



Korkeajännitejärjestelmien vauriokorjausten haasteet

Janne Vuorentausta

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka

VUORENTAUSTA, JANNE
Korkeajännitejärjestelmien vauriokorjausten haasteet

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Toukokuu 2024

Opinnäytetyön aiheena on sähköautojen korkeajännitejärjestelmien vaurioituminen ja niiden vauriokorjauksessa esiintyvät haasteet. Työssä esitellään, mistä korkeajännitejärjestelmässä on kyse sekä selvitetään, mitkä ovat kyseisen järjestelmän yleisimmät vauriot ja mitkä ovat haasteet niiden korjaamisessa sekä ylipäätään sähköautojen vauriokorjauksissa. Opinnäytetyö keskittyy ulkoisten tekijöiden aiheuttamien vaurioiden korjauksiin, eli teknisiä vikoja sekä kulumisesta ja ikääntymisestä johtuvia korjauksia ja niiden mahdollisia haasteita ei tässä työssä käydä läpi.

Työ on toteutettu kirjallisuusselvityksenä. Lähteinä on hyödynnetty autoalan tiedotteita, artikkeleita sekä alan kirjallisuutta. Suurin osa opinnäytetyössä esitetyistä havainnoista ja päätelmistä on kirjoittajan omassa työssä havaitsemia asioita, mutta etenkin verkkoartikkeleista ja tiedotteista on haettu lähteitä väitteiden tueksi. Vaikka opinnäytetyö painottuu pitkälti käsittelemään vaurioita ja niiden korjauksien haasteita, käsitellään työssä myös näihin johtavia juurisyitä.

Lopputuloksena on tiivis, mutta informatiivinen esitys yleisimmistä haasteista korkeajännitejärjestelmien vauriokorjausten kanssa. Esitystavalta työ on yritetty luoda sen tyyliseksi, että hekin, joille autot ja niiden tekniikka eivät ole tuttuja, ymmärtäisivät minkälaisia haasteita sähköinen voimalinja luo vaurioitumisten ja niiden korjauksien kannalta.

Asiasanat: sähköauto, korkeajännitejärjestelmä, vauriokorjaus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Garage Engineering

VUORENTAUSTA, JANNE
The Challenges of damage repairs for High Voltage Systems

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 8 pages
May 2024

The topic of the bachelor's thesis is damage to the high voltage systems of electric cars and their difficulties in the damage repair facilities. The work introduced in general what the high voltage system is all about and explained what the most common damages of the system in question what the challenges in are repairing them and in general in damage repairs of electric cars. The bachelor's thesis focused on the repairs of damage caused by an external factor, but the challenges of technical and repairs of defects caused by wear and aging their possible challenges are not discussed in this work.

The work has been carried out as a literature review. Automotive bulletins, articles and industry literature have been used as sources. Most of the observations and conclusions presented in the thesis were things the author has observed in his own work, but especially online articles and bulletins have been searched for sources to support the claims. Although the thesis largely focused on dealing with damage and the challenges of repairing it, the work also went through the root causes that lead to it.

The result is a concise, but informative presentation of the most common challenges with damage repairs in high voltage systems. From the way the work is presented, an attempt has been made to create such a style that even those who are not familiar with cars and their technology would understand, what kind of challenges the electric power line creates in terms of damage and their repairs.

Key words: electric vehicle, high voltage system, damage repair

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	SÄHKÖAUTOJEN KORKEAJÄNNITEJÄRJESTELMÄ.....	6
	2.1 Rakenne.....	6
	2.2 Korkeajänniteakusto.....	7
	2.3 Ajomoottorit.....	8
	2.4 Lataus- ja ohjausjärjestelmä	10
3	KORKEAJÄNNITEAKUSTON VAURIOT	14
	3.1 Tyypillisimmät vauriot ja syntyvät.....	14
	3.2 Korjausten haasteet	19
	3.2.1 Korjauttavuus	19
	3.2.2 Kustannukset.....	21
4	AJOMOOTTORIEN JA LATAUS- SEKÄ OHJAUSJÄRJESTELMIEN VAURIOT	22
	4.1 Ajomoottorit.....	22
	4.2 Latauslaitteet ja ohjauselektronikka.....	22
	4.3 Latausportit	24
	4.4 Liittimet ja johtimet	26
	4.5 Korjausten haasteet	26
5	MUUT VAURIOKORJAUKSEN HAASTEET.....	28
	5.1 Vaurioiden havaitseminen.....	28
	5.2 Jännitteettömäksi tekeminen.....	28
	5.3 Varaosien toimitusajat.....	29
	5.4 Koulutustarve ja työkalut.....	31
	5.5 Säilytys ja kuljetus.....	32
6	POHDINTA	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	37
	Liite 1. Mercedes-Benz akustojen mittausohje (Veho 2024).....	37

1 JOHDANTO

Sähköautot ja liikenteen sähköistyminen ovat tämän opinnäytetyön kirjoitushetkellä kovassa kasvussa. Esimerkiksi Suomessa ensirekisteröityjen sähköautojen määrä on räjähdysmäisessä nousussa. Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien tilastojen perusteella vuonna 2023 ensirekisteröitävistä henkilöautoista sähköautojen osuus oli 33,75 %, kun vielä vuonna 2019 osuus oli vain 1,70% (Autoalan tilastokeskus 2024).

Sähköistymisen myötä autoala tulee kokemaan paljon muutoksia polttomoottori-autoista poikkeavan, uuden käyttövoiman myötä. Markkinoille virtaa paljon uutta teknologiaa sekä uusia auto- ja komponenttivalmistajia. Uudet innovaatiot tuovat mukanaan paljon mahdollisuuksia, mutta myös uudenlaisia haasteita ja ongelmia. Tässä opinnäytetyössä käsitellään yhtä näistä haasteista: sähköautojen korkeajännitejärjestelmien vauriokorjausta. Lähes samankaltaisia korkeajännitejärjestelmiä löytyy täyssähköautojen lisäksi esimerkiksi plug-in eli ladattavista hybrideistä. Vaikka monet opinnäytetyössä esitetyistä haasteista koskevat myös kyseisen tyyppisiä autoja, on niissä kuitenkin erilaisia variaatioita, toteutustapoja ja muita eroja täyssähköisiin verrattuna, joten ne on aiheen laajuuden rajaamiseksi jätetty pois.

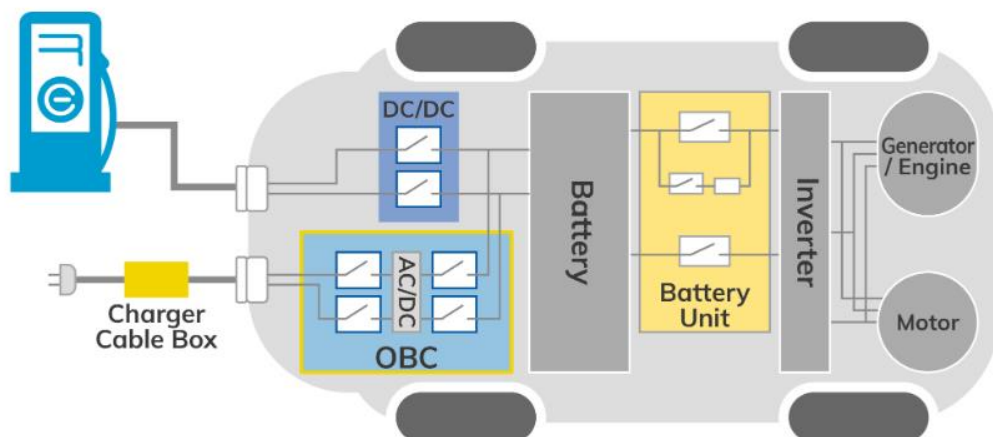
Vaikka liikenteen sähköistyminen ja sähköautojen yleistyminen on tämän opinnäytetyön laatimisen aikaan ollut käynnissä noin kymmenisen vuotta, alkavat autoalan eri toimijat kuten vauriokorjaamot ja vakuutusyhtiöt vasta pikkuhiljaa tarkemmin heräämään laajemmin vauriokorjauksen ongelmakohtiin. Vauriokorjauksella tarkoitetaan yleisesti sekä tässä opinnäytetyössä sellaista korjausta, minkä tarve on syntynyt ulkoisen tekijän, esimerkiksi kolarin tai ulosajon aiheuttamana. Vauriokorjaukseen ei siis kuulu esimerkiksi tekniset tai kulumisesta aiheutuneet viat ja muut korjaustarpeet. Opinnäytetyön on tarkoitus olla selvitys korkeajännitejärjestelmien ja sitä kautta sähköautojen vauriokorjausten tämänhetkisistä haasteista. Opinnäytetyössä ei esitetä tai kehitetä ratkaisuja näihin haasteisiin vaan koota ne yhteen raporttimuotoiseen pohjaan, josta niitä voidaan helposti jakaa ja esittää eri tahoille.

2 SÄHKÖAUTOJEN KORKEAJÄNNITEJÄRJESTELMÄ

2.1 Rakenne

Sähköautot ovat kori- sekä alustarakenteeltaan lähes samankaltaisia polttomootoriautojen kanssa. Niiden merkittävin ero on liikuttamiseen tarvittavan voiman tuottamassa moottorissa sekä energian varastointitavassa. Sähköautoissa energia on nimensä mukaisesti muodoltaan sähköistä energiaa, joka on varastoitu korkealla jännitteellä toimivaan akustoon. Ohjausjärjestelmän kautta ladattu energia muutetaan sähkömoottorin tai -moottorien avulla autoa liikuttavaksi voimaksi. (Motiva 2024a.)

Tätä sähköautoa liikuttavaa, useasta erilaisista komponenteista koostuvaa järjestelmää kutsutaan korkeajännitejärjestelmäksi. Kuvassa 1 on esitetty yleismallinen piirros, mistä komponenteista korkeajännitejärjestelmä muodostuu sekä miten komponentit on kytketty toisiinsa. Sähköautosta poiketen kyseiseen piirroksen on merkitty myös hybridautoissa oleva polttomoottori/generaattori. Komponenttien sijoittelu voi vaihdella paljonkin eri mallien välillä. Auton liikuttamisen lisäksi korkeajännitejärjestelmällä käytetään myös erilaisia apulaitteita kuten ohjaustehostinta, ilmastoinnin kompressoria, mahdollista ilmalämpöpumppua sekä muita toimintoja kuten auton 12 V järjestelmän latausta.

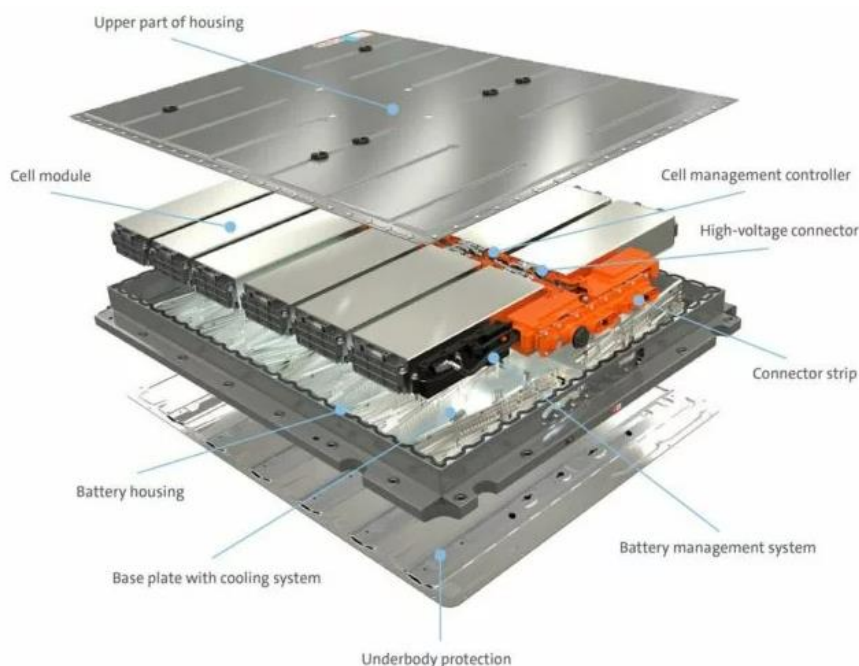


KUVA 1. Korkeajännitejärjestelmä (Conquer 2023)

2.2 Korkeajänniteakusto

Käyttövoima eli sähkö varastoidaan moduuleista koostuvaan akustoon. Pääsiallisina akkukemioina käytössä on lithium-ion- (Li-ion) ja nikkelimetallihybridi- (NiMH) akut (Bosch 2018, 1323). Arvokkaiden ja melko harvinaisten materiaalien kuten nikkelin ja koboltin takia kehitteillä on kuitenkin halvempia akkukemioita. Näistä merkittävimpinä ovat jo käytössä oleva litium-rautafosfaatti (LFP) -akku sekä Isomäen (2021) artikkelissa käsitelty, vielä kehitysvaiheessa oleva natrium-ioni (Na-Ion) -akku.

Kuvassa 2 on esimerkkinä korkeajänniteakuston rakenteesta läpileikkaus Volkswagen ID.3:n akkupaketista. Ladattu virta varastoidaan moduuleihin, jotka sarjaan kytkettynä muodostavat usean sadan voltin käyttöjännitteen. Käyttöjännite vaihtelee 400:sta jopa 800 volttiin eri automallien välillä. Herkän tekniikan takia moduulit on koottu yhteen, hyvin tiivistettyyn, metalliseen akkukoteloon, joka on voitu suojata alapuolelta pohjapanssarin tapaisella metallilevyllä. Moduulien käytöstä aiheutuneen lämmön takia kotelo on varustettu jäähdytysnestelinjoilla. Akustossa on lisäksi sen toimintaa kuten latausta ohjaavaa elektroniikkaa sekä liittimet korkeajännitekaapeleiden kytkemistä varten. Nykypäivänä yhä useammassa mallissa akusto on varustettu myös erikseen päälle kytkettävällä esilämmitystoiminnolla viileiden kelien latauksen tehostamiseksi. Tilaa vievän koon ja monen sadan kilon painon takia lähes jokaisessa nykyisessä sähköautomallissa akusto on sijoitettu auton pohjaan etu- ja taka-akselistojen väliin. (Kokkonen 19.) Akuston pohjaan sijoittaminen on erilaisten kompromissien summa. Painavalle ja paljon tilaa vievälle komponentille ei ole kunnolla tilaa muualla auton rakenteissa, mutta toisaalta auton pohjassa se on erittäin altis alta päin suuntautuville törmäysvoimille.



KUVA 2. VW ID.3 korkeajänniteakuston läpileikkaus (Kokkonen 2019)

2.3 Ajomoottorit

Automallin mukaan sähköautoissa on yksi tai useampi ajo- eli sähkömoottori, joilla akkuun varastoitu energia muutetaan autoa liikuttavaksi voimaksi. Moottoreita on olemassa monia erilaisia ja erikokoisia malleja, mutta mallista riippumatta niiden kaikkien toiminta perustuu sähköisiin, päälle ja pois kytkettäviin magneetteihin (Motiva 2024b). Voiman tuottamisen lisäksi ajomoottoreita käytetään auton hidastamiseen sekä niiden avulla voidaan generoida eli ladata akustoon virtaa hidastuvassa liikkeessä.

Käytössä on käytännössä kolmen tyyppisiä sähkömoottoreita: nimensä mukaisesti tasavirralla toimivia tasavirtamoottoreita sekä vaihtovirralla toimivia synkroni- ja asynkronimoottoreita. Uusimmissa sähköautomalleissa ei kuitenkaan ole enää käytössä tasavirtamoottoreita useiden tekijöiden kuten huonomman teho/painosuhteen sekä suuremman koon takia. Moottorityypistä huolimatta sähkömoottoreiden etu polttomoottoriin verrattuna on huomattavasti parempi hyötysuhde sekä täyden vääntömomentin kehittäminen heti pieniltä kierroksilta alkaen. (Schmidt 2023, 92.)

Eri vuodenaikojen ja muuttuvien sääolosuhteiden takia ajomoottorien on akuston tavoin oltava hyvin suojattu. Moottorit ovat koteloitu metallisiin, tarkasti tiivistettyihin kuoriin, minkä avulla kotelon sisällä olevat herkäät elektroniset komponentit suojataan ulkopuoliselta kosteudelta, pölyltä sekä muilta epäpuhtauksilta (Motiva 2024b). Sähkömoottori tuottaa toimiessaan myös paljon lämpöä, joten kotelointi on usein varustettu nestejäähdytyksellä.

Välittömän vääntömomentin takia sähköautot eivät tarvitse polttomoottorin tavoin vaihteistoa, vaan voima voidaan välittää vetäville pyörille esimerkiksi pelkän ta-sauspyörästön kautta. Vaikka perinteisiä monipykäläisiä vaihteistoja ei ole käytössä, ovat esimerkiksi Porsche Taycan ja MG Marvel R varustettu kaksinopeuksisilla vaihteistoilla (Ahtiainen 2019; Hedin Automotive n.d). Sähköautossa vaihteiston avulla sähkömoottorin hyötysuhteesta saadaan parannettua tyyppillisissä ajonopeuksissa sekä vähennettyä suurten nopeuksien aiheuttamaa kulumista moottorin laakereissa ja muissa pyörivissä osissa.

Jollei autoa ole varustettu napamoottoreilla, on lähes poikkeuksetta moottorit sijoitettu eteen, taakse, tai molempiin päihin apurunkojen päälle. Edessä oleva ajomoottorin on sijoitettu likimain siihen kohtaan, missä polttomoottoriautossa moottori sijaitsisi. Kooltaan sähkömoottorit ovat usein pienempiä verrattuna perinteiseen neli- tai kuusisylinteriseen polttomoottoriin. Kuvassa 3 on esimerkkinä moottorien sijoittelusta MG Marvel R:n koko korkeajännitejärjestelmä. Kyseinen auto on Hedin Automotiven (n.d) mukaan varustettu kolmella sähkömoottorilla, joista yksi on sijoitettu etuakselille ja kaksi taka-akselilla.



KUVA 3. MG Marvel R korkeajännitejärjestelmä (Hedin Automotive n.d)

2.4 Lataus- ja ohjausjärjestelmä

Akuston ja moottorien lisäksi sähköauto tarvitsee järjestelmät, joilla ladata akustoon virtaa sekä ohjata ladatun virran käyttöä ajomoottoreille. Opinnäytetyön kirjoitushetkellä lähes jokaista uutta sähköautomallia voidaan ladata kahdella tavalla: suoraan sähköverkosta vaihtovirralla eli ns. hitaalla latauksella sekä erikseen rakennetuilla latausasemilla suuremmalla tasavirralla eli ns. nopealla latauksella.

Latauslaite, josta käytetään myös lyhennettä OBC (on-board charger), on vaihtovirralla lataamisen mahdollistava laite. Kyseinen laite muuntaa vaihtovirran akustolle sopivaksi tasavirraksi. Latauslaitteen ominaisuudet määrittelevät, millä teholla autoa voidaan ladata (Plugit n.d.b). Kuten kuvan 1 kytkennöistä käy ilmi, tasavirralla tehtävä ns. nopea lataaminen voidaan toteuttaa suoraan akustoon.

Akuston ja ajomoottorien tavoin latauslaite pitää sisällään paljon herkkää tekniikkaa, joten luotettavan ja pitkäikäisen toiminnan takaamiseksi on laite koteloitava kuvan 4 mukaisesti tiiviiseen metallikoteloon. Kotelointi voi myös mallista riippuen olla varustettu nestejäähdytyksellä.



KUVA 4. Latauslaite eli OBC (Valeo 2023)

Latauslaitteiden sijoittelu vaihtelee merkkien ja mallien välillä. Laite voi olla esimerkiksi sijoitettu auton pohjaan korkeajänniteakuston viereen, ajomoottorin sivuille tai päälle, frunkin eli etutavaratilan taakse tai latausportin viereen lokasuojaan. Esimerkiksi kuvan 3 MG:ssä latauslaite on sijoitettu auton etuosaan etumoottorin päälle.

Latausportti on pistoke, johon sähköverkkoon tai latausasemaan kytkettävä latauskaapeli liitetään. Pistokkeen kautta kulkee virran lisäksi tietoa auton ja latauspisteen välillä. Pistoketyyppejä on monenlaisia, mutta vakiintumassa on Euroopassa standardoitu vaihtovirralla hitaassa lataamiseen käytettävä, kuvan 5 mukainen Type 2 sekä tasavirralla pikaladatessa käytettävä, kuvan 6 mukainen, Type 2:een pohjautuva yhdistelmäpistoke CSS Combo. Pikalataukseen on käytössä myös ChaDeMo -pistoke, joka on kuitenkin nykypäivänä etenkin Euroopan markkinoilla vähenemässä.



KUVA 5. Type 2 latausportti ja pistoke (Plugit n.d.a)



KUVA 6. CSS Combo latausportti ja pistoke (Plugit n.d.a)

Vaikka kuvassa 1 on esitetty, että vaihto- ja tasavirralla lataus tapahtuisi eri portteista, todellisuudessa portit on usein toteutettu siten, että autoissa, joissa tasavirralla lataaminen on mahdollista, tapahtuu molemmat lataustyytit saman latausportin kautta. Latausporttien sijoittelu ja määrä vaihtelee automallin mukaan. Tyypillisesti latausportteja on yksi, mutta esimerkiksi Porsche Taycanissa on identtiset latausportit molemmilla puolilla autoa (Ahtiainen 2019). Yksi tyypillisimmistä latausportin paikoista on takalokasuoja eli kohta, missä polttomoottoriautossa olisi polttoaineen tankkausluukku. Muita yleisesti käytössä olevia sijoitteluja ovat etulokasuojat, etupuskuri sekä esimerkiksi takavalon yhteyteen toteutettu latausportti.

Sähkömoottorit vaativat sekä kiihdytyksen että hidastamisen sulavaa toimimista varten tarkan virran ohjauksen. Moottorien ohjauksesta puhutaan usein tehoelektroniikkana, joka on lähes aina toteutettu akuston ja ajomoottorien väliin kytketyllä taajuusmuuttajalla, jolla akuista saatava tasavirta muutetaan moottoreille sopivan suuruiseksi tasa- ja vaihtovirraksi (Motiva 2024a). Taajuusmuuntaja muuntaa myös hidastuessa moottorin generoinnin synnyttämän energian akustolle sopivaksi tasavirraksi. Ohjauselektroniikan komponentit on tyypillisesti sijoitettu kuvan 3 MG:n tavoin lähelle ajomoottoreita, useimmiten niiden yläpuolelle, jolloin ne ovat hyvin suojassa ulkopuolisilta iskuilta.

3 KORKEAJÄNNITEAKUSTON VAURIOT

3.1 Tyypillisimmät vauriot ja syntyvät

Korkeajänniteakuston pohjaan sijoittamisen takia lähes kaikki niihin kohdistuvat vauriot syntyvät ulosajoissa, tieltä suistumisissa ja matalien objektien yli ajamisissa eli tilanteissa, joihin autoon kohdistuu törmäysvoimaa alapuolelta. Tieltä ulos ajautuessa auton pohjassa sijaitseva akku altistuu esimerkiksi ojan penkoilla oleville kiville, kannoille, ojarummuille ja turvakaiteille.

Akusto voi vaurioitua myös normaalissa ajossa ilman tieltä ulos suistumista. Tyypillisesti tällaisessa tilanteessa akusto ottaa kiinni jonkinlaiseen matalaan objektiin aiheuttaen vauriot. Tällaisia ovat esimerkiksi katukivetyksien reunat, heikompiuntoisilla, hiekkapäällysteisillä tiellä esiintyvät, pintaan nousseet suuremmat kivet, talvella kovat jääkokkareet sekä esimerkiksi erinäiset pihan objektit kuten matalat kiviaidat tai koristekivet. Erittäin rajussa kylkikolarissa on myös mahdollisuus akuston vaurioitumiselle, kun auton kylki painuu sivulta akustoa päin puristaen akkukoteloa.

Akusto voi vaurioitua myös ilman ajosuoritetta esimerkiksi ajoneuvon virheellisestä nostamisesta. Muualta kuin valmistajan ilmoittamasta kohdasta nostaminen voi aiheuttaa laajojakin painaumia akkukoteloon nostimen tallojen tai tunkin ollessa väärässä paikassa. Tällaisissa tapauksissa lähes aina syynä on kiireen tuoma huolimattomuus tai asentajan puutteellinen tieto autosta.

Vahinkotapahtuman mukaan vaurioiden tyypit vaihtelevat jonkin verran, mutta pohjakosketusten takia yleisimpiä korkeajänniteakustoon syntyviä vaurioita ovat akkukotelon naarmut ja painaumat. Painaumien ollessa tarpeeksi syviä myös kotelon lisäksi voi vaurioitua sen sisällä kulkevat jäähdytysnestelinjat sekä kotelon sisäpuolella olevat akkumoduulit.



KUVA 7. Tesla Model S akustovaurio (Copart 2024e)

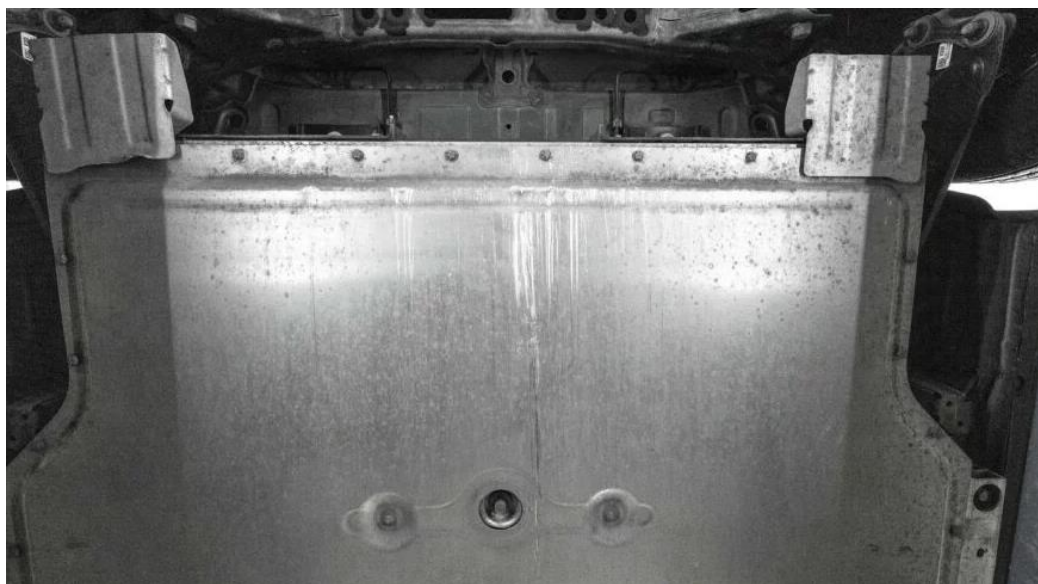


KUVA 8. Tesla Model S akustovaurio (Copart 2024e)

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty hyvin tyypillinen korkeajänniteakuston naarmuvaurio. Akkukotelo on kuvien perusteella ottanut pohjasta kevyesti kiinni kiinteään objektiin, ja osuma on naarmuttanut akkukoteloä erityisesti saumojen kohdalta. Kyseinen ajoneuvo myynti-ilmoituksen mukaan myydään muuna kuin vaurioajoneuvona, joten tiedossa ei ole, onko naarmut ylittäneet valmistajan ilmoittamat rajat.

Pelkästään kuvien perusteella vauriot vaikuttavat ainoastaan naarmuilta eikä havaittavissa ole selkeää painaa, mutta kyseiset naarmut voivat kuitenkin olla katsastuksessa hylkäysperuste.

Toisena esimerkkinä akustovauriosta on kuvissa 9 ja 10 esitetty Moottori -lehden kestotestissä ollut Kia Niro EV (Kokkonen, Saarinen & Tuppurainen 2024). Artikkelissa on kerrottu, että kyseinen vahinko on havaittu vasta auton palautuksen jälkeisessä tarkastuksessa eli kukaan testin aikana autolla ajaneista ei ole huomannut itse vahinkotapahtumaa. Vaurioiden syntytavasta ei siis ole tarkkaa tietoa, mutta kuvista voidaan huomata naarmujen lisäksi kotelon painuneen hieman etureunasta, mikä viittaa akuston saaneen huomattavasti kovemman iskun laajemmalle alueella kuin esimerkiksi kuvien 7 ja 8 Tesla. Tällaisia vaurioita syntyy esimerkiksi kanttikivien tai jäisten auravallien ottaessa akkuun kiinni. Artikkelin mukaan auton tarkastanut korjaamo on todennut akkukotelon vaihtokuntoiseksi eli kotelon vauriot ovat laajemmat kuin mitä valmistaja sallii.

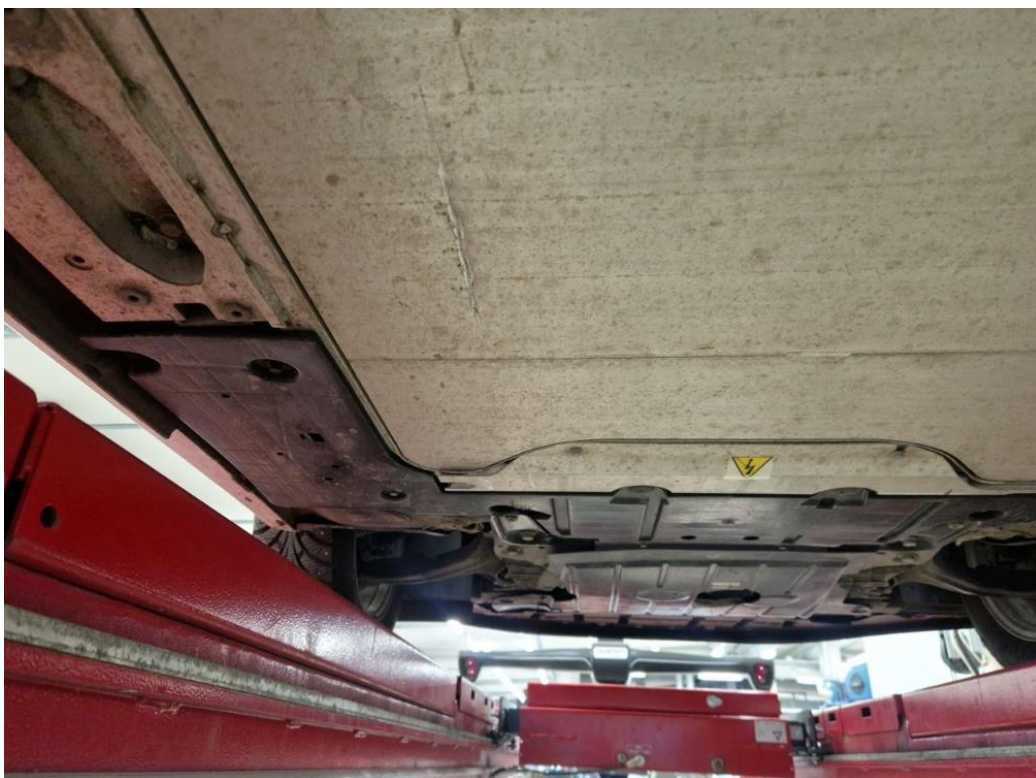


KUVA 9. Kia Niro EV akustovaurio (Kokkonen, Saarinen & Tuppurainen 2024)



KUVA 10. Kia Niro EV akustovaurio (Kokkonen, Saarinen & Tuppurainen 2024)

Kuvassa 11 on kolmas, myös vauriolajiltaan tyypillinen akuston vaurio. Kotelo on saanut yhden terävän ja ilmoituksen mukaan 3 mm syvän painauman. Kyseisen auton vahinkotapahtumasta ei myöskään ole tietoa, mutta kuvan 11 sekä auton yleiskuvan 12 perusteella vauriotyyppi viittaisi, että autolla on osuttu yhteen terävään objektiin esimerkiksi kiveen. Autosta otettu yleiskuva eli 12 havainnollistakin hyvin sen, miten ulkoapäin siistiltä ja ehjältä näyttämä auto voi olla ajokelvoton sekä pitää sisällään monen kymmenen tuhannen euron vauriot pieneltä tuntuvan vauriotapahtuman myötä.



KUVA 11. Renault Zoe:n akustovaurio (Copart 2024d)



KUVA 12. Yleiskuva Renault Zoe (Copart 2024d)

3.2 Korjausten haasteet

3.2.1 Korjauttavuus

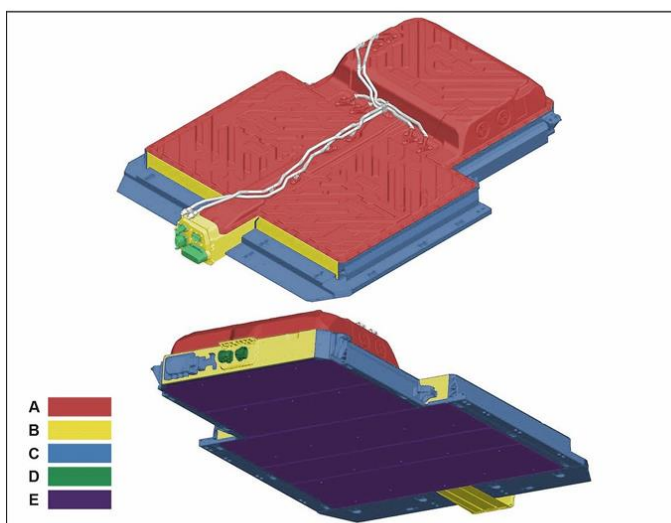
Akustojen liittyvien vaurioiden korjauksien yksi merkittävimmistä haasteista on niiden heikko korjattavuus. Valmistajan ohjeistuksen mukaan akustoon voidaan sallia syntyvän tietyn verran ja tietyn syvyisiä painaumuja ja naarmuja. Kuitenkin määräaikaikatsastuksessa vaurioitunut akusto on hylkäysperuste (Traficom. 2022). Lievästi vaurioitunut akusto voidaan kuitenkin hyväksyä valmistajan lausunnolla tai suoraan katsastuksessa, jos valmistaja on ilmoittanut Traficomille kyseiseen malliin sallittavat painaumien syvyydet.

Eroja sallituissa syvyyksissä on merkkien, mutta myös saman valmistajan eri mallien välillä. Esimerkkeinä ovat Mercedes Benzin akkutyypin EB311 ja EB312 sekä EB330 mittausohjeet (liite 1). Ohjeen mukaan EB311 ja EB312 voidaan sallia 2–10 mm painaumuja riippuen niiden sijainnista. Ohjeessa on piirros akustosta, jonka eri alueet on merkitty väri- ja kirjainkoodein. Näiden värien perusteella voidaan kirjainkoodien avulla tulkita, kuinka syviä painaumuja ja naarmuja voidaan sallia eri kohtiin akustoa. Ohjetta tulkitsemalla havaitaan, että kyseisiin akkutyypin sivuihin sallitaan selkeästi syvempiä painaumuja kuin kanteen ja pohjaan, joista pohja on vielä erikseen arvioitava muiden alueiden vaurioiden perusteella.

Permissible dent depth (d) for vehicles with EB311, EB312 high-voltage battery

- A: ≤ 2 mm
- B: ≤ 2 mm
- C: ≤ 10 mm
- D: Evaluation according to B1, B3 and B4
- E: ≤ 3 mm

i If permissible dent depth (d) in one area (A, B, C, D, E) is exceeded, transport approval is not granted.



P47.70-A188-76

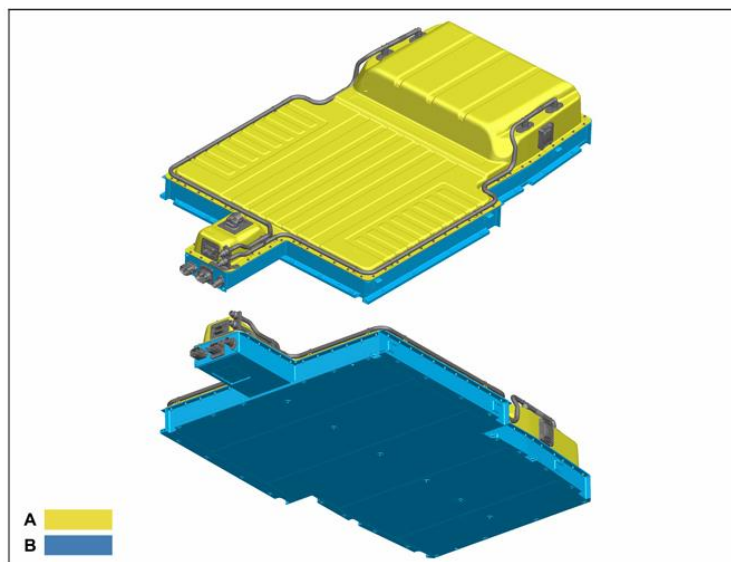
KUVA 13. EB311 ja EB312 akustojen mittausohje (Veho 2024)

Vertailukohteena olevassa, kuvan 14 EB330 akustossa on huomattavasti selkeämpi ja tiukempi ohjeistus sallittujen vaurioiden kanssa. Kyseisen tyyppiseen akustoon voidaan sallia vain kahta eri syvyyttä painauma. Kotelon pohjaan ja sivuihin maksimissaan 5 mm painaumia ja kotelon kanteen alle 2 mm syviä painaumia.

Permissible dent depths (d) for vehicles with EB330 high-voltage battery

- A: ≤ 2 mm
- B: ≤ 5 mm

i If permissible dent depth (d) in an area (A, B) is exceeded, transport approval is not granted.



P47.70-A750-76

KUVA 14. EB330 akuston mittausohje (Veho 2024)

Painaumien ylittäessä valmistajan ilmoittaman rajan, on vähintään akkukotelo vaihdettava. Koteloa uusittaessa on usein valmistajien ohjeistuksesta tarve uusia myös paljon erilaisia pienosia, kuten koteloinnin ja kiinnityksen pultteja sekä erilaisia kiinnikkeitä ja tiivisteitä. Kaikissa malleissa pelkkä kotelon vaihto ei välttämättä ole mahdollista tai sallittua vaan koko akustopaketti on uusittava. Jos akusto on saanut yhden tai useamman syvän painauman, akkukotelo vaihdettaessa on usein tarve tarkastaa myös akkumoduulit sekä muu akuston sisällä oleva elektroniikka mahdollisilta vaurioilta, joita kasaan painunut kotelon rakenne on voinut aiheuttaa. Etenkin pahemmin vaurioituneen kotelon kohdalla tarkastus on tärkeää, sillä vaurioitunut moduuli voi olla erittäin epävakaa ja aiheuttaa siten jälkeensä esimerkiksi suuren syttymisriskin.

3.2.2 Kustannukset

Toinen korkeajänniteakustojen korjausten kanssa merkittävistä haasteista on korjausten korkeat kustannukset. Pelkästään uusi akkukotelo voi maksaa useita, jopa kymmeniä tuhansia euroja. Kotelon lisäksi akuston korjaukseen tarvitaan usein myös muita hintavia varaosia sekä tarvikkeita kuten esimerkiksi moduulien ja kotelon väliin käytettävää erittäin arvokasta, metalleja sisältävää lämmönjohtomassaa, jonka hinta voi olla useita tuhansia euroa. Esimerkkinä tällaisesta on kuvissa 9 ja 10 esitetty Moottori -lehden kestotestissä (Kokkonen, Saarinen & Tuppurainen 2024) akkuvaurion saanut Kia Niro EV, jonka korjaukseen tarvittun lämmönjohtomassan ja muun tiivistyksen kustannukset olivat artikkelin mukaan lähes 7000 euroa.

Jos mahdollisista vaurioista tai valmistajan ohjeistuksesta johtuen pelkän kotelon vaihto ei ole mahdollista, koko akuston uusinnan kustannukset ovat kotelon vaihtoa huomattavasti korkeampia. Kustannukset vaihtelevat automallien ja merkkien välillä muutamasta kymmenestä tuhannesta lähes sataantuhanteen euroon asti. Hyvin pitkälti akustot vaihdetaan täysin uusiin, mutta markkinoille on alkanut tulla tarjolle tehdaskunnostettuja akustoja, jotka tarjoavat hieman edullisempaa vaihtoehtoa.

4 AJOMOOTTORIEN JA LATAUS- SEKÄ OHJAUSJÄRJESTELMIEN VAU- RIOT

4.1 Ajomoottorit

Ajomoottorit harvoin pääsevät vauriotumaan ulkoisen tekijän toimesta niiden sijoittelun takia. Koska etu- että takamoottorit ovat yleensä sijoitettu auton keskilinjaan apurunkojen päälle, sijaitsevat ne siten keskellä autoa ollen suojassa lähes joka suunnasta tulevilta iskuilta ja törmäysvoimilta. Jos ajomoottori kuitenkin pääsee törmäysvoimista vaurioitumaan esimerkiksi kolarissa tai ulosajossa, on todennäköisesti sen ympärillä oleva auto vaurioitunut niin pahasti, että auton korjaaminen ei ole enää kannattavaa.

4.2 Latauslaitteet ja ohjauselektroniikka

Ajomoottorien tavoin latauslaitteiden ja ohjauselektroniikan sijainnit vaikuttavat merkittävästi niiden vaurioitumisen yleisyyteen. Latauslaitteen sijaitessa auton pohjassa se helposti altistuu akuston tavoin alhaalta tuleville iskuille. Jos taas latauslaite taikka ohjauselektroniikka on sijoitettu auton keulaan esimerkiksi siihen kohtaan, missä polttomoottoriauton moottori sijaitsisi, on se altis vaurioitumaan esimerkiksi keulakolareissa ja keulaan kohdistuvissa törmäyksissä sekä vakavimmissa ulosajoissa.



KUVA 15. Yleiskuva MG Marvel R (Copart 2024c)



KUVA 16. MG Marvel R keulan vauriot (Copart 2024c)

Tyypillisimpiä latauslaitteiden ja ohjauselektronikan vaurioita ovat koteloinnin painaumat ja vääntymät sekä liitinten hajoaminen esimerkiksi kuvien 15 ja 16

kaltaisissa vahingoissa. Tarkkoja tietoja kyseisen auton vahinkotapahtumasta tai vaurioista ei ole, mutta kuvien perusteella voidaan päätellä, että autolla on törmäty melko suurella nopeudella keula edellä kapeaan esteeseen kuten pylväseen tai puuhun.

Pistemäisen törmäyskohdan takia törmäysvoima on vääntänyt keulan rakenteet reilusti sisäänpäin siten, että ainakin korkeajännitejärjestelmän komponenttien kotelointien kiinnityksiä on päässyt vaurioitumaan sekä on mahdollista, että kuvasta pois rajautuva, toisella puolella koteloita olevat liittimet sekä itse kotelot ovat voineet vaurioitua.

4.3 Latausportit

Latausporttien vauriot syntyvät useimmiten kuvan 17 kaltaisissa vahingoissa, joissa törmäysvoima kohdistuu siihen kohtaan autoa, missä latausportti sijaitsee. Esimerkkejä tällaisista tilanteista ovat autojen keskinäiset kolarit, törmäykset erilaisiin kiinteisiin esteisiin sekä ulosajot. Törmäysvoimien ei välttämättä tarvitse olla suuria latausportin vaurioittamiseen vaan hitaassakin vauhdissa esimerkiksi puuhun tai tolppaan osuminen voi riittää vaurioittamaan portin.



KUVA 17. Maxus EUNIC 6 (Copart 2024b)

Toisena esimerkkinä on kuvien 18 ja 19 Maxus EUNIQ 5:n keulavaurio. Sisäänpäin kääntyneen konepellin perusteella kyseisellä autolla on törmätty suoraan keula edellä johonkin melko leveään esteeseen tai toiseen ajoneuvoon. Autosta on purettu joitain osia, kuten umpiot pois, mutta on havaittavissa, että puskurissa sijainnut latausportti on irronnut törmäysvoimasta ja päässyt vaurioitumaan. Esi-tetyistä esimerkeistä poiketen latausportti voi kuitenkin vaurioitua myös välillisesti ilman suoraa iskuja. Portti voi vaurioitua esimerkiksi peräänajotilanteessa, kun törmäysvoiman takia muotoa muuttava takaluukku tai takalokasuoja vääntyy rik-koen latausportin.



KUVA 18. Yleiskuva Maxus EUNIQ 5 (Copart 2024a)



KUVA 19. Maxus EUNIQ 5 keulan vauriot (Copart 2024a)

4.4 Liittimet ja johtimet

Erilaisissa törmäysvahingoissa joko toisen ajoneuvon tai kiinteän objektin kanssa on mahdollista, että korkeajännitekaapelit eli johtimet sekä niiden liittimet voivat vaurioitua. Vaikka oranssin väriset korkeajännitekaapelit ja liittimet on suunniteltu kestäviksi, etenkin kuvan 15 kaltaisissa, tarkasti yhteen kohtaan kohdistuvissa törmäyksissä, joissa suuri törmäysvoima painaa auton rakenteita reilusti kasaan, voivat muuttuvat rakenteet jättää kaapeleita puristuksiin vaurioittaen niitä. Lisäksi etenkin liittimiä voi katketa, haljeta tai muulla tavoin vaurioitua voimakkaista, suoraan niihin kohdistuvista iskuista.

4.5 Korjausten haasteet

Akuston tavoin muiden korkeajännitejärjestelmän komponenttien vaurioiden korjausten kanssa on samankaltaiset haasteet: korjattavuus on heikkoa ja varaosahinnat korkeita. Komponenttien korjaaminen esimerkiksi latauslaitteiden ja ohjauselektronikan kotelointien vaurioissa ei ole valmistajan toimesta sallittua tai koteloinnin ominaisuuksien takia välttämättä edes mahdollista, vaan osat on vaihdettava uusiin. Koko komponentin uusinnalla usein varmistetaan myös se, ettei voida tietää onko esimerkiksi törmäyksestä aiheutunut isku, koteloinnin pai-

nauma tai halkeama voinut vaurioittaa sen sisällä olevaa elektroniikkaa. Korkeajännitekaapelien liittimet ovat harvoin vaihdettavissa olevia, joten niiden vaurioituessa on vaihdettava koko johtosarja seuraavalle liittimelle asti.

Akustojen tavoin lähes kaikki korkeajännitejärjestelmän osat ovat usein todella hintavia. Latauslaitteiden ja ohjausjärjestelmien komponenttien hinnat alkavat usein muutamasta tuhannesta eurosta. Myös korkeajännitekaapelit ovat usein arvokkaita ja esimerkiksi vaurioituneen liittimen takia vaihdettava johtosarja voi maksaa useita tuhansia euroja. Yhtenä osoituksena korkeajännitejärjestelmän komponenttien korkeasta hintatasosta kertoo Liikennevakuutuskeskuksen vuonna 2019 julkaisema tiedote, jonka mukaan korjauskustannukset ovat sähköautoissa 1,5 kertaiset muihin autoihin verrattuna (Liikennevakuutuskeskus 2019).

5 MUUT VAURIOKORJAUKSEN HAASTEET

5.1 Vaurioiden havaitseminen

Etenkin akustojen vaurioiden kohdalle vaurioiden havaitsemisen ajankohta voi aiheuttaa haasteellisia tilanteita. Kuten aiemminkin opinnäytetyössä esitettyissä esimerkeissä, ei kaikissa tapauksissa auton omistaja ole välttämättä huomannut ajaessa itse vahinkotapahtumaa, vaan akuston vauriot voidaan huomata vasta auton katsastuksen, huollon tai muun korjauksen yhteydessä. Vaurion havaitsemiseen voi kulua pitkäkin aika, sillä sähköautoja ei välttämättä tarvitse vuosittain huoltaa vähäisten huoltokohteiden ja -tarpeiden takia tai katsastaa vuosittain uudehkon sähköautokannan takia. Auto on myös vahinkotapahtuman jälkeen voinut vaihtaa omistajaa useammankin kerran tai se on voitu tuoda toisesta maasta.

Asian haasteellisuus käy ilmi, kun korjauksen kustannusten maksajaa aletaan selvittämään. Kaskovahingot, mistä akuston vaurioiden korjauskuluihin korvauksia usein haetaan, on ilmoitettava vakuutusyhtiölle tyypillisesti viimeistään vuoden sisällä vahingosta. Kyseinen tilanne voi aiheuttaa kiistaa auton omistajan ja vakuutusyhtiön välille, kun tarkkaa vahinkopäivää ei tiedetä, vaan sitä joudutaan arvioimaan esimerkiksi vaurioiden perusteella. Asian haasteellisuus lisääntyy, jos auto on esimerkiksi äskettäin vaihtanut omistajaa tai tuotu toisesta maasta, jolloin voi syntyä kiistoja kenen vakuutuksesta vahinkoon korvauksia pitäisi hakea tai onko esimerkiksi auton maahan tuoneen liikkeen tai muun tahon osallistuttava korjauskuluihin.

5.2 Jännitteettömäksi tekeminen

Jännitteettömäksi tekemisellä tarkoitetaan sähköauton saattamista sellaiseen tilaan, että korkeajännitejärjestelmän komponenteissa ei akustoa lukuun ottamatta ole virtaa ja järjestelmästä on turvallista irrottaa ja vaihtaa osia. Käytännössä siis aina korkeajännitejärjestelmää korjatessa on auto tehtävä jännitteettömäksi, jotta sen komponentteja voidaan käsitellä turvallisesti. Jännitteettömäksi teko voi olla tarpeellista myös esimerkiksi silloin, kun auton koriin tehdä peltitöitä, kuten oikomista tai kiinteästi kuten hitsaamalla tai niittaamalla kiinnitettyjen peltiosien vaihtamista.

Koska korkeajännitteiset ja korkeakapasiteettiset komponentit eli akustot ja kondensaattorit olisivat maallikoille eli auton käyttäjille sellaisenaan äärimmäisen vaarallisia, on ne jokaisessa sähköautomallissa suojattu erilaisilla koteloinneilla ja suojapiireillä sekä -kytkimillä (Työturvallisuuskeskus 2018). Näiden myötä korkeajännitejärjestelmän jännitteettömäksi teko on hyvin merkki- ja mallikohtainen prosessi, joka voi jopa saman automallin sisällä vaihdella hyvinkin paljon esimerkiksi eri valmistusajankohtien välillä.

Jännitteettömäksi tekemiselle ei voida määrittää keskimääräistä aikaa vaan aina on toimittava valmistajan ohjeiden mukaan. Kyseinen toimenpide voi nopeimmillaan olla alle puolessa tunnissa tehty, mutta on myös automalleja, jotka vaativat laajemmat esivalmistelut, useiden mittauspisteiden mittaukset ja minuuttien, jopa kymmenien pituiset varoaikojen odottamiset. Näiden jälkeen jännitteettömäksi tekemiseen on voinut kulua useampikin tunti. Jännitteettömäksi tekemisen lisäksi auto pitää korjauksen jälkeen saattaa takaisin jännitteelliseksi, joka on päinvastainen, samalla tapaa mallin mukaan vaihtelevasti aikaa vievä työvaihe.

Vaikka itse jännitteettömäksi teko sekä takaisin jännitteelliseksi tekeminen voivat viedä aikaa, eivät ne korjauksen työvaiheina ole varsinaisesti haaste vaan etenkin monimerkkikorjaamoissa haasteen tuo merkkien ja mallien väliset suuret vaihtelut. Töiden sujuvuuden ja työntekijöiden turvallisuuden takia on tärkeää, että korjaamoilla on saatavilla tarvittaessa korjattavien mallien valmistajien ohjeet jännitteettömäksi tekemiseen. Työvaiheiden ja -aikojen vaihtelut aiheuttavat haasteita myös korjaamojen ja vakuutusyhtiöiden välillä, sillä korjauskustannusten kuluja tarkastavalla vahinkotarkastajalla ei aina välttämättä ole ymmärrystä tai tietoa eri mallien ja merkkien välillä vallitsevista, välillä suuristakin eroista. Tämä voi aiheuttaa tilanteita, joissa tarkastaja kyseenalaistaa korjaamon ajankäyttöä, vaikka korjaamo toimii täysin valmistajan ohjeiden mukaisesti.

5.3 Varaosien toimitusajat

Viime vuosina pandemian, eri konfliktien, komponenttipulan ja muiden kriisien takia tavaroiden ja tuotteiden valmistuksissa ja toimituksissa on ollut vaikeuksia, mukaan lukien autoteollisuuden tuotteissa kuten varaosissa. Sähköautojen

kanssa kaikki toimitusvaikeuden eivät kuitenkaan välttämättä liity suoraan edellä mainittuihin asioihin, vaan syytä on myös muita. Esimerkki uusien valmistajien toimitusketjut voivat olla keskeneräiset tai puutteelliset. Juuri maahan saapuneille merkeillä ei välttämättä ole esimerkiksi koko Euroopassa vielä minkäänlaisia varastoja tai jakeluverkkoja, mitkä hidastavat toimituksia ja aiheuttavat epävarmuuksia toimitusaikoihin.

Pitkät toimitusajat luonnollisesti pidentävät etenkin liikennekelvottomien autojen korjausaikaa ja tuovat sitä myöten haasteita. Liikennevahingoissa auton vaurioitua liikennekelvottomaksi on kärsineelle osapuolelle maksettava seisonta-ajan korvausta eli korvausta käyttöhyödyn menetyksestä (Liikenne- ja potilasvahinkolautakunta n.d). Tarveselvityksen täytyessä vakuutusyhtiö voi joutua maksamaan myös sijaisauton kuluja. Varaosien pitkät toimitusajat ja heikko saataavuus johtavat pitkiin seisonta-ajan korvauksiin tai sijaisautokuluihin, joihin vakuutusyhtiön kannasta riippuen linjataan johonkin kohtaan korvausten määrän raja. Tämä voi aiheuttaa vahingon kärsineessä osapuolella närkästystä, sillä hän vahingon syyttömänä osapuolena voi joutua tilanteeseen, jossa vakuutusyhtiö kieltäytyy maksamasta korvauksia menetetyistä käyttöpäivistä ja oma auto on liikennekelvottomana korjaamolla. Vakuutusyhtiöt perustelevat kantaansa sillä, että pitkät toimitusajat eivät johdu itse vahingosta, vaan asiakkaan tekemästä riskistä auton valintaan liittyen, joten kohtuullisen varaosien odotusajan jälkeen odotuksesta aiheutuneet kulut kuuluvat auton omistajalle. Vakuutusyhtiöiden välillä vaihtelevat linjat johtuvat siitä, ettei ole tarkkaa lakia tai määräystä siitä, minkä katsotaan olevan kohtuullinen varaosien odotusaika. Tällaisia tapauksia voidaan joutua ratkomaan vakuutus- ja rahoitusneuvonta FINE:ssä. Kilpailu- ja kuluttajaviraston mukaan kuitenkin esimerkiksi uusiin autoihin liittyvissä tapauksissa, joissa auton omistaja on hankkinut auton uutena, on kaupan purkaminen mahdollista, sillä auton valmistajalla on velvollisuus toimittaa vauriotyypistä riippumatta kohtuullisessa ajassa korjaukseen vaadittavia osia (Tuppurainen 2024).

Kaskovahingoissa pitkät toimitusajat aiheuttavat liikennevahinkoihin verrattuna vielä enemmän autojen omistajille harmia, sillä kaskovakuutukseen ei välttämättä kuulu sijaisautovakuutusta tai jos sellainen on, niin vakuutusehdoissa on sijaisauton käyttö rajattu tiettyyn aikaan, tyypillisesti 30 vuorokauteen. Ehdoissa voi

myös olla suoria rajoituksia varaosien odotukseen liittyen. Esimerkki tällaisesta tapauksesta on Moottori -lehden haastatteleva Maxus-merkkisen auton omistaja, jolla vaurioitui autosta keula sekä korkeajänniteakusto (Tuppurainen 2024). Artikkelin mukaan kyseinen auto oli artikkelin julkaisuhetkellä odottanut akkukoteloita neljä kuukautta, koska tarkkaa toimitusaikaa ei ollut tiedossa.

5.4 Koulutustarve ja työkalut

Sähköautojen ja etenkin niiden korkeajännitejärjestelmien kanssa työskenteleminen sisältää huomattavan määrän mahdollisia riskejä ja vaaratekijöitä, joten kyseessä on osaamista ja koulutusta vaativaa työtä. Yksi oleellisimmista koulutuksista on autoalan sähkötyöturvallisuuskoulutus SFS 6002, mikä täyttää sähköturvallisuuslain edellyttämät vaatimukset sähkötyöhön liittyvistä turvallisuuskoulutuksista. (Verkkokoulu n.d; Sähköturvallisuuslaki 1135/2016). Turvallisen ja tehokkaan työskentelyn takaamiseksi lain velvoittamien koulutusten lisäksi korkeajännitteiden kanssa työskentelevillä tulisi antaa lakisääteisten koulutusten lisäksi autovalmistajien omaa koulutusta. Väärällä tavalla tehdyt korkeajännitejärjestelmän korjaukset voivat olla hengenvaarallisia sekä työn suorittajalle että myöhemmin korjauksen jälkeen auton omistajalle.

Koulutuksen tarve aiheuttaa enemmän haasteita vauriokorjauksia tekevillä monimerkkikorjaamoille kuin tiettyä merkkiä edustaville merkkikorjaamoille. Päivittäin työn mukaan vaihtuvista merkeistä ja malleista johtