelmät hybridi- ja täyssähköajoneuvon välillä

Saksalaisessa määräaikaiskatsastuksessa ei ole eroa sillä, onko katsastettava ajoneuvo hybridi- vai täyssähköajoneuvo. Määräyksissä lukee vain, että ”The electrical system shall be safe.”, eli sähköjärjestelmän on oltava turvallinen. (14.) Missään muussakaan maassa ei ole mitään eroa sillä, onko ajoneuvo täysin sähkökäyttöinen vai hybridi. Ainoastaan Unkarissa määritellään asia niin, että kunhan mittaristossa ei pala vikavaloja, ajoneuvo läpäisee katsastuksen (15).

9.3 Yleisimmät sähköajoneuvoissa havaitut viat katsastuksen yhteydessä

Vuonna 2013 Saksassa on suoritettu tutkimus liittyen sähköajoneuvojen tyypillisiin vikoihin, mutta sähköautot olivat tällöin kohtalaisen uusi asia. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään samaa asiaa kuin tässä opinnäytetyössä, eli miten määräaikaiskatsastusta pitäisi muuttaa vastaamaan lisääntyvien täyssähköajoneuvojen eriäviä katsastustarpeita. Todellisten vikojen perusteella luotiin sitten simulaatiomalli, jonka avulla voitaisiin kuvata komponenttien kulumaa (21). Vastaaja kuitenkin epäilee, että todelliset viat, jotka johtuvat osien loppuun kulumisesta tulevat esiintymään vasta paljon myöhemmässä vaiheessa sähköajoneuvon elinkaarta, joten tutkimuksen tuloksia ei voi pitää täysin kattavina. (14.)

Ranskassa yleisimmät korkeajännitejärjestelmään kohdistuvat viat ovat vastaajan näemyksen mukaan vaurioita, jotka ovat aiheutuneet ajoneuvon pohjaan kohdistuneista iskuista. Myös latausportin suojakansia on puuttunut, tai ne ovat olleet vaurioituneita. Tämä ei kuitenkaan perustu tilastotietoon, eli on mitä luultavimmin joko vastaajan henkilökohtaiseen kokemukseen tai kuulopuheisiin perustuvaa informaatiota. (17.)

Kiinasta saadun vastauksen perusteella yleisimmät viat ovat ”erotusresistanssipoikkeamat”, mutta mielenkiintoisen tästä vastauksesta tekee se, että Kiina vastasi aikaisempaan kysymykseen niin, että sähköajoneuvoille ei suoritettaisi mitään erityisiä

mittauksia. Varsinaisten kysymysten ulkopuolella Kiinan vastauksessa vielä erikseen eritellään, että vikoja on kaapeleissa ja liittimissä, jotka hapettuvat sellaisissa paikoissa, joihin pääsy on vaikeaa tai joissa johdot sekä liittimet on koteloitu. Vastauksen englannin kieli on kuitenkin sinänsä tulkinnanvaraista, ettei ole täysin varmaa puhutaanko tässä jo havaituista vioista, vai oliko se Kiinan suositus sille, että tällaisia vikoja pitäisi katsastuksessa huomioida. Tiedot eivät kuitenkaan ainakaan vastauksen perusteella perustu mihinkään tilastoihin, mutta ne on silti syytä ottaa vakavasti, koska vastaavat viat ovat juuri sellaisia, mitkä ovat sähköauton turvallisuuden kannalta oleellisia. (20.)

Kroatian, Belgian ja Luxemburgin osalta ei saatu tietoa yleisimmistä korkeajännitejärjestelmien vioista. Kroatia tosin vastasi, että yleisimmät viat ovat pääosin olleet rikkinäisiä polttimoita, jotka eivät kuitenkaan liity ajoneuvon korkeajännitejärjestelmään millään tavalla. (16, 19 & 18.)

9.4 Korkeajännitejärjestelmistä aiheutuneita tapaturmia

Saksassa sekä Ranskassa kaikkien katsastajien on läpäistävä korkeajännitejärjestelmän katsastamisen kannalta oleellinen sähköturvallisuuskoulutus. Ranskassa tämä koulutus on uusittava kolmen vuoden välein. (14 & 17.) Missään maassa ei kuitenkaan ollut vastausten perusteella tapahtunut edes lieviä sähkötapaturmia ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän katsastuksen yhteydessä.

9.5 Korkeajännitejärjestelmiä koskevien säädösten ajantasaisuus

Saksan vastauksen perusteella määräaikaikatsastuksessa ei käsitellä riittävän pitkälle sähköajoneuvon sähköturvallisuutta. Vastauksessa puhutaan siitä, että mikäli sähköajoneuvossa on esimerkiksi maadoitusvika, on täysin mahdollista, että ajoneuvon ollessa julkisessa latauspisteessä siitä aiheutuisi suuri sähköturvallisuusriski kaikille, jotka joutuvat olemaan kosketuksissa ajoneuvon kanssa. Jäähdytysjärjestelmän, erityisesti akun jäähdytysjärjestelmän katsastaminen olisi vastaajan mielestä järkevä lisä katsastukseen, koska jäähdytysjärjestelmän toimivuus voi keskeisesti lisätä akun sekä muiden korkeajännitekomponenttien elinikää, mikä on oleellinen näkökulma puhuttaessa ajoneuvon päästöistä – jos ajoneuvon akkua joudutaan vaihtamaan usein, sen päästöt

moninkertaistuvat. (14.) Ranskan vastaus viittaa samaan. Ranskassa ei tarkasteta akun kuntoa millään tavalla, mutta vastaaja toteaa, että tämä olisi käytännössä varsin haastavaa toteuttaa katsastuksessa. (17.)

Belgia on maista ainoa, joka on sitä mieltä, että säädökset ovat ajan tasalla (19). Muut maat ovat selkeästi eri mieltä, ja ainoa maa, jolta ei saatu vastausta tähän kysymykseen oli Luxemburg.

9.6 Muita huomioita

Kroatia on sitä mieltä, että arvokkain ohje katsastajille on tällä hetkellä se, että oransseihin kaapeleihin ei kosketa ja niille suoritetaan vain silmämääräinen tarkastus esimerkiksi sen varalta, että eristevaurioita ei ole näkyvillä (16). Kiina on asiasta samoilla linjoilla, joskin asian lähestymiskulma on täysin vastakkainen. Kiinan mielestä ongelmia esiintyy nimenomaan kaapeleissa ja liittimissä esimerkiksi hapettumana tai muuna resistanssin nousuna juuri sellaisissa paikoissa, mihin ei ole helppoa pääsyä. Kiina ei ehdota minkään näköistä ratkaisua tähän ongelmaan, mutta tämäkin olisi syytä huomioida jollain tavalla katsastuksessa. (20.)

Kysymyksiin, joihin ei CITA:n kautta saatu vastausta, saatiin kuitenkin lopulta vastauksia Kiinasta, Ranskasta ja Saksasta.

9.7 Sähköajoneuvojen huollolle vaadittava koulutus ja mahdolliset lisenssit

Kiinan vastauksen perusteella mitään maailmanlaajuisia määräyksiä koulutusvaatimuksille ei ole ja jopa Euroopan sisällä työturvallisuussäädökset ovat erilaisia. Jokaisella maalla on omat toimintatapansa, mutta jotkut maat ovat kieltäytyneet ottamasta asiaan minkäänlaista kantaa. Kaikki koulutukset pohjautuvat hyväksi todettuihin Saksan säädöksiin, mutta niihin vaikuttavat kansalliset seikat, esimerkiksi sähköverkon jännitteiden erilaisuus.

Saksassa jokaisella työntekijällä, joka työskentelee sähköajoneuvon huollossa, on oltava vähintään ensimmäisen tason koulutus, joka perustuu säännökseen DGUV 200-005.

Ensimmäisellä tasolla työntekijällä on oikeus huoltaa sähköautoja, joissa on jännitteellinen korkeajännitejärjestelmä. Toisen ja kolmannen tason koulutukset kummatkin vaativat, että työstettävä järjestelmä on tehty jännitteettömäksi. (20.)

Ranskassa on voimassa kansallinen standardi UTE C18-550, jossa spesifioidaan tiedon ja osaamisen tarve sekä harjoittelun vähimmäisaika, jotta henkilö voi saada luvan työntantajalta työskennellä täyssähkö- ja hybridiajoneuvojen parissa. Tässä koulutuksessa käydään läpi sähkön aiheuttamia vaaroja, mutta ei millään tavalla sitä, miten tiettyä ajoneuvoa oikeasti pitäisi korjata. Harjoittelun pituus riippuu siitä, kuinka vaarallisia työtehtävät ovat. On aivan eri asia oikeasti huoltaa sähköajoneuvoja kuin katsastaa niitä ja tämä näkyy koulutuksen pituudessa. Katsastajalle tällainen koulutus kestää kaksi päivää, ja se sisältää käytännön kokeen sekä teoreettisen kokeen, koska katsastajan työlle ei ole oleellista saavuttaa huoltoon tarvittavia taitoja. (17.)

Saksa ei vastannut tähän kysymykseen oikeastaan mitään muuta kuin että ”katsastusorganisaatiot” pitävät huolta siitä, että katsastajilla on tarvittava koulutus. Kiina vastasi enemmänkin Saksan puolesta tähän kysymykseen. (22.)

9.8 Huoltotilan sähköturvallisuus

Kiinan vastauksen perusteella kaikkien lattioiden ja työvälineiden on noudatettava Saksan DGUV 200-005 -määräystä. Tällaisia työvälineitä ovat esimerkiksi hanskat ja eristetyt työkalut. (20.)

Ranskassa tietty laitteisto on pakollista, mutta riippuu suoritettavan työn laadusta. Henkilökohtainen suojarustus on oleellisessa osassa, kuten esimerkiksi maskit ja hanskat, mutta myös eristysalustat, riippulukot, hätäpuhelinjärjestelmä, palontorjuntajärjestelmä ja sammutusjärjestelmä ovat pakollisia työtilassa olevia varusteita. (17.)

Saksassa ei ole mitään erityisiä määräyksiä, joita katsastustilan pitäisi noudattaa. ”Katsastajien kiinnostuksen minimoimiseksi” heillä ei ole myöskään lupaa tehdä huoltotöitä ajoneuvoille tai niiden osille. (22.)

9.9 Ajoneuvon korjaukseen soveltuvat varaosat ja muut komponentit

Kiinan vastauksen perusteella jokaisella osalla, jota käytetään ajoneuvon varaosana, on oltava E-hyväksyntä. Varaosan toimittajan on kyettävä esittämään tarpeelliset dokumentit, jotka todistavat, että ajoneuvotyypille spesifiset hyväksynät täyttyvät. Jos osa poikkeaa näiden dokumenttien osalta alkuperäisestä, on tehtävä muutos ajoneuvon ”operating license” -lisenssiin. Joidenkin osien kohdalla kuitenkin riittää, että varaosan valmistaja vain toteaa yhteensopivuuden kyseiseen ajoneuvoon. Tällaisia varaosia ovat esimerkiksi renkaat. Keskeiset varaosat, kuten uusi korkeajänniteakku, tai mikä tahansa muu komponentti, joka liittyy RESS-järjestelmään ja joka ei ole alkuperäisvaraosa aiheuttaa täydellisen ”uudelleenhyväksynnän” tarpeen koko muutettavalle järjestelmälle. Huolto voi päättää käyttää vähäpätöisten komponenttien kohdalla myös muunlaisia varaosia, jos esimerkiksi alkuperäisosaa ei ole saatavilla, mutta tällöinkin uuden osan pitäisi olla kaikin tavoin parempi ja turvallisempi kuin alkuperäinen osa. (20.)

Ranskasta ei saatu vastausta siihen, millaiset osat olisivat sallittuja huollossa, koska vastannut henkilö vetosi siihen, että katsastajat eivät saa tehdä huoltotöitä. Vastauksessa kuitenkin otettiin esille erityisen suurena riskinä se, että erilaisia akkukemioita sekoitetaan keskenään tai akunhallintajärjestelmään kytketään akku, jonka kemia ei vastaa alkuperäistä akkua. Tällainen aiheuttaisi suuren tulipaloriskin. (17.)

Saksan vastauksessa puhutaan siitä, että jokainen ajoneuvo sekä sen osat ovat tyyppi-hyväksytyjä. Voimassa olevia säädöksiä ovat esimerkiksi:

- 1) Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) sääntö nro 34 – Ajoneuvojen hyväksyntää palovaaran torjumisen osalta koskevat yhdenmukaiset vaatimukset [2016/1428]
- 2) Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) sääntö nro 10 – Yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähkömagneettisen yhteensopivuuden osalta

- 3) Komission direktiivi 2009/1/EY, annettu 7 päivänä tammikuuta 2009, moottoriajoneuvojen tyyppihyväksynnästä niiden uudelleenkäytettävyyden, kierrätettävyyden ja hyödynnettävyyden osalta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/64/EY muuttamisesta sen mukauttamiseksi tekniseen kehitykseen (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti)

- 4) Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) sääntö nro 100 – Yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimajärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta.

Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jokainen osa, joka vaihdetaan eikä ole alkuperäisvaraosa (OEM), tarvitsee hyväksynnän siitä, että se täyttää samat vaatimukset kuin OEM-varaosa (Original Equipment Manufacturer). Muussa tapauksessa ajoneuvoa ei voida enää lukea tyyppihyväksytyksi. (22.)

10 Asiantuntijoiden haastattelut Suomessa

Eräänä työn tavoitteena oli selvittää sähköautojen katsastukseen liittyviä haasteita Suomessa. Tämänhetkisten havaintojen perusteella asiat eivät kuitenkaan ole kovin huonosti. Suomen päässä lähestyttiin monia eri katsastusyriityksiä, mutta useista lähestymisistä huolimatta ainoastaan Helppokatsastus Oy, A-katsastus sekä K1 Katsastus vastasivat kysymyksiin. Timo Ojala K1 Katsastukselta toimi tosin välikätenä kysymysten suhteen, joihin lopullinen vastaus saatiin hybridi- ja sähköajoneuvojen neuvottelukunnasta. Liitteenä 2 on tarkastuslomake, joka on peräisin hybridi- ja sähköajoneuvojen neuvottelukunnalta. Muilta katsastusyriityksiltä ei joko tullut vastausta alun perinkään, tai sitten vastaaminen lopetettiin, kun haastattelujen aikatauluista yritettiin sopia. Katsastuspuolen näkökulmaa saatiin myös Jarno Östlundilta, joka on toiminut katsastajana, joten tietoa saatiin riittävästi vastausten vähäisyydestä huolimatta. Katsastusyriitysten lisäksi haastateltiin myös sähköautohuoltofirmoista Daniel Österiä Dala's EV Repairilta sekä Ismo Paavola Pistokehybridiltä. Huollon näkökulmasta vastasi myös Mikko Vauhkala, joka on autoasentajan työnsä puolesta perillä myös sähköajoneuvojen vikatilanteista. Asiantuntijoita lähestyttiin liitteessä 1 luetelluilla kysymyksillä.

Jarno Östlundin mielestä sähköauton korjauksessa tai teknisissä muutoksissa on oleellista huomioida käyttövoiman eron aiheuttama muutos myös katsastuksessa ja osien luonteessa. Esimerkiksi sähkömoottoria ei voi verrata suoraan polttomoottoriin pelkän tehonsa perusteella, koska se kykenee antamaan paljon suuremman tehon jo matalilla kierroksilla, toisin kuin polttomoottori. Rakennemuutoksesta ilmi käyvä nykyinen 20 % tehonlisäyksen raja-arvo on siis syytä kyseenalaistaa, jos kyseessä on sähkömoottorin vaihto tehokkaampaan. Tällaisen kyseenalaistamisen suorittaminen vaatisi kuitenkin muidenkin asioiden pohdintaa kuin absoluuttisen "0–100 km/h-kiihtyvyyden" tutkimista, kuten sähkömoottorin reagointinopeuden analysointia tarkoittaen sitä, kuinka nopeasti sähkömoottorilla kestää saavuttaa kierroksia lähtiessään pyörimään. On tärkeää pohtia, miten sähkömoottori voitaisiin edes kategorisoida niin, että voitaisiin valita tilalle joku toinen samanlaisella "vasteella" oleva sähkömoottori. Se, miten auton ohjausjärjestelmät suhtautuisivat kolmannen osapuolen valmistamaan sähkömoottoriin, on taas ihan oma asiansa. Voi olla, että tietyt ajoneuvomerkit ovat hyvinkin nirsoja edes hyväksymään elektronisesti mitään muuta kuin alkuperäistä vastaavaa ajomoottoria.

Mikäli autoon lähdetään tekemään esimerkiksi akun vaihtoa, on elektronisten piirteiden ohella huomioitava uuden akun aiheuttama painon lisäys tai painon vähenemä, jonka jälkeen ajoneuvolle pitäisi merkitä uusi omamassa. Oleellisempaa olisi kuitenkin se, miten akku on kiinnitetty ajoneuvoon ja miten voidaan todeta, että se on käytössä turvallinen. Akkupaketti sekä sitä koskeva kaapelointi on usein niin piilossa, ettei siihen edes pääse käsiksi normaalissa määräaikaikatsastuksessa, eikä siihen olisi edes aikaa.

Sähköauto on Östlundin mukaan tyypillisesti katsastettu koskematta korkeajännitejohtiimiin ja jokainen katsastusmies sitten oman osaamisensa ohella on pyrkinyt käymään läpi silmämääräisesti komponentteja, jotka mieltävät osaksi korkeajännitejärjestelmää. Komponenttien suhteen ei ole muuta voinut tehdä kuin silmämääräisesti tarkastella niiden pinnallista kuntoa. Toisaalta, jos niissä olisikin ollut jotain vikaa, ei sillekään voi oikein tehdä mitään, koska määräyksiä hylkäämiselle ei ole ollut. Östlund pohtii, että voisiko korkeajännitteisiin voimalinjoihin suoraan soveltaa katsastuksen arviointiperusteiden kohdassa C14.2 (35) mainittua kohtaa akun kiinnityksestä ja sähköjärjestelmästä, vai pitäisikö asiaa pohtia uudelleen.

Oleellinen kysymys on myös, että mitä katsastusmiehen pitäisi tehdä ennen kuin varsinaisia täsmentäviä määräyksiä on luotu, jos esimerkiksi ajoneuvo ilmoittaa korkeajännitejärjestelmässä olevasta viasta. Östlund pohtii arvosteluperusteiden kohtaa C12.4 turvajärjestelmistä. Voitaisiinko tätä kohtaa soveltaa esimerkiksi siihen, että jos sähköajoneuvossa palaa ”Check EV” -valo, ajoneuvo automaattisesti hylättäisiin? On siis pohdittava, voidaanko tämän merkkivalon palaminen aina rinnastaa mainitun kaltaiseen olemassa olevan turvajärjestelmän vikaan.

Mikäli sähköautoon olisi tehty epäkelpo korjaustoimenpide esimerkiksi niin, että ajoneuvon jäähdytysrivallinen kohta olisi vaihdettu tasaiseksi levyksi, se menisi Östlundin mukaan 99 %:n varmuudella läpi katsastuksesta sellaisenaan, koska sitä ei olisi mahdollista havaita. Tämä voi aiheuttaa erityisiä ongelmia sähköajoneuvoissa, joissa lämmönhallinta on sähköisten järjestelmien takia paljon keskeisemmässä osassa kuin polttomoottori-käyttöisessä ajoneuvossa. Vastaavia korjausyrityksiä voi esiintyä kuitenkin monessa muussakin paikassa varsinkin, kun sähköajoneuvojen tekniikka on uutta. Koska sähköajoneuvolle ei suoriteta mitään diagnostisia toimenpiteitä, ei edes vikakoodien lukua

katsastuksessa, mahdolliset hetkelliset vikakoodit jäävät myös tällaisten korjausten osalta täysin huomaamatta.

Östlundin mukaan katsastus pitää tehdä vaatimukset etusijalla. Jos jokin uusi mittaus vie lisää aikaa, sitten se vie, eikä se ole hänelle ongelma. Ainoa idea, jota Östlund on itse miettinyt esimerkiksi ajoakustojen fyysisen kunnon seurantaan, olisi jonkinlainen sinetti, joka asennettaisiin ajoneuvon akkuun siinä toivossa, että akkua ei voisi avata ilman sinetin rikkoutumista. Näin voitaisiin estää epäkelpoja korjausyrytyksiä korkeajännitteiselle ajoakustolle. Hän kuitenkin toteaa, että tällainen olisi käytännössä äärimmäisen haastavaa toteuttaa.

Vaikka sähköautopalot ovatkin tällä hetkellä harvinaisia, ongelmalliseksi voi muodostua se, jos lähes 20 vuotta vanhaan ajoneuvoon lähdetään asentamaan kyseenalaisella ammattitaidolla omia akustoja, tai jopa muokataan alkuperäistä akustoa sähköisesti tai kemiallisesti. Siinä, missä perinteiseen polttomoottoriin tehdyt modifikaatiot eivät välttämättä aiheuta suurempaa henkilövahinkoa, voi sähköautossa piillä räjähdysmäisen palon vaara. Toistaiseksi Östlund ei ole kuitenkaan katsastuksessa havainnut yhtäkään sähköautolle spesifistä vikaa, mutta myöntää että ongelmia saattaa tulla, kun autokanta vanhenee. Tähän asti hän on pyrkinyt katsastamaan ajoneuvot koskematta korkeajännitejohtimiin tai silmämääräisesti epäilyttäviin kohteisiin, eikä ongelmia ole esiintynyt.

Yhteenvetona Östlund tiivistää, että painon muutos olisi syytä tarkastaa katsastuksessa aina isompien komponenttien vaihdon yhteydessä. Teho-suorituskyky-suhteen valvonta on oleellista siltä osin, miten auto käyttäytyy suhteessa tehtyihin muutoksiin. Lisäksi olisi hyvä kontrolloida tehtyjen asennusten turvallisuutta esimerkiksi moottoreiden, akuston ja BMS:n yhteensopivuuden näkökulmasta. Alustavasti Östlund ehdottaa, että kaikille akuston, moottorien ja muiden korkeajännitekomponenttien muutoksille vaadittaisiin muutoskatsastus, lukuun ottamatta verkon yli tapahtuvia järjestelmäpäivityksiä, koska tällöin voidaan lähteä liikkeelle siitä, että valmistaja itse tietää ajoneuvonsa olevan turvallinen. Kun tilanne on kehittynyt ja oikeasti aletaan nähdä, minkälaisia virityksiä teillä liikkuu, voitaisiin sitten höllentää tai vastaavasti tiukentaa vaatimuksia. (23.)

Ilkka Vento Helppokatsastuksesta pohdiskelee katsastukseen liittyen pitkälti samoja kysymyksiä ja esittää samoja näkemyksiä kuin Östlund. Hän epäroi, onko silmämääräinen

tarkastus riittävä etenkin tulevaisuudessa vanhemmille ajoneuvoille ja kertoo, että katsastajat luottavat nykyään pitkälti siihen, että sarjavalmistetut autot ovat lähtökohtaisesti sähköturvallisia. Vento kertoo myös, että sähköturvallisuusasiat eivät ole alalla kovin hyvin hallussa ja että tämän suhteen pitäisi harkita täydennyskoulutusta. Varsinaisia ongelmia ei ole sähköajoneuvojen kanssa esiintynyt katsastuksessa, mutta joskus hybridi-ajoneuvoja katsastaessa aiheutuu ongelmia, kun päästöttestä tehdessä auton polttomoottori ei välttämättä lähde itsestään käyntiin ilman erikoismenettelyä. Poikkeavana näkökulmana hän mainitsee vaaratilanteesta, jossa sähkö- tai hybridi-ajoneuvo voi jäädä aktiivisen ajon mahdollistavaan tilaan vahingossa. Hän mainitsee äänettömän liikkuksen olevan myös yksi vaaratekijöistä, jota ei perinteisesti ole tarvinnut lainkaan huomioida katsastustilanteessa. (24.)

A-katsastukselta alun perin haastateltiin Janne Mäkilää, mutta lopulliset vastaukset tulivat kuitenkin Ari Toivaselta, joka toimii kouluttajana A-katsastuksessa. (25). Toivanen kertoo, että katsastuksessa huomioidaan tällä hetkellä valmistajakohtaiset erityisohjeet, kuten mahdollisen huoltotilan aktivointi sekä normaalista poikkeavat mittausmenetelmät. Koska esimerkiksi akuston ja korkeajännitejohtimien sijainti voi vaihdella ajoneuvosta riippuen, aiheutuu Toivasen mielestä ongelmia esimerkiksi sellaisissa tapauksissa, kun korkeajännitejohtimet eivät olekaan jostain syystä oranssin värisiä. Tällainen tilanne voisi olla esimerkiksi omatekoisen sähköauton kohdalla relevantti ja poikkeavasta kaapelin väristä voi aiheutua epäsuora turvallisuusriski. Varsinaisessa katsastuksessa Toivanen ei kuitenkaan kerro olevan mitään varsinaisia turvallisuusriskejä. Hänen mielestään tarkastuksessa voi kuitenkin syntyä työturvallisuusriskejä esimerkiksi päästömittausta suoritettaessa, jos valmistajakohtaisia erityisohjeita ei ole tarkastuksia varten saatavilla ja esimerkiksi akuston varaustilaa on laskettava hybridi-ajoneuvon polttomoottorin käyntiin saamiseksi.

Ajoneuvon ajoakuston kiinnitykseen, komponenttien silmämääräiseen kuntoon sekä esimerkiksi jäähdytysjärjestelmän nestemäärään kiinnitetään huomioita siinä määrin, mikä on ajoneuvon rakenteita purkamatta mahdollista. Toivasen mielestä olisi kuitenkin tärkeää suorittaa jonkintasoista sähköjärjestelmien testausta niin täyssähkö- kuin hybridi-ajoneuvoillekin, jotta voitaisiin ainakin todeta mahdollisia vuotovirtoja. Hän kuitenkin muistuttaa, että mittaukset eivät saisi viedä hirveästi aikaa ja mahdolliseksi ongelmaksi saattaa muodostua markkinoilla olevien laitteiden yhteensopivuus valmistajakohtaisten

järjestelmien kanssa. Toivanen kokee, ettei katsastuksessa ole ollut varsinaista turvatomuuden tunnetta sähköajoneuvoja katsastaessa. Muutoskatsastusvelvollisuutta hän ehdottaa sähköajoneuvoille aina, kun niiden teknisiä ominaisuuksia muutettaisiin esimerkiksi latausjärjestelmän, lisätehon tai massan osalta. (26.)

Daniel Öster Dala's EV Repairilta huomauttaa, että missä tahansa tilanteessa hybridiajoneuvo on itse asiassa vaarallisempi kuin täyssähköajoneuvo, sillä hybridiajoneuvossa on suuri määrä helposti syttyvää polttoainetta joskus hyvinkin lähellä korkeajänniteakustoa. Tällaisen ajoneuvon kohdalla sähköturvallisuus olisi siis poikkeuksellisen tärkeää. Tällä hetkellä sähköajoneuvojen huoltoon ei kuitenkaan vaadita erityistä sähköpätevyyttä, vaikka ajoneuvojen akustoissa olisi useita satoja voltteja jännitettä. Tämäkin riippuu Österin mukaan ajoneuvosta, esimerkiksi Nissan Leaf on mahdollista huoltaa niin, että koskaan ei tavata yli 200 voltin jännitteitä. Porsche Taycanissa vastaavasti joudutaan aina työskentelemään 800 voltin parissa. Öster pohtii, että voisi olla syytä vaatia sähköpätevyyttä tulevaisuudessa myös sähköajoneuvojen huoltoon, mikäli näin korkeat jännitteet muodostuvat normiksi. Hänen mukaansa voisi olla hyvinkin mahdollista, että pian nähtäisiin jo yli tuhannen voltin akustoilla varustettuja sähköajoneuvoja.

Öster kuvailee, miten tärkeää huoltotilanteessa on käyttää oikeanlaisia suojarusteita ja merkintöjä korkeajännitteisten komponenttien ympärillä. Tämän merkitys korostuu, jos työskennellään useamman henkilön kanssa saman katon alla. Yleisimpiä sähköajoneuvoihin kohdistuvia vikoja Öster luettelee jonkin verran ja niitä ovat esimerkiksi sensoriviat, latausporttien hajoaminen niiden epäpuhtauden vuoksi, laturiviat, resistiivisten lämmitinten viat sekä akkuviat. Kaikesta huolimatta sähköautot ovat erittäin luotettavia. Öster kertoo, että Nissan Leafin sähkömoottorin tyyppillinen huoltoväli on 500 000 km, jolloin tulisi tarkastaa laakereiden väljyys. Hän kuitenkin väittää, että kyseisen ajoneuvonmallin sähkömoottoreilla pystyy helposti ajamaan 1 000 000 kilometriä ongelmitta, mutta huomauttaa myös, että tilanne ei ole sama kaikilla sähköautovalmistajilla. Latausvirtapiirit ovat sähköautoissa kovalla rasituksella, mutta nekin hajoavat Österin mukaan vain noin kymmenen vuoden välein ja ovat kohtuullisen halpoja huoltaa.

Auto on hyvin tietoinen omista vioistaan ja jos vika on riittävän kriittinen, ajoneuvo katkaisee automaattisesti korkeajännitteen kaikkialta. Lievemässä tapauksessa ajoneuvo voi myös rajoittaa virrankäyttöään ja mennä niin sanottuun "limp modeen", joka

mahdollistaa vähintäänkin ajoneuvon siirtämisen turvallisempaan paikkaan pienemmällä teholla kuin normaalisti. Esimerkkejä edellä mainituista vikatilanteista olisivat esimerkiksi akun ylikuumentuminen, jolloin ajoneuvo automaattisesti rajoittaa akusta otettavan virran määrää, jotta se jäähtyisi ollessaan pienemmällä rasituksella. Toiseksi esimerkiksi Öster esittää eristysvastusmittauksen liian matalan resistanssin, jolloin kojetauluun syttyy välittömästi ”Check EV System”-merkkivalo. Yleisellä tasolla Öster on toistuvasti sitä mieltä, että sähköautoa on suorastaan ”käsittämättömän vaikeaa” korjata väärin niin, että mitään todellista riskiä muodostuisi missään vaiheessa, koska auton omat turvajärjestelmät ovat niin hyviä. Samasta syystä sähköiskun saaminen on hänen mielestään erittäin epätodennäköistä. Akun kotelointi on erittäin kovatekoinen ja jopa siinä vaiheessa, kun akku lävistyy, se hyvin todennäköisesti kykenee pitämään aiheutuneen tulipalon sisällään. Tulipalon voimakkuuskin tosin riippuu Österin mukaan akkukemiasta, joka vaihtelee ajoneuvoittain. Kaapelit ovat hyvin suojattuja mekaanisesti sekä ohjelmistollisesti, sillä välittömästi oikosulun tapahtuessa ajoneuvo katkaisee automaattisesti korkeajännitteen. Österin mielestä ei ole minkäänlaista tarvetta tarkastaa kaapeleita, jotka ovat piilossa muovisessa koteloinnissaan, koska pelkkä vikavalon tarkastus riittää. Kokemus erilaisten sähköajoneuvojen huollosta siirtyy Österin mielestä ajoneuvotyypistä, mallista sekä merkistä toiseen melko hyvin, koska sähköiset ajovoimajärjestelmät ovat teknisesti paljon yksinkertaisempia kuin polttomoottorit. Hänen mielestään ajoneuvokohtaista huolto-ohjetta seuraamalla on helppo varmistaa välineiden ja suojavaarusteiden oikeellisuus, eivätkä tässäkään tilanteessa ajoneuvon turvajärjestelmät jätä pulaan.

Tällä hetkellä kolmannen osapuolen valmistajan varaosia ei ole sähköajoneuvoihin paljoakaan tarjolla. Tästä syystä Österin mukaan kolmannen osapuolen huollot käyttävät lähes kokonaan käytettyjä OEM-varaosa (Original Equipment Manufacturer) romutetuista autoista, koska uudet varaosat ovat merkittävästi kalliimpia. Kolmannen osapuolen akkuja ei ole hänen mukaansa saatavilla ja niin kauan kuin varaosat ovat suoraan koskemattomia alkuperäisiä, Öster ei kannata ajatusta siitä, että ajoneuvo pitäisi muutoskatsastaa tällaisten osavaihtojen yhteydessä. Hän tosin mainitsee, että 5–10 vuoden kulluttua voisi olla hyödyllistä palata tarkastelemaan asiaa siltä varalta, että markkinoille olisi saapunut epäkelvoja korjausvaraosia, jotka eivät ole OEM-tasoisia. Öster suosittelee, että ajoneuvo pitäisi muutoskatsastaa akunvaihdon yhteydessä siksi, että ajoneuvon paino muuttuu. Hän antaa esimerkiksi Nissan Leafin akkupäivityksen, jossa 24 kWh:n akku vaihdetaan 30 kWh:n akkuun. Tällöin ajoneuvon akun paino nousee 272

kilogrammasta 294 kilogrammaan ja tämä pitäisi Österin mukaan kirjata ajoneuvon rekisteriotteen tekniseen osaan.

Öster kertoo omakohtaisesti nähneensä joidenkin ihmisten rakentavan omia akustojaan Nissan Leafiin. Hän kertoo, että tällainen työ vaatii hyvää sähkötekniistä sekä mekaanista osaamista, koska akustolle on luotava alkuperäisestä poikkeavia kiinnikkeitä ja lisäksi on ymmärrettävä akkukemiaa. On myös riskinä, että akun sääsuojaus menetetään, jos sitä ei osata oikeaoppisesti uusida. Ajoneuvon akunhallintajärjestelmä (BMS) on ohjelmoitu vain alkuperäiselle akkukemialle ja mikäli kemia poikkeaa alkuperäisestä, voi aiheutua riski akun ylläpitämiselle. Vastaavasti kaikkien järjestelmien toiminta, joka perustuu esimerkiksi tietyn kynnyksarvon ylittymiseen akuston lämpötilan, resistanssin, jännitteen tai virran suhteen perustuu edelleen alkuperäiseen akkukemiaan pohjautuviin raja-arvoihin, eikä näin ollen välttämättä pidä lainkaan paikkaansa poikkeavan akkukemian kohdalla. Öster kuitenkin mainitsee myös, että tulevaisuudessa tullaan varmasti kehittämään myös uudenlaisia turvallisempia akkukemioita, joten akkukemian vaihto itsessään tulisi kuitenkin sallia, mikäli se on tehty oikeaoppisesti. Hänen mukaansa on parempi keskittyä seuraamaan tilannetta ennen hätäkohtien kieltojen tekemistä. Jos ajoneuvoon kuitenkin asennetaan isompi akusto niin, että ei käytetä alkuperäisiä kiinnityspisteitä ja kytketään esimerkiksi kaksi akkua rinnan, Öster on sitä mieltä, että kyseisessä tilanteessa ajoneuvo tulisi aina muutokatsastaa.

Kun ajoakkuja kytketään rinnan, olisi erittäin tärkeää, että liitos akkujen välillä olisi tehty oikeaoppisesti sekä sähköturvallisesti. Österin mukaan tällainen modifikaatio on kuitenkin erittäin vaikeaa ja jopa mahdotonta huomata katsastuksessa ja vastaavissa tilanteissa ajoneuvo tulisi hänen mukaansa katsastaa jossain ulkoisessa hyväksytyssä huoltoilikkeessä, jonka antaman todistuksen perusteella ajoneuvo saataisiin katsastettua hyväksytyksi. Kyseisessä modifikaatiossa olisi esimerkiksi tärkeää asentaa toinen kontaktoripari toisen akun ohelle, tai muuten se on hengenvaarallinen. Myös muissa isommissa sähköisissä muutoksissa Öster on sitä mieltä, että katsastusasemalla tapahtuvat tarkastukset eivät ole sähköturvallisuuden kannalta riittäviä toteamaan ajoneuvo turvalliseksi liikenteessä, jolloin olisi aina järkevää suorittaa tällaisten toimenpiteiden hyväksyntä esimerkiksi hyväksytyssä sähköautojen huoltoilikkeessä. Österin mielestä sähkömoottorin vaihdolle ei ole järkevää määritellä tehorojoja, koska ajoneuvon viritys tapahtuu pelkästään ohjelmistolla. Hän antaa esimerkiksi Teslan, joka tarjoaa samalla sähkömoottorilla

varustettuja ajoneuvoja eri tehoisina. Joskus ajoneuvoihin saatetaan vaihtaa elektronisia komponentteja tehokkuuden lisäämiseksi, mutta suurilta osin viritys tapahtuu täysin ohjelmistolla eikä sähkömoottori liity prosessiin mitenkään. Itse moottori ei siis ole sähköautossa virityksen kohde, vaan ajovoimajärjestelmän elektroniset komponentit yhdessä ohjelmiston kanssa.

Öster ei itse tee varsinaisia modifikaatioita ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmiin, koska hän käyttää aina OEM-varaosia. Asentaessaan isompaa akustoa ajoneuvoon hän joutuu käyttämään tietyissä tilanteissa CAN-väylään asennettavia adaptereja, jotka muokkaavat akuston BMS:n ja ajoneuvon muiden moduulien välistä digitaalista kommunikaatiota. CAN-väylä on matalajännitteinen automaatiöväylä, joka osallistuu ajoneuvossa vain tiedonsiirtoon. Tämä ei siis ole korkeajännitejärjestelmän modifiointia, vaikka se liittyykin korkeajännitteiseen komponenttiin. On syytä erotella CAN-väylän kautta tapahtuvat muutokset ajoneuvoon ja korkeajännitejärjestelmän sisäiset modifikaatiot, koska CAN-väylän muutoksia ei ole syytä rajoittaa. Öster on myös suorittanut omakohtaista testailua ohjelmoimalla Nissan Leafinsa niin, että ajoneuvon jarrutusenergian talteenottojärjestelmä kytkeytyy kokonaan pois päältä. Tällä hän pyrki todentamaan sen, että ajoneuvo kykenee pysähtymään myös pelkillä jarruilla ongelmitta. Näin tapahtui. Vastaavasti jarrutusenergian talteenottojärjestelmää modifioimalla tehokkaammaksi, Öster sai kasvatettua ajoneuvon jarrutustehoa 30 kilowatilla, jonka myötä ajoneuvon jarrutusmatka lyheni. Tällaista muutosta ei katsastuksessa voida edes todeta, mutta luonnollisesti Öster on sitä mieltä, ettei suuremmasta jarrutehosta aiheutuvasta lyhyemmästä jarrutusmatkasta tulisi katsastuksessa hylätäkään.

Österin mukaan sähköajoneuvot ovat edelleen OBD2-yhteensopivia perinteisiltä ominaisuuksiltaan, kuten ABS-järjestelmän ja turvatyynyjen osalta. Jotkut koodit ovat saaneet perinteisessä OBD-järjestelmässä uuden merkityksen sähköajoneuvoissa, jolloin epä-tarkkuudesta huolimatta myös muista järjestelmistä voi olla mahdollista saada ”perinteisiä” vikakoodeja. Kunnolliseen diagnostiikkaan vaaditaan kuitenkin Österin mukaan merkkikohtaisia laitteita. Hän ehdottaakin, että aina jos ajoneuvossa palaa ”Check EV System”-merkkivalo, ajoneuvo tulisi hylätä katsastuksessa, koska kyseessä on aina kohutuullisen merkittävä vika. Ei ole siis niin suurta haittaa, vaikka sähköautojen tarkempia vikakoodeja ei voitaisikaan toistaiseksi lukea katsastuksessa. (2.)

Ismo Paavola Pistokeybridiltä kertoo, että vikatilanteissa osat vaihdetaan yleensä toimivina kokonaisuuksina. Sähkömoottorin uudelleenikäily on Paavolan mukaan mahdollista, mutta erittäin harvinaista. Vastaavia töitä ovat esimerkiksi yksittäisten kennojen vaihto ajoakustoon, joka tyypillisesti kuitenkin vaihdetaan kokonaisuutena. Moottorinohjaustietokone tai invertterikin voidaan korjata komponenttitasolla tietyissä tilanteissa, vaikka osien saatavuus vaihtelee Paavolan mukaan huonosta äärimmäisen huonoon. Tyypillisesti mekaaniset viat voidaan korjata myös yksittäisiä osia vaihtamalla, kuten laakerivikojen sattuessa. On kuitenkin oleellista huomioida, mistä vika on saanut alkunsa. Paavola antaa esimerkiksi sähkömoottorin hiilien loppuun kulumisen, mikä voi aiheuttaa laakereiden läpi kulkevia pyörrevirtoja. Vianmääritys tällaisessa tilanteessa vaatii hyvää sähkötekniistä osaamista, mutta korjaus on myös tarkistettava oikeaoppisesti mittamalla. Lisäksi työ on dokumentoitava riittävän tarkasti sähkötekniikan periaatteiden mukaisesti.

Ajoneuvo on Paavolan mukaan yleensä hyvin tietoinen omista vikatilanteistaan, esimerkiksi maavuotojen sattuessa. Lisäksi akussa ja tehoelektronikassa on lämpötila-anturit lämpötilan valvonnan vuoksi. Suojaukset ovat moninkertaisia ja yleensä oikosulkuja varten on myös omat sulakkeensa. Korkeajännitevirtapiirit katkaistaan tyypillisesti pääkontaktoreista, mutta on muistettava, että akku pysyy jännitteellisenä sisältä aina. Paavolan mukaan korkeajännitejärjestelmää ei ole kovinkaan helppo korjata väärin, jos asentaja ymmärtää sähkötekniikan perusteet ja on sähköalan ammattilainen. Johtimet ovat hyvin suojattuja ja niitä on vaikea kytkeä väärin akussa tai muualla, vaikka akusto ja jännitteelliset osat olisivat avattuina. Jännitteelliset osat ovat lisäksi kosketussuojattuja. Paavolan mukaan ajoneuvon ajoakusto on tyypillisesti suljettu tiivis kotelo, osassa on erillinen lujitekuori ja teräskehikko. Joissain ajoakustoissa on peltikuori, joka ajan kanssa ruostuu, mutta Paavolan mukaan sekin kestäisi minimissään noin 20 vuotta.

Tyypillisiä kotelointiin liittyviä ongelmia ovat kuitenkin olleet sähkökemiallisesta reaktiosta johtuva korrosio, jonka johdosta kiinnitysruuveja on jumiutunut kiinni niin, että ne katkeavat irrotusyrityksen yhteydessä. Paavolan mukaan kolaroitujen autojen pohjassa olevat akut ovat kuitenkin olleet erittäin hyvin suojattuja alta ja sivuilta päin tulevia iskuja vastaan ja lähes poikkeuksetta itse akuston kennot ovat säilyneet vahingoittumattomina. Hybridiajoneuvoissa akku on usein takapenkin alla ja on ilmajäähdytteinen, joka Paavolan mukaan altistaa tällaisen akuston helpommin ilmakehän kosteudesta aiheutuille

korroosiovioille. Korkeajännitekaapelit ovat Paavolan mukaan lähtökohtaisesti laadukkaita ja hyvällä suojakuorella varustettuja ja osan päällä on vielä erillinen suojus, jonka kuntoa valvotaan aktiivisella järjestelmällä. Kaapeleita ei pysty edes määräaikaishuollossa tarkistamaan, koska ne on suojattu ja ovat täten piilossa. Oleellista on toki tarkistaa pohja ja pohjan suojamuovien kunto sekä muutenkin silmämääräisesti korin kunto. Paavolan mielestä katsastuksessa olisi kuitenkin oleellista keskittyä edelleen niin sanottuihin ”perinteisiin” kohteisiin, kuten esimerkiksi jarrujen ja valojen toimintaan. Esimerkkinä hän antaa vielä sen, että jarruviat ovat sähköajoneuvoissa paljon yleisempiä kuin polttomoottorikäyttöisissä, koska perinteisten jarrujen sijaan käytetään regeneroivaa jarrutusta. Näin ollen jarrut saattavat jumiutua ja jarruhuoltoa pitäisi korostaa määräaikaishuollossa tehtäväksi.

Mikäli silmämääräisesti pohjan suojamuovit ja rakenteet ovat paikoillaan ja ehjiä, voidaan Paavolan mielestä olettaa, että myös tekniikka niiden alla on ehjää. Mikäli suojuksia selkeästi puuttuu, tai mittaristossa on vikailmoituksia, ajoneuvo tulisi asettaa ajokieltoon, kunnes viat ja puutteet on korjattu. Paavolan mielestä valvova elektroniikka ja ohjelmisto sen takana on niin hyvää, että kojelaudan vikavalojen tarkastus katsastuksessa riittää.

Ajomoottorin toimintaa ja ajoneuvon sähköistä kuntoa valvotaan useilla eri takaisinkytkennöillä jatkuvasti. Esimerkiksi tilanteessa, jossa moottori olisi mekaanisesti jumissa, ei oikosulkutilanne ehtisi aiheuttaa vauriota, koska sähkömoottorin ohjausjärjestelmä ehtii saada tiedon moottorin lukkiutumisesta sen asennontunnistimelta ennen kuin varsinaista vauriota pääteasteelle ehtii syntyä. Virta-antureiden avulla voidaan myös havaita ylisuuria virtoja eri puolilla korkeajännitejärjestelmää ja katkaista välittömästi virta kaikkialta ennen kuin vahinkoa ehtii syntyä.

Periaatteellisella tasolla sähköajoneuvot ovat toistensa kanssa hyvin samankaltaisia, mutta esimerkiksi akut poikkeavat Paavolan mukaan paljon toisistaan sisäisesti esimerkiksi jäähdytyksen, kennojen ja BMS:n toteutuksen osalta. Kaikissa sähköautoissa on invertteri, sähkömoottori ja DC-DC-muunnin, mutta osassa niitä saatetaan olla integroitu samaan pakettiin kuten esimerkiksi Tesloissa. Selkeänä erona ovat myös vaihtelevat käyttöjännitteet. Joka tapauksessa uuden auton huoltaminen vaatii aina huolto-ohjeisiin perehtymistä, eikä ”yleispätevä kokemus” välttämättä riitä. Myös mekaaniset rakenteet

poikkeavat valmistajien välillä runsaasti, esimerkiksi Paavolan mukaan jotkut ajoneuvot saattavat vaatia akuston kohdistamisen laserilla.

Kolmannen osapuolen varaosakomponenttien saatavuus on Paavolan mukaan erittäin heikkoa. Takuuhuolloissa vaihdetaan aina kokonaan uusi akku tai akun moduuli, joka on alkuperäisosa, mutta takuun ulkopuolisissa huolloissa voi olla järkevää käyttää ”B-osia”, jotka kuntotarkastetaan ohjeiden mukaisesti ennen paikalleen asennusta. Paavolan mielestä muutoskatsastusta ei pitäisi vaatia, jos ajoneuvon vaihdettaisiin esimerkiksi kapasiteetiltaan suurempi akusto, tai akuston moduuleja tai kennoja vaihdettaisiin uudempiin ja turvallisempiin malleihin. Muutoskatsastusta hän ei myöskään vaatisi, kun hybridiajoneuvoa muutetaan pistokehybridiksi. Sen sijaan lähtökohtana pitäisi Paavolan mielestä olla, että muutoksen tehnyt taho on tiedossa, koska muutoksia eivät kykene tekemään sähkötekniikkaan perehtymättömät henkilöt.

Paavola toteaa, että polttomoottorin tehon muutoksilla on suora vaikutus ajoneuvon päästöarvoihin toisin kuin sähkömoottorin. Tällä perusteella nykyiset tehorajat eivät ole päteviä sähkömoottoreille. Itse sähkömoottorin vaihdolla suurempaan ei kuitenkaan ole käytännössä mitään vaikutusta käytettävissä olevaan akselitehoon, koska moottorin tehoa rajoittaa invertterin pääteasteiden mitoitus sekä ohjelmisto, joka on tyypillisesti suojattu muutoksilta vahvasti. Lisäksi huipputehoa rajoittaa akuston virranantokyky ja tämän lisäksi akustosta otettavan virran määrää valvotaan jatkuvasti BMS:llä.

Paavola toteaa, että OBD-vikakoodeilla on mahdollista saada ajoneuvosta hyödyllistä tietoa ulos, mutta ajoneuvon omat suojalaitteet suojelevat autoa niin hyvin, että OBD-skannaus sähköturvallisuusmielessä ei ole lainkaan välttämätöntä. Myös interlock-järjestelmää ajoneuvo valvoo jatkuvasti itse sähköisesti ja mikäli piirissä on häiriö, autolla ei voi ajaa ja vikavallo syttyy. Paavola ei ole kymmenen vuoden aikana törmännyt kertaakaan kontaktorien kiinnijämähämiseen, mutta toteaa sen voivan olla täysin mahdollista. Hän kuitenkin muistuttaa, että kontaktoreja on aina kaksin kappalein: toinen negatiivisessa ajoakuston navassa ja toinen positiivisessa. (27.)

Mikko Vauhkala sen sijaan toteaa, että heidän yrityksessään oli juuri hiljattain ollut takaisinvetokampanja koskien kontaktorien kiinnijämähämistä. Kaikki kyseistä kontaktorimallia käyttävät ajoneuvot siis kutsuttiin huoltoon, jossa kontaktorit vaihdettiin

sähköturvallisuuden vuoksi uusiin. Vauhkala on pitkälti samaa mieltä asioista, mutta ei ole työskennellyt niin paljoa sähköajoneuvojen parissa, että osaisi kommentoida jotain spesifimpää. (28.)

Sähkö- ja hybridiajoneuvojen neuvottelukunnan kanssa keskustelun välikätenä toimi Timo Ojala (29). Lähtökohtaisesti neuvottelukunnassa ollaan sitä mieltä, että mahdollisia sähköajoneuvoille tehtyjä modifikaatioita ei ole mitään mahdollisuutta huomata tämänhetkisessä katsastuksessa ja neuvottelukunnasta pyydetäänkin tutustumaan Dala's EV Repairin tekemiin muutoksiin. Mikäli muutoksia kuitenkin tehdään, olisi ne syytä hyväksyttäväksi asiantuntijalla käyttäen apuna tämän työn liitteen 2 sähkö- tai hybridiajoneuvon korkeajännitejärjestelmän tarkastuslomaketta. Ainoa keino, miten katsastuksessa voitaisiin valvoa esimerkiksi sähkömoottorin tai akun vaihtoa olisi neuvottelukunnan mielestä merkkikohtaisten testauslaitteiden käyttö, joita ei ole taloudellisista syistä järkevää vaatia katsastusasemille. Mikäli ajoneuvon fyysiset ominaisuudet eivät siis muutu, muutosten valvonta katsastustilanteessa olisi lähes mahdotonta. Tilannetta voidaan verrata vastaavaan tilanteeseen, jos polttomoottorikäyttöiseen ajoneuvoon vaihdetaan suunnilleen saman näköinen moottori, joka menee läpi samoista päästötesteistä kuin edellinenkin – muutoksia ei voi havaita ilman laajempaa tarkastelua.

Määritelmä hyväksytyille asiantuntijalle olisi neuvottelukunnan mielestä esimerkiksi ajoneuvo- tai sähkötekniikan insinööri, tai ajoneuvoalan erikoisammattitutkinnon omaava henkilö, jonka osaamisalana ovat sähköajoneuvot. Vaadittavat laitteet taas sisältäisivät yleisten suojavarusteiden lisäksi eristysvastusmittarin sekä merkkikohtaisen diagnosointilaitteen. Korkeajännitejärjestelmässä ei voi neuvottelukunnan mielestä muuttaa mitään, koska on noudatettava sähköturvallisuuslainsäädäntöä verraten tehtyjä muutoksia rakennusten sähköjärjestelmiin. Neuvottelukunnan mielestä sähkömoottoreille on myös luotava omat tehorajansa.

Sähköautojen katsastus tapahtuu tällä hetkellä ilman riittävää asiantuntemusta, koska katsastajilla ei ole kokemusta sellaisten katsastamisesta. Samasta syystä neuvottelukunta epäilee, että vikoja ei löydy. Vikakoodeja ei lueta, eikä neuvottelukunnan mukaan kaikissa sähköautoissa edes ole OBD-pistoketta, kuten esimerkiksi ”Teslassa”. Muutenkin OBD-järjestelmästä luetaan vain päästöihin vaikuttavia vikakoodeja. Käytännössä mitään sähköautolle spesifistä ei tällä hetkellä ajoneuvoista tarkasteta, mutta

neuvottelukunnan mielestä tarkastaa pitäisi akun jäähdytysjärjestelmän jäähdytysnes-teen taso, potentiaalintausjohtimen kunto ja olemassaolo sekä vikavalot. Lisäksi olisi oleellista tarkastaa silmämääräisesti korkeajännitejärjestelmän komponentit esimerkiksi mekaanisilta muutoksilta. Korkeajännitteiset hybridiajoneuvot tulisi neuvottelukunnan mielestä käsitellä katsastuksessa kuin täyssähköautot.

Neuvottelukunnan mukaan vastaan on tullut myös huonosti tehtyjä sähköasennuksia, mutta todellisia esimerkkejä tällaisista ei ollut nimetä. Katsastusasemilla ei kuitenkaan ollut sattunut tapaturmia, jotka olisivat aiheutuneet huonoista valmiuksista sähköajoneu- von katsastukseen. Neuvottelukunta toteaa useaan otteeseen, että katsastajien osaa- mista pitäisi kehittää ja että määräykset eivät ole tällaisenaan riittäviä. Aina kun korkea- jännitekomponentteihin on tehty muutoksia, ajoneuvo pitäisi muutoskatsastaa ja tällai- sista muutoksista esimerkkejä voisivat olla esimerkiksi akkupäivityksestä johtuva ajoneu- von painon nousu tai lisäteho. (30.)

11 Pohdinta

Lähtökohtaisesti voidaan todeta, että kaikki tässä selvitystyössä haastatellut henkilöt ovat yhtä mieltä siitä, että määräykset eivät ole ajan tasalla sähköajoneuvojen katsastuksen suhteen. Ongelmalliseksi työssä muodostui tehorojojen määrittely, mikä poikkeaa radikaalisti valloillaan olevasta ajatusmaailmasta, kun puhutaan polttomoottoreiden tehosta. Vaikka sähkömoottorin käyttäytyminen on jo itsessään erilaista kuin polttomoottorin, ei suurin huolenaihe ole tehon tuntuminen ajon aikana, vaan korkeajännitejärjestelmän kestävyys. Sähköajoneuvon viritys tapahtuu lähes poikkeuksetta pelkällä ohjelmistolla ja esimerkiksi Teslalta on saatavilla usean eri teholuokan ajoneuvoja kuitenkin täsmälleen samalla laitteistolla. Vanhemmissa Tesloissa keskeinen tehokkuutta rajoittava tekijä oli ajoakusto, eli se, kuinka paljon akustolta uskalsi ottaa virtaa ulos. Kun akun koko kasvaa, lisääntyy myös huipputeho, jolloin autoa voidaan myydä suuremmalla kiihtyvyydellä. Näin ollen pelkän fyysisen sähkömoottorin vaihdon tehorojoissa voitaneen pysyä samoissa rajoissa kuin polttomoottoripuolellakin. (32.) Puhutaan siis siitä tehosta, minkä sähkömoottori tuottaa. Kun sähkömoottori taas tuottaa enemmän tehoa, se tarkoittaa käytännössä korkeajännitejärjestelmän muiden osien suurempaa sähköistä rasitusta, joka on syytä huomioida erikseen. Tämä on kuitenkin hyvin riippuvaista ajoneuvon tekniikasta, eikä sille voi antaa yleispätevää arvoa tuntematta ajoneuvon sähkötekniistä kokoonpanoa.

Vaikka pääasiallinen viritys tapahtuisikin ainoastaan ohjelmistopuolella, ei sovi unohtaa niitä tapauksia, joissa korkeajännitejärjestelmään on tehty fyysisiä muutoksia. Lähtökohtaisesti tällaiset muutokset vaativat niin hyvää sähkötekniistä osaamista, että ajoneuvo voi olla pahimmillaan erittäin suuri sähköturvallisuus-, tulipalo- sekä liikenneturvallisuusriski esimerkiksi ainoastaan huonosti kytketyn kaapelin takia. Ongelmalliseksi muodostui myös se, miten tällaisia muutoksia kyettäisiin määräaikaikatsastuksessa tai muutokatsastuksessa kontrolloimaan, kun korkeajännitejärjestelmä on niin hyvin piilossa ja suojattu ulkopuoliselta kosketukselta. Useat työssä haastatellut tahot olivatkin sitä mieltä, että ainoa tapa varmistua tehdyistä muutoksista on tarkastuttaa auto hyväksytyllä asiantuntijalla, jonka lausunnolla ajoneuvon saisi menemään läpi katsastuksesta. Lähtökohdana voisi olla esimerkiksi se, että mikäli sähköauto hylätään katsastuksessa sähköisen vian vuoksi, uusintakatsastuksessa olisi näytettävä dokumentti siitä, että korjaus on suoritettu asianmukaisesti ja korjaustuloksen on tarkastanut sähkötekniinen asiantuntija. Kun

puhutaan esimerkiksi korkeajänniteakuston sisäisistä muutoksista, valvonta ilman valmistajan spesifioimaa laitteistoa on katsastustilanteessa käytännössä mahdotonta, jos akku näyttäytyy ajoneuvon omille turvajärjestelmille alkuperäisenä akkuna. Akun sisälle ei voi nähdä ja ainoa haastatteluissa ilmi käynyt tapa kontrolloida akuston sisäistä kuntoa olisi jonkinlainen fyysinen sinetti, joka rikkoontuisi akkua avattaessa. Tällaisen järjestelmän toteuttaminen on kuitenkin äärimmäisen haastavaa jo pelkästään siksi, että riippuen akustosta sekä sen sijainnista, se olisi ehkä kokonaan pudotettava alas ajoneuvosta jo pelkästään sinetin asentamiseksi sekä sinetin kunnan selvittämiseksi. On kuitenkin myös kyseenalaista, että jos ajoneuvo saapuu katsastukseen, eikä siitä kyetä lukemaan vika-koodeja ”Check EV”-vikavalon palaessa, missä varsinainen vika on. Sähköturvallisuustestaus asiantuntijalla ei voi siis perustua minkään yksittäisen komponentin sähköturvallisuuteen. Ainoa järkevä ratkaisu asiaan onkin mielestäni se, että jos ajoneuvo saapuu katsastukseen ”Check EV” -vikavalon kanssa, se on aina hylättävä ja todistus sähköturvallisuudesta on esitettävä uusintakatsastuksessa. Tällainen sähköturvallisuustestaus tulee tietysti suorittaa ajoneuvovalmistajan ohjeiden mukaisesti, mutta voisi sisältää esimerkiksi silmämääräisen tarkastelun, eristysvastusmittauksen sekä suojajohdinpiirin jatkuvuusmittauksen.

Sähköajoneuvolle pitäisi suorittaa polttomootoriajoneuvosta poikkeavia mittauksia sen sähköturvallisuuden varmistamiseksi. Suojajohdinpiirin jatkuvuus on todennettava siihen soveltuvalla mittarilla ajoneuvon latausvastakkeen suojamaakoskettimen sekä ajoneuvon rungon väliltä. UNECE:n säännön numero 100 perusteella ”Kaikkien jännitteelle alttiiden kosketeltavien osien ja sähköisen alustan välisen resistanssin on oltava pienempi kuin 0,1 ohmia, kun virran voimakkuus on vähintään 0,2 ampeeria.” (1. § 5.1.2.2). Käytännössä siis mistä tahansa päin koria mitattuna suojamaakoskettimen ja rungon välinen mittaustulos olisi suuruudeltaan alle yhden ohmin suuruusluokkaa, muuten suojamaadoituksessa on jotain vikaa. Esimerkiksi kiinteistöjen käyttöönottotarkastuksissa hyväksytään korkeintaan 1–2 ohmin suuruinen arvo (32). UNECE:n säännön numero 100 liitteessä 4 neuvotaan tarkat menetelmät ajoneuvon erotusresistanssin mittaamiselle ja laskemiselle. Tämä mittaus ei ole täysin itsestään selvä, koska sen toteuttamistapa riippuu muun muassa mitattavan virtapiirin jännitealueesta sekä siitä, käytetäänkö ulkoista tasajännitelähdettä vai ajoneuvon omaa RESS-järjestelmää tasajännitelähteenä. Ajoneuvon sisäisen erotusresistanssin valvontajärjestelmän toimintakuntoisuudesta voidaan varmistua UNECE:n säännön numero 100 liitteen 5 perusteella seuraavasti: ”

Kytetään järjestelmään vastus, joka ei alenna seurattavan liittimen ja sähköisen alustan välistä erotusresistanssia vaadittua vähimmäisarvoa pienemmäksi. Varoituksen on tällöin aktivoiduttava.”

Olisi kuitenkin hieman yliampuvaa, jos erotusresistanssin mittaus pitäisi suorittaa *jokaisessa* määräaikaikatsastuksessa, koska ajoneuvon sisäinen valvontajärjestelmä on useiden vastaajien mielestä erittäin luotettava, eikä missään lähestytyssä maassa ollut sattunut minkäänlaisia sähkötapaturmia katsastuksessa. Tärkeämpää olisikin seurata ajoneuvon mittariston varoitusvaloja, kuten ”Check EV-valoa”, joka indikoi jo itsessään huomionarvoisesta viasta. Suojajohdinpiiriin jatkuvuusmittauksen voi tosin helposti toteuttaa myös katsastuksessa ja jo itsessään se on hyvä syy kyseisen mittauksen suorittamiselle. Mikäli halutaan olla hyvin varovaisia, erotusresistanssi olisi mielestäni mahdollista mitata myös katsastustilanteessa, mutta testaus vaatii jokaisen ajoneuvon huolto-ohjeeseen perehtymisen erikseen. Toinen järkevä, mutta varmasti käytännössä mahdoton mittaus olisi todeta kontaktorien todellinen irtikytkentä ajoakustosta. On riskinä, että vanhetessaan tai huonon laadun vuoksi kontaktorin kontaktit hitsaantuvat kiinni toisiinsa, tai kontaktori voi hajota vastaavalla tavalla mekaanisesti niin, että se ei irrota-kaan siihen kytkettyä korkeajännitelinjaa ajoakustosta. Varsinaista vaaraa ei kuitenkaan välttämättä syntyisi, vaikka toinen kontaktori ei irrottaisikaan, koska kontaktoreja on aina yksi pari per ajoakusto, toinen positiiviselle ja toinen negatiiviselle voimalinjalle. Lisäksi ajoneuvo varmasti huomaisi tämänkaltaisen vian itsekin. Ei voida kuitenkaan aina elää siinä uskossa, että ”kyllä ajoneuvo itse tietää vikansa”, koska vianvalvontakin voi vioittua, joten olisi tärkeää ainakin tulevaisuutta varten pyrkiä mahdollisuuksien mukaan suorittamaan enemmän mittauksia, jotka ehkä paremman standardoinnin mukana lopulta helpottuvat. Toistaiseksi kontaktorit ovat kuitenkin sen verran piilossa, että niihin pääsy on mahdotonta katsastuksen nopealla aikataululla.

Tämänhetkinen OBD-mittaus perustuu pitkälti päästöjen valvontaan niin, että ajoneuvon moottorinohjaustietokoneeseen ei ole saanut jäädä päästöihin negatiivisesti vaikuttavia vikakoodeja. OBD on alun perin suunniteltu polttomoottorikäyttöisille ajoneuvoille ja sen soveltaminen sähköajoneuvoissa on tällä hetkellä minimaalista. Hybridiajoneuvoistakin luetaan ainoastaan polttomoottorin vikakoodit. Useat lähestytyt tahot ovat kuitenkin sitä mieltä, että nykyiselläänkin OBD-järjestelmästä on saatavilla ajoneuvosta riippuen enemmän tai vähemmän tietoa, joka voisi olla sovellettavissa sähköauton

sähköturvallisuuden selvittämiseen. On syytä ymmärtää, että sähköajoneuvon liikenneturvallisuuteen vaikuttaa myös perinteisen mekaanisen kunnan lisäksi vahvasti sen korkeajännitejärjestelmän kunto.

Vaikka voidaankin olla melko varmoja siitä, että ajoneuvon sisäiset turvajärjestelmät ovat erittäin luotettavia, ei mielestäni aiheutuisi suurta lisävaivaa tai haittaa siitä, että ajoneuvolle suoritettaisiin mahdollisuuksien mukaan niin laaja skannaus kuin mahdollista. Esimerkiksi ajoakuston yksittäisten kennojen jännitebalanssista voitaisiin jo päätellä, onko ajoneuvon ajoakusto elinikänsä loppupäässä. Vaikka lähtökohtaisesti epäbalanssissa olevasta akustosta ei pitäisi aiheutua ongelmia, on riski silti olemassa, jos jostain syystä akunhallintajärjestelmässä onkin kriittistä vikaa, mistä ei välity missään vaiheessa tietoa kuljettajalle. Mikäli OBD-järjestelmästä on saatavissa tietoa esimerkiksi reaaliaikaisesta erotusresistanssilukemasta, olisi äärimmäisen fiksua verrata tätä lukemaa ulkoisesti mitattuun arvoon, jolloin voitaisiin varmistua ajoneuvon sisäisen erotusresistanssivalvonnan toimintakuntoisuudesta. Kaikissa ajoneuvoissa ei kuitenkaan välttämättä enää nykyään ole edes kyseistä OBD-porttia (27), joten testaus ei välttämättä ole toteutusmahdollisuuksiltaan realistinen.

Katsastuksessa voitaisiin noudattaa pitkälti CITA:n teknistä ohjeistusta, joka on kokonaisuutena sähköajoneuvon katsastukselle oleellisia tarkastuskohteita. Keskeistä olisi CITA:n mielestä testata muun muassa regeneroivan jarrutusjärjestelmän toiminta joko OBD:n arvoja seuraamalla tai ajokokeella. Jarrudynamometrissä järjestelmää ei voi testata, koska se ei ole käytössä niin pienillä nopeuksilla. Daniel Öster oli kuitenkin omakohtaisesti todennut, että ajoneuvo kykenee aivan hyvin pysähtymään myös ilman regeneroivaa jarrutusjärjestelmää, joten varsinaista hätätilannetta ei voi syntyä, vaikka kyseinen järjestelmä ei olisikaan toimintakuntoinen. Sähköajoneuvo tekee suurimman osan jarrutuksistaan puhtaasti regeneroivasti, joten paljon oleellisempi kysymys sähköautossa on normaalien jarrujen toiminta, jotka saattavat jäädä jumiin käyttämättömyytään. Voisi tosin myös olettaa, että koska regeneroiva jarrutus tapahtuu usein samalla sähkömoottorilla kuin ajaminenkin, että jos järjestelmän vioituttua, ajoneuvo ei myöskään liiku eteenpäin.

Kuljettajan pitäisi saada ilmoitus siitä, että ajoneuvo on aktiivisen ajon mahdollistavassa tilassa. Käytännössä olisi siis tarkistettava, että jos ajoneuvon virrat ovat kytkettyinä

päälle, kuljettajalle tulee jonkinlainen signaali, mikäli tämä yrittää poistua autosta sammuttamatta autoa. Sähköiselle ohjaustehostimelle pitäisi myös suorittaa testi, jossa varmistetaan, että ohjauspyörän kulma säilyy renkaiden suhteen samana myös sen jälkeen, kun ajoneuvosta on katkaistu virta. Lisäksi kehoitetaan tarkistamaan silmämääräisesti liittimet ja kaapelointi.

Ajoneuvo ei saisi kyetä lähtemään liikkeelle, mikäli latauskaapeli on kytkettynä ajoneuvon latausporttiin. CITA perustelee ohjeistuksessaan latauskaapelin erillistä testausta myös osittain siitä syystä, että latauskaapelin avulla on helppo testata myös tämä interlock-järjestelmä, joka estää ajoneuvon liikkumisen latauskaapelin ollessa kytkettynä. Vedotaan myös siihen, että jos ajoneuvon on tarkoitus maadoittua latauskaapelin kautta laturiin, olisi järkevää tarkistaa maadoituksen jatkuvuus myös itse kaapelista. Ohjeistuksessa kuitenkin mainitaan, että ”tarkistetaan, jos mahdollista” vedoten siihen, että katsastuksessa ei ole tällä hetkellä pakollista pitää latauskaapelia mukanaan. Latauskaapeli on kuitenkin vaihdettavissa oleva esine, jonka voi lainata toisesta ajoneuvosta ja joka ei vaikuta ajoneuvon ajonaikaiseen tai pysäköinnin aikaiseen sähköturvallisuuteen mitenkään. Saattaa myös olla, että käyttäjällä on useita latauskaapeleita, jolloin yhden kaapelin tarkastaminen ei takaa sähköturvallisuutta. Mikäli interlock-järjestelmän toimivuudesta halutaan varmistua juuri käyttämällä latauskaapelia, ei siitä huolimatta ole mielestäni järkevää pakottaa asiakasta kantamaan sellaista aina mukanaan, koska se ei varsinaisesti ole ajoneuvon komponentti, eikä ehjä auto vuoda virtaa runkoonsa muutenkaan.

Mikäli sähköajoneuvoon on vaihdettu erilainen akku kuin millainen siinä on alun perin ollut asennettuna, olisi ajoneuvo järkevää muutoksastaa. Akku on painava komponentti, joten pelkästään akun painon muutoksesta aiheutunut massan vähenemä tai kasvu on kriittistä kirjata ajoneuvon muutostietoihin. Uuden akun vaihdon yhteydessä olisi suositeltavaa esittää dokumentti siitä, että akku on asennettu oikeaoppisesti ajoneuvoon ja sen akku on todettu yhteensopivaksi akuston BMS:n kanssa. On ajateltava myös tulevaisuutta ja mahdollisesti uudenlaisia, parempia, ympäristöystävällisempiä akkukemioita, joiden vaihtamista ajoneuvoihin ei ole mitään syytä rajoittaa, vaan päinvastoin niihin pitäisi kannustaa. Vedoten kuitenkin esimerkiksi erilaisten litiumakkujen kemiallisiin eroihin, jo 0,1 voltin ylilataus voi olla kennoille erittäin haitallista ja aiheuttaa suuren vaaran akuston vaurioitumiselle. Jos BMS siis luulee edelleen lataavansa kennoja, joiden maksimilatausjännite on 0,1 voltia korkeampi kuin alkuperäisten, se tulee

lataamaan uudet kennot myös 0,1 voltia yli niiden maksimilatausjännitteen. Tämän vuoksi on kriittistä, että asiantuntija vähintään hyväksyy akuston vaihdon ja tämä todennettaisiin muutokatsastuksessa.

Samaa logiikkaa muutokatsastuksen vaatimiselle voidaan soveltaa myös minkä tahansa muun korkeajännitteisen komponentin vaihdon kanssa, mikäli se on vaihdettu ajoneuvoon niin sanotusti viritystarkoituksessa, eikä osaa myydä varsinaisesti ajoneuvospesifisenä viritysosana. Jos ja kun markkinoille joskus tulee ajoneuvospesifisiä viritysosia, jotka ovat ”plug and play” -tyylisiä, erillistä sähkötekniistä tarkastusta ei ole mielestäni järkevää tässä yhteydessä vaatia, koska todiste osan tai moduulin sähkötekniisestä sopivuudesta ajoneuvoon on tällöin osan valmistajan vastuulla, joka on tyyppihyväksyttänyt komponentin. Asia on täysin verrattavissa polttomootoreissa käytettäviin kolmannen osapuolen varaosiin. Tietysti, jos tällaisten tyyppihyväksytyjen osien asentaminen muuttaisi tässä nimenomaisessa kokoonpanossa jotain muuta ajoneuvon ominaisuutta, kuten akselitehoa, tai vaikuttaisi jollain tavalla auton olemassa oleviin ajoa vakauttaviin tai jarrutukseen liittyviin järjestelmiin, muutokatsastukseen voi olla tarvetta ihan perinteistenkin määräysten perusteella.

Useasti tullaan kuitenkin varmasti törmäämään tilanteisiin, joissa kolmannen osapuolen sähköiset komponentit eivät vain yksinkertaisesti sovi yhteen alkuperäisen auton elektronikan kanssa, jolloin käytännössä koko ajoneuvon korkeajännitesähköt pitäisi tehdä alusta loppuun uusiksi, tai korvata jonkun toisen ajoneuvon sähköjärjestelmällä. Vastavasti asiantuntija voisi sitten asentaa tämän näennäisesti sopimattoman osan ajoneuvoon omalla ammattitaidollaan ja näin varmistaa, että osa on asennettu ajoneuvoon sähköturvallisesti ajoneuvon ominaisuudet huomioon ottaen. Yksi esimerkki voisi olla esimerkiksi akuston kapasiteetin laajentaminen, jossa käytännössä on tuplattava kontaktorien määrä ja oltava varmoja akuston fyysisestä sijoittelusta. Tällainen operaatio tai vastaava vaatii aina asiantuntijan hyväksynnän samoin kuin rakennusteknisissä sähköasennuksissakin. Sen sijaan voisi olla järkevää, että varsinaisen ajovoimajärjestelmän ulkopuolisia muutoksia ei pitäisi erikseen hyväksyttää asiantuntijalla tai muutokatsastuttaa.

Yksi tällainen muutos voisi olla Ismo Paavolan mielestä esimerkiksi hybridiajoneuvon muuttaminen pistokehybridiksi, koska tässä ei varsinaisesti muuteta mitään ajoneuvon ajovoimajärjestelmässä, vaan ainoastaan näennäisesti asennetaan latausvastake

autoon. Myöskään CAN-järjestelmään kohdistuvia muutoksia ei ole järkevää rajoittaa Daniel Österin mielestä samasta syystä ja lisäksi vielä siksi, että CAN-järjestelmä on signaalitasoinen väylä, jota käytetään ainoastaan järjestelmien välisessä kommunikaatiossa eikä tässä väylässä kulje koskaan suuria jännitteitä. Mielestäni perustelut ovat järkeviä, koska muutos pistokehybridiksi ei muuta ajoneuvon luokkaa riittävästi ja se säilyy hybridinä, eivätkä sen ajo-ominaisuudet tai rakenne muutu. Sama perustelu pätee myös Österin CAN-muutoksiin, mutta tällaiset muutokset eivät saa aiheuttaa vikakoodeja mihinkään järjestelmään, johon kyseinen CAN-väylä on yhteydessä. On tärkeää lähteä liikkeelle siitä lähtökohdasta, että asennuksen tekijä tiedetään, koska sähkötekniset asennukset vaativat erinäisissä paikoissa paljonkin ammattitaitoa ja tietämystä.

Henkilöt, joita lähestyttiin tutkimuksessa, eivät tällä hetkellä tehneet muutoksia ajoneuvon korkeajännitejärjestelmään, eivätkä myöskään tienneet ketään, joka niitä tekisi. Daniel Öster osasi kertoa nähneensä jossain päin internetiä erittäin huonosti tehdyn akkupäivityksen, mutta se vain korostaa tarvetta ajoneuvon akunvaihdon hyväksyttämiseksi, mikäli akku on peräisin jostain toisesta ajoneuvosta, se on tehty kokonaan itse tai sen sisäistä rakennetta on muutettu jotenkin. Varsinaiseen ajovoimajärjestelmään ei tunnu olevan tehty muutoksia ollenkaan, mutta kokonaisia ajovoimajärjestelmiä on vaihdettu ajoneuvosta toiseen. Tätä harrastaa muun muassa YouTube-sisällöntuottaja Rich Rebuilds, joka on parhaiten tunnettu Teslojen korjausvideoista. Hän ei kuitenkaan koskaan varsinaisesti muuta minkään järjestelmän kokoonpanoa, vaan vaihtaa tehokkaammasta Teslasta kokonaisen valmiin ajovoimajärjestelmän toiseen Teslaan. (33.) Näin on menetelty myös kaikkialla muualla, missä muutoksia on tehty, eikä internetistä hakemalla tunnu olevan saatavilla yhtäkään ”plug and play” -tyyppistä muutossarjaa yhteenkään ajoneuvoon suoraan hyllystä. Ainoat muutokset, mitä ajoneuvoihin tehdään, on esimerkiksi isomman akun asennuksen yhteydessä pakollinen CAN-väylän muokkaus, eli akuston ja muiden moduulien kommunikaatiota muokataan niin, että ajoneuvo hyväksyy uuden akuston. Vaikka tämä voi kuulostaa mielenkiintoiselta lähestymistavalta, on kuitenkin ihan yleistä, että valmistaja ei itse halua antaa asiakkaalle edes mahdollisuutta jälki-asentaa ajoneuvoon suurempaa akustoa, vaikka tämä olisi valmis maksamaan akustosta mitä tahansa. Samaa ajoneuvoa saattaa kuitenkin olla myytävänä isompiakkuisena versiona, mutta jostain syystä valmistaja ei tahdo sallia isomman kapasiteetin omaavaa akustoa ajoneuvoon, vaikka akusto on muuten täysin turvallinen ja suunniteltu kyseiseen ajoneuvoon. (2.) Ajoneuvon omistajalla on oltava mahdollisuus valita, minkälainen

ajoakusto hänen ajoneuvoonsa asennetaan myös tulevaisuudessa akkukemioiden muuttuessa.

Sähköturvallisuuteen vedoten olisi viisasta, että jokaisessa katsastustilassa olisi tarjolla automaattinen defibrillaattori siltä varalta, että joku saa hengenvaarallisen sähköiskun. Sydänkohtaus voi olla joskus niin piilevä, ettei sitä huomaa itse lainkaan ja tällaisissa tilanteissa automaattinen defibrillaattori on tärkeää olla saatavilla. Kunnollisilla suojakäsineillä ja asianmukaisesti eristetyillä työkaluilla riski tällaiseen sähköiskuun on kuitenkin maalaisjärjellä melko pieni. Pelkoa sähköiskuista ei voi kuitenkaan loputtomasti käyttää tekosyynä sille, että ajoneuvoja ei katsasteta mitenkään. Tämä tuntui olevan vallitseva lähestymistapa eurooppalaisilla vastaajilla, mutta myös Suomen päässä. Usein tuli ilmi lause: ”Paras ohje katsastajille on, että ei saa koskea oransseihin kaapeleihin.” Tämä on kommenttina absurdi, koska autohan katsastutetaan nimenomaan siksi, että auton omistajan ei tarvitsisi koskea näihin oransseihin hapertuneisiin kaapeleihin paljain käsin ja pahimmassa tapauksessa menettää henkeään. Katsastajien turvallisuus on tietysti ensisijaisen tärkeää, eikä sitä sovi vähätellä missään tilanteessa, mutta samaan aikaan mikään ei estä sitä, että katsastaja kokeilee muovisella työkalulla tökkiä mahdollisuuksien mukaan näkyvissä olevia oransseja kaapeleita varmistuen siitä, että niistä ei irtoa kuorta ja kaapelit ovat malliltaan ja muodoltaan sellaisia kuin on syytä olettaa. Suurin osa kaapeleista on muutenkin piilossa, mutta niiden sijainti tietysti vaihtelee ajoneuvo-kohtaisesti. Työ ei varsinaisesti eroa perinteisestä ruostuneiden peltien koputtelusta mitenkään, mutta tietysti kaapelia on käsiteltävä muovisella, eristetyllä työkalulla. Samalla logiikalla kaikki koteloinnit, joiden alta saattaisi paljastua korkeajännitekaapeleita tai -komponentteja on kokeiltava samankaltaisella muovisella työkalulla siltä varalta, että ne ovat juuri irtoamaisillaan tai muuten rikkiäisiä.

Työn keskeisenä pääaiheena oli sähköajoneuvojen sähköturvallisuus, mutta aiheeseen perehtyessä tuli vastaan myös sähköajoneuvojen ajoakuston ympäristöystävällisyys. Ei keskitytä siihen, miten pitkän ajan kuluttua akku on korvannut omat hiilidioksidipäästönsä, vaan ajatellaan asiaa niin, että mitä sen jälkeen tapahtuu, kun akun kapasiteetti on huomattavasti pienentynyt. Tällöin riippuen akkukemiasta yhä suurempi ja suurempi osa akkuun ladatusta energiasta häviää lämpönä ilmaan, jolloin itse latausprosessista tulee vähemmän ympäristöystävällistä. Kaikkiin akkuihin pätee myös sääntö, että mitä hitaammin niitä lataa, sitä terveempinä ne säilyvät pidempään, mutta sitä enemmän laturi

hukkaa energiaa ja mitä nopeammin akkua lataa sitä ympäristöystävällisemmin toimii laturi, mutta sitä heikommin akku kestää. Tämä olisi aihe toiselle opinnäytetyölle, mutta olisi mielestäni syytä tarkastella myös tulevaisuudessa sitä, miten latausinfrastruktuurin kehittyessä ja akun kapasiteettitarpeen vähentyessä itse asiassa ihmiset eivät välttämättä edes tiedä ajavansa aivan loppuun ajetuilla akuilla, jotka saattavat olla hyvinkin epäekologisia verraten uusiin akkuihin. Ajatus ei myöskään ole aivan omani, koska esimerkiksi Tesla on ohjelmistopäivityksellä tiettävästi hidastanut merkittävästi akustojensa latautumisnopeutta vuoden 2013–2014 malleihinsa verrattuna. Perinteisesti Tesla on selittänyt hidastunutta latausnopeutta sillä, että kun akusto on ladattu riittävän monta kertaa täyteen pikalatauksella, sen latautumista hidastetaan akuston iän pidentämiseksi. Kyse ei kuitenkaan enää ole ainoastaan vanhoista akuista, vaan sama ominaisuus kohtaa nyt myös Tesloja, joita ei ole pikaladattu paljoa. On kuitenkin kyseenalaista, miksi tarkalleen Tesla tekee näin ja onko kyseessä esimerkiksi ajoakuston huomattava eliniän pidentyminen hitaammalla latausnopeudella. (34.)

12 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, miten sähköajoneuvoja tulisi katsastaa määräaikaikatsastuksessa niin, että niiden sähköturvallisuus olisi taattua katsastuksesta poistuessa. Lisäksi pohdittiin sitä, millaisia muutoksia ajoneuville saisi tehdä ilman muutokatsastusta ja miten muutokatsastuksessa voitaisiin varmistua tehtyjen muutosten asianmukaisuudesta sekä sähköturvallisuudesta. Hyvänä lähtökohtana voidaan varmasti pitää CITA:n teknistä ohjeistusta, koska siinä on kerätty suuri määrä sähköajoneuvoille ominaisia tarkastuskohteita ja suosituksen lopussa on jopa perusteluja, miksi näin on haluttu tehdä. Ranskan tekninen ohjeistus vaikuttaa pohjautuneen pitkälti samoihin asioihin kuin CITA:n tekninen ohjeistus, mutta se on huomattavasti tiiviimpi. Ranskan ohjeistus saattaa sisältää myös asiavirheitä sekä käänkövirheitä, joista esimerkkinä voidaan pitää esimerkiksi suojamaadoituksen jatkuvuusmittauksen raja-arvoa 100 ohmia, joka ei ole täydellinen oikosulku. Terveessä ajoneuvossa vastaava arvo lähentelisi nolaa.

Katsastuksessa on lähdettävä liikkeelle siitä, että katsastuksessa tullaan edelleen keskittymään ajoneuvon tieliikennekelpoisuuden selvittämiseen saman tyyppisin metodein kuin ennenkin, mutta huomiota on kiinnitettävä enemmän varoitusvaloihin. OBD:n tai vastaavan järjestelmän skannausta tulisi pyrkiä käyttämään sähköajoneuvojen katsastuksessa vikojen diagnosointitarkoituksessa eikä kuten polttomoottoriautoissa päästöjen kontrolloimistarkoituksessa. Akuston ja korkeajännitejärjestelmän ulkoinen kunto on otettava erittäin vakavasti ja esimerkiksi akuston jäähdytysnestevuotojen tarkastelu on oleellista. Ajotilan ilmaisimen toiminta ja varoitus ovat myös helposti testattavissa. Kaapeleita tulisi kokeilla jollain muovisella työkalulla mahdollisuuksien mukaan, jos kaapeleita on näkyvissä suojuksia irrottamatta, mutta toisaalta jos joku suojuksia olisi helposti irrotettavissa, voitaisiin tällä toimenpiteellä samalla testata ajoneuvon interlock-järjestelmää: ajovoimajärjestelmään ei saa kytkeytyä virtaa, jos suojuksia eivät ole asennettuna paikalleen. Ajoneuvon suojamaayhteyksien tarkastaminen on myös sellainen toimenpide, joka voitaisiin hyvin pienellä vaivalla suorittaa katsastuksessa esimerkiksi ajoneuvon latausportin ja rungon väliltä. On hieman kyseenalaista, pitäisikö katsastuksessa todella valvoa kaapeloinnin väriä tai jännitteen vaarallisuudesta ilmaisevia symboleja, vaikka ne ovatkin tyyppihyväksyntään voimakkaasti vaikuttavia tekijöitä. Tärkeämpää olisi kuitenkin interlock-järjestelmän toimivuus ja se, että kaapelointi on oikeanlaista ja

kestää kulutusta niin kuin sen ajoneuvossa kuuluu. Toistaiseksi helpoin tapa hylätä ajoneuvo automaattisesti katsastuksessa on ”Check EV”-valon palaminen, koska se indikoi lähes aina vakavammasta viasta. Toisaalta tästäkin voitaisiin varmistua skannaamalla ajoneuvon vikakoodijärjestelmä.

Voidaan kuitenkin olla varmoja siitä, että perinteinen katsastus ei kykene tarkastamaan sähköajoneuvoista kaikkia sellaisia kohtia, joilla sen sähköturvallisuus voitaisiin taata. Lähtökohtaisena tarpeena muutoksastukselle voitaisiin pitää kaikkia sellaisia muutoksia, jotka jollain tavalla muuttavat korkeajännitteisen komponentin kiinnityspisteitä, tai sähköisiä ominaisuuksia. Tämä rajaa automaattisesti pois esimerkiksi sellaisen sähkömoottorin vaihdon, joka istuu täydellisesti alkuperäisiin kiinnityspisteisiin, mutta saattaa olla tehonkestoaltaan poikkeava verrattuna alkuperäiseen. Paavolan sekä Österin mukaan tämä ei kuitenkaan tule juurikaan lisäämään ajoneuvon akselitehoa, koska varsinaisen akselitehon määrittelevät pääasiassa moottorinohjausjärjestelmä sekä ajoneuvon akuston virranantokyky. Näille ei ole olemassa yksiselitteisiä arvoja, koska ne riippuvat voimakkaasti jokaisen ajoneuvon täsmällisestä kokoonpanosta. Joissain autoissa sähkömoottori saattaa olla integroitu samaan pakettiin sen ohjainpiirin kanssa, jolloin kyseessä ei ole enää pelkän sähkömoottorin vaihto, vaan korkeajännitteisen moduulin vaihto, joka hyvin todennäköisesti tulee vaikuttamaan ajoneuvon lopulliseen tehoon. Akselitehorajoitukset voisivat sen sijaan pysyä voimassaolevan rakennemuutosmääräyksen mukaisina ja sama koskee ajoneuvon jarrujärjestelmää, sillä regeneroiva jarrutusjärjestelmä ei ole ajoneuvon pysähtymisen kannalta täysin kriittinen. Sen käytöstä poiston tosin ei pitäisi olla sallittua, koska se parantaa ajoneuvon pysähtymistä.

Kaikissa tällaisissa modifikaatioissa ajoneuvolle tulisi kuitenkin suorittaa laajempi sähköturvallisuustarkastus, joka on näillä näkymin melkein pakko suorittaa katsastuksen ulkopuolisella asiantuntijalla. Tämä voi sitten joko hylätä tai hyväksyä muutokset, jonka perusteella määräytyy ajoneuvon katsastuspäätös. Tällaiselle tarkastukselle hyvinä raameina toimii mielestäni sähkö- ja hybridiajoneuvojen neuvottelukunnalta peräisin oleva korkeajännitejärjestelmän tarkastuslomake, joka on luettavissa liitteenä 2, mutta laajemmissa muutoksissa on turvauduttava komponenttien valmistajilta peräisin olevaan tietoon todellisista arvoista, joita komponentit kykenevät sietämään. On myös syytä miettiä, olisiko tällainen sähköturvallisuustarkastus hyvä sisällyttää myös

määräaikaikatsastuksien yhteyteen esimerkiksi viiden vuoden välein, jolloin saataisiin hyvä tilannepäivitys vanhemman sähköajoneuvon järjestelmien kunnosta.

Lähteet

- 1 Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 100 – Yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat ajoneuvojen hyväksyntää sähköiseen voimajärjestelmään sovellettavien erityisvaatimusten osalta. 2011. UNECE.
- 2 Öster, Daniel. 2020. Yrittäjä. Dala's EV Repair Oy, Vaasa. Sähköpostikeskustelu 26.4.2020.
- 3 Heikkinen, Mikko. 2020. Korjaamotyöskentely korkeajänniteajoneuvon parissa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 Linja-aho, Vesa. 2013. Sähkö- ja hybridiajoneuvojen sähkötyöturvallisuus. 2. painos. Autoalan koulutuskeskus Oy.
- 5 Puranen, Kaisu. 2019. Sähköauto syttyi kolmesti – akkupalo on arvaamaton ja vaikea sammuttaa. Verkkoaineisto. Pelastustieto. <<https://pelastustieto.fi/pelastustoiminta/operatiivinen-toiminta/sahkoauto-syttyi-kolmesti-akkupalo-on-arvaamaton-ja-vaikea-sammuttaa/#5cc9b952>>. Luettu 7.9.2020.
- 6 Nurmi, Tapani. 2019. IP-luokituksen standardista uusi painos. Verkkoaineisto. Sesko. <https://www.sesko.fi/sesko-akatemia/uutiset/ip-luokituksen_standardista_uusi_painos.1864.news?1627_o=30>. Luettu 14.7.2020.
- 7 Sähköturvallisuuslaki, 2016, 1135/16.12.2016.
- 8 SFS 6002. Sähkötyöturvallisuus. 2015 + A1:2018. 2018. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.
- 9 Technical Note – Recommendation no. 1: Inspection of vehicle in categories M, N and O. 2015. CITA.
- 10 TECHNICAL INSTRUCTION - IT VL F4. 2018. UTAC-OTC.

- 11 Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen. 2016. TRAFI/66404/03.04.03.00/2015. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom.
- 12 Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta annetun määräyksen 2 kohdan muuttaminen. 2018. TRAFI/162823/03.04.03.00/2018. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom.
- 13 Fernández, Eduard. 2020. Executive Director, CITA. Sähköpostikeskustelu 18.5.2020.
- 14 Schröder, Ralph. 2020. Manager International Business Affairs, Zentrale Stelle nach StVG - Central agency for PTI. Sähköpostikeskustelu 9.7.2020.
- 15 Ronay, Laszlo. 2020. Technical expert. Ministry of Innovation and Technology. Sähköpostikeskustelu. 19.6.2020.
- 16 Škreblin, Tomislav. 2020. Head of Technical Department. Center for Vehicles of Croatia. Sähköpostikeskustelu. 15.6.2020.
- 17 Morvan, Guy. 2020. Vice President Vehicle Inspection Service Division, DEKRA. Sähköpostikeskustelu 9.7.2020.
- 18 Bley, Marc. 2020. Training manager. SNCT. Sähköpostikeskustelu. 10.6.2020.
- 19 De Meyer, Philippe. 2020. Head of vehicle inspection department. GOCA VLAANDEREN. Sähköpostikeskustelu. 10.6.2020.
- 20 Blandow, Volker. 2020. Global Head of E-Mobility, TÜV SÜD China Holding Ltd. Sähköpostikeskustelu 9.7.2020.
- 21 Robert Beyer; Dieter Blumenschein; Jürgen Bönninger; Jens Grohmann; Jens Lehmann; Dirk Meißner; Ronny Paulan; Sabine Richter; Marco Stiller; Jörg van Calker. 2020. Elektrofahrzeuge - Auswirkungen auf die periodisch technische

- Überwachung. Verkkoaineisto. <<https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/front-door/index/index/docId/702>>. Luettu 11.7.2020.
- 22 Skupin, André. 2020. CITA Technical Expert on Other Roadworthiness Regimes. Sähköpostikeskustelu. 22.6.2020.
- 23 Östlund, Jarno. 2020. Autokatsastaja & insinööri. Sähköpostikeskustelu 5.7.2020.
- 24 Vento, Ilkka. 2020. Kenttäpäällikkö. HelppoKatsastus Oy. Sähköpostikeskustelu 17.6.2020.
- 25 Mäkilä, Janne. 2020. Teknisen yksikön päällikkö. A-katsastus Oy. Sähköpostikeskustelu 25.8.2020.
- 26 Toivanen, Ari. 2020. Kouluttaja. A-katsastus Oy. Sähköpostikeskustelu. 25.8.2020.
- 27 Paavola, Ismo. 2020. Toimitusjohtaja & yrittäjä. Pistokehybridi. Sähköpostikeskustelu 22.9.2020.
- 28 Vauhkala, Mikko. 2020. Autoasentaja. Puhelinkeskustelu 14.7.2020.
- 29 Ojala, Timo. 2020. Laatu- ja tekninen johtaja. K1 Katsastus. Sähköpostikeskustelu. 29.9.2020.
- 30 AKL Sähkö- ja hybridiajoneuvojen neuvottelukunta. 2020. Sähköpostikeskustelu. 1.10.2020.
- 31 Aho, Susanna. 2015. Sähkötekniikan peruskäsitteet. Osa 1: Jännite. Verkkoaineisto. Sesko. <https://www.sesko.fi/files/79/Peruskasitteet_osa1_jannitteet_2020.pdf>. Luettu 12.8.2020.
- 32 Linja-aho, Vesa. 2020. Lehtori. Sähköpostikeskustelu. 13.9.2020.

- 33 Rich Rebuilds. 2020. We swapped a BIGGER motor into a Tesla and what happened was pretty insane. Videotiedosto. <<https://www.youtube.com/watch?v=XT8U4Cpw-JU>>. 19.4.2020.
- 34 Nyland, Bjørn. 2020. Reduced supercharging speed on Tesla 85 kWh packs. Videotiedosto. <<https://www.youtube.com/watch?v=zMi3HzQhU7s&t=135s>>. 31.8.2020.
- 35 Ajoneuvojen määräaikaikatsastuksen arvosteluperusteet. 2019. TRAFICOM/540030/03.04.00/2019. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom.

Lista kysymyksistä, joilla lähestyttiin asiantuntijoita

Kysymyksiä katsastusyriyksille

1. Miten katsastatte ajoneuvon, jossa on korkeajännitejärjestelmä?
2. Miten tällaisen ajoneuvon katsastus eroaa polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon katsastuksesta?
3. Pitäisikö sähkö- ja polttomoottorikäyttöiset ajoneuvot erotella katsastuksessa ja mitä tässä erottelussa tulisi erityisesti huomioida?
4. Tehdäänkö ajoneuvoille mitään tarkastuksia tai mittauksia, vai luetaanko niistä ainoastaan vikakoodit?
5. Kohdistetaanko akun tai muiden korkeajännitteisten kuumenevien komponenttien mahdollisiin jäähdytysjärjestelmiin minkäänlaista huomiota?
6. Suoritetaanko ajoneuville mitään mittauksia, jotka varmistaisivat, ettei ajoneuvonrunko ole yhteydessä korkeajännitteeseen (järjestelmä on eristetty)?
7. Kuinka paljon aikaa olisitte valmiita käyttämään yllämainittuihin mittauksiin, mikäli sellaisia vaadittaisiin tehtäväksi? Onko teillä ideoita, tai omakohtaista kokemusta siitä, miten tällaisen katsastuksen voisi sopivalla tavalla toteuttaa?
8. Mikäli teillä on minkäänlaista mututuntumaa, tai tilastoja siitä, millaisia vikoja sähkö- tai hybridi ajoneuvoissa on ollut, voisitteko kertoa mitkä ovat olleet yleisimpiä vikoja.
9. Onko hybridi- tai täyssähköajoneuvojen katsastuksessa sattunut asemallanne tapaturmia, jotka olisi syytä huomioida eroavina polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon katsastukseen verrattuna? Onko teillä ideoita siitä, miten tällaiset tapaturmat voitaisiin pyrkiä tulevaisuudessa estämään, tai minimoimaan?

10. Katsastaessanne hybridi- tai täyssähköajoneuvoa, onko teillä ollut sellainen olo, että pätevyytenne on riittävä ajoneuvon katsastamiseen oikeaoppisesti? Kerrokaa vapaamuotoisesti, että minkälainen tunnelma auton katsastuksesta on jäänyt.
11. Ovatko sähköturvallisuus ja korkeajännitejärjestelmistä aiheutuvat riskit sekä vaarat teille niin tuttuja, että koette olonne turvalliseksi katsastaessanne täyssähkö- tai hybridiajoneuvoa?
12. Ovatko laki ja muut säädökset mielestänne tällaisenaan riittäviä siihen, että ajoneuvo on hyväksytyllä katsastuspäätöksellä sähköturvallinen?
13. Jos ajatellaan ajoneuvon rakennemuutosta sähköisten komponenttien osalta, mikä olisi teidän mielestänne syy muutokseen ajoneuvo, eli milloin sitä on teidän mielestänne muokattu niin paljon, että muutokseen olisi tarpeellista? Olisivatko tällaisia tilanteita esimerkiksi akkupäivityksestä johtuva painon lasku tai nousu (kymmeniä kiloja), tai moottoripäivityksestä johtuva lisäteho?
14. Pitäisikö muutokset katsastuttaa hyväksytyllä asiantuntijalla ja sitten siitä esittää dokumentti? (Miten tämä kannattaisi toteuttaa?)

Kysymyksiä sähköautoja huoltaville yrityksille

15. Mitä lisenssejä olette joutuneet hankkimaan, jotta voitte tehdä sähköautojen korkeajännitetöitä?
16. Ovatko nämä lisenssit tai luvat muuttuneet siitä, kun saitte ne, tai onko teidän tarvinnut hankkia uusia lupia uusien lakien tai säädösten myötä?
17. Mitä lupia ja millaisen koulutuksen minä tarvitsisin ollakseni kykenevä tekemään huoltotöitä sähköajoneuvoille? Tarvitseeko huoltotilojen täyttää joitakin sähköturvallisuusmääräyksiä, jos siellä työskennellään sähköajoneuvojen parissa?

18. Onko lain edessä varsinaista eroa sillä, että huoltaako täyssähköautoja vai hybridiautoja? Päteekö näihin autoihin samat säännöt, kun huomioidaan vain niiden korkeajännitejärjestelmät?
19. Miten ajoakustoa tyypillisesti huolletaan?
20. Miten ajomoottoria tyypillisesti huolletaan?
21. Miten invertterejä tai moottorinohjauselektroniikkaa tyypillisesti huolletaan?
22. Onko auto itse hyvin tietoinen omista vioistaan, jos ne kohdistuvat korkeajännitejärjestelmään, tai esimerkiksi joidenkin komponenttien ylikuumentumiseen, ylivirtaan tai ylijännitteeseen? Mitä autolle tapahtuu tällaisen vian sattuessa? Katkaiseeko se esimerkiksi korkeajännitteet kaikkialta?
23. Onko korkeajännitejärjestelmää mielestänne helppo korjata väärin niin, että auto ei itse ymmärrä tätä vikaa ja siitä aiheutuisi suuri sähköturvallisuusriski?
24. Millainen suojakuori ajoakustossa on? Kuinka helposti akku voi lävistyä ja voiko suojakuori heikentyä ajan kuluessa, auton vanhetessa?
25. Miten hyvin korkeajännitekaapelit on suojattu autoissa ja mitä tapahtuu, jos ne hapertuvat ja on riskinä oikosulku? Olisivatko nämä kaapelit helposti katsastettavissa auton määräaikaikatsastuksessa ja onko mielestänne syytä katsastaa näiden kuntoa määräaikaikatsastuksessa?
26. Mihin erityisesti mielestänne pitäisi kiinnittää huomiota määräaikaikatsastuksessa, kun tarkastellaan ajoneuvon korkeajännitejärjestelmää?
27. Aiheuttaisiko oikosulku esimerkiksi ajomoottorissa vakavia seurauksia, jos oikosulku olisi kuitenkin sen verran pieni, että virta, jonka oikosulku aiheuttaa on vielä normaaleissa moottorin kuluttamissa rajoissa? Millainen oikosulkusuojaus autoissa on?

28. Onko autojen sähköjärjestelmien välillä paljon yhtäläisyyksiä, vai ovatko ne hyvin kaukana toisistaan? Olisiko esimerkiksi Tesloja korjannut kykenevä huoltamaan muita täyssähköajoneuvoja ilman kohtalokkaita virheitä? Osaisiko toisaalta vain hybridautoja huoltanut ottaa huomioon täyssähköautojen järjestelmäkohtaiset erot, tai toisin päin. Millainen koulutus olisi mielestäsi riittävä?
29. Ovatko lain tai Traficomien sallimat rajat mielestäsi riittäviä, tai liian tiukkoja siltä kannalta, että pelkästään näitä säädöksiä noudattamalla autot säilyvät sähköturvallisina?
30. Millaisilla komponenteilla autot voitaisiin korjata, jotta ne voitaisiin mieltää alkuperäiskuntoisiksi? Käytetäänkö tällä hetkellä ainoastaan alkuperäisiä osia suoraan valmistajalta, vai myös joitakin muiden osapuolien valmistamia varaosakomponentteja, jotka täyttävät tarvittavat toiminnallisuuden ja turvallisuuden kriteerit?
31. Mitä korkeajännitejärjestelmällisessä autossa voisi muuttaa, jotta sitä ei tarvitsisi muutokseen?
32. Millaisia sähkötekniisiä muutoksia ajoneuvoille on tehty ympäri maailmaa ja miten ne voi todeta katsastuksessa?
33. Onko teillä jotain ideoita sille, miten voitaisiin katsastuksessa valvoa esimerkiksi sähkömoottorin tai akun vaihtoa?
34. Pitäisikö muutokset katsastuttaa hyväksytyllä asiantuntijalla ja sitten siitä esittää dokumentti? (Miten tämä kannattaisi toteuttaa?)

Sähkö- tai hybridiajoneuvon korkeajännitejärjestelmän tarkastuslomake

Ajoneuvon tiedot

Valmistenumero: _____

Merkki: _____

Malli: _____

1. Silmämääräinen tarkastus

1. Korkeajännitekomponenttien jännitteen vaarallisuudesta ilmaisevat merkinnät: _____

2. Korkeajännitekomponenttien kotelointi: _____

3. Korkeajännitejohtimien oranssi väritys: _____

4. Korkeajänniteliittimien kotelointi/interlock: _____

5. Korkeajännitekomponenttien potentiaalitasausjohtimien olemassaolo ja kiinnitys: _____

6. Korkeajännitekaapeloinnin kiinnitys ja liitokset _____

7. Akuston sijainti ja kotelointi _____

2. Korkeajännitepiirin tarkastaminen

8. Korkeajännitepiirin erottaminen: _____

9. Jännitteettömyyden tarkastaminen: _____

10. Latauspistokkeen suojamaayhteys: _____

11. Latausvirtapiirin eristysvastus: _____

12. Korkeajännitepiirin eristysvastus: _____

13. Interlock –piirin toiminnan tarkastaminen: _____

14. Korkeajännitepiirin kytkeminen: _____

3. Järjestelmän toiminta

15. Koeajo ja järjestelmän toiminta: _____

16. Ajotilan ja ajosuunnan ilmaisimen toiminta: _____

17. Varoitus ajotilasta autosta poistuttaessa: _____

18. Järjestelmän toiminta törmäystilanteessa: _____

19. Akuston hallinta: _____

20. Eristystilan valvontajärjestelmän toiminta: _____

4. Muita huomioita

5. Tarkastuksen tulos

Tarkastustulos: _____ Hyväksytty / Hylätty

Tarkastuksen tehnyt yritys: _____

Tarkastuspäivämäärä: _____

Tarkastajan allekirjoitus ja nimen selvennös: _____

Ohjeita ja huomioita tarkastuksen suorittamiseksi

Ohjeet ovat suuntaa-antavia. Ajoneuvoa tarkastukseen esittävän henkilön on tarvittaessa hankittava dokumentaatio ja selvitykset kohteista, joiden tarkastaminen ei ole muuten järkevästi mahdollista.

Tarkastuskohteiden kaikissa kohteissa on huomioitava valmistajakohtaiset ohjeistukset ja rajoitukset.

1. Kaikissa korkeajännitekomponenteissa tai niiden välittömässä läheisyydessä tulee olla vaarallisesta jännitteestä kertova merkki (salamakuva)
2. Korkeajännitekomponenttien koteloinnin on täytettävä matkustamossa ja tavaratilassa vähintään IPXXD sekä matkustamon ja tavaratilan ulkopuolella vähintään IPXXB. Jos kotelointi on purettavissa ilman työkaluja, jännitteen on katkettava (interlock)
3. Koteloimattomat johtimet on oltava väriltään oransseja
4. Korkeajänniteliittimien on täytettävä avattuna vähintään kotelointiluokan IPXXB vaatimukset tai jännitteen on katkettava liitintä avattaessa (interlock)
5. Kaikissa johtavaa materiaalia olevissa korkeajännitekomponentteja sisältävissä koteloidissa on oltava galvaaninen yhteys ajoneuvon koriin potentiaalitasausjohtimilla
6. Kaikki korkeajännitekaapelit tulee olla sijoitettu kiinnitetty asiallisesti
7. Akusto on koteloitava ja sijoitettava niin, että se ei pääse vaurioitumaan normaalissa käytössä
8. Tehdään normaali huoltoerotus
9. Tarkastetaan mittaamalla varausten purkautuminen ja huomioidaan myös siihen kuluva aika => oltava järkevällä tasolla, enintään muutamia minutteja
10. Mitataan latauspistokkeen suojamaayhteys
11. Mitataan latauspistokkeen eristysvastus
12. Mitataan koko korkeajännitepiirin eristysvastus, oltava tyypillisesti yli 2,5Mohmia
13. Jätetään yksi interlock -piiri avoimeksi ja varmistetaan mittaamalla, ettei korkeajännitepiiri kytkeydy
14. Kytetään korkeajännitepiiri normaalisti
15. Tarkastetaan järjestelmän normaali toiminta koeajolla ja merkkivalot
16. Kuljettajalle tultava ilmoitus kun auto on ajotilassa sekä ilmoitus valitusta ajosuunnasta
17. Jos auto on ajotilassa ja autosta ollaan poistumassa, on kuljettajaa varoitettava
18. Selvitetään asiakkaalta tai valmistajan dokumentaatiosta järjestelmän toiminta törmäystilanteessa
19. Selvitetään asiakkaalta tai valmistajan dokumentaatiosta eristystilan valvontajärjestelmän toiminta. Testataan tarvittaessa
20. Selvitetään asiakkaalta tai valmistajan dokumentaatiosta akun hallintajärjestelmän toiminta. Kuinka järjestelmä toimii vikatilanteissa, mm.
 - a. Akuston virranhallinta
 - b. Lämpötilan hallinta
 - c. Kennojen jännitteen hallinta
21. Muita huomioita järjestelmästä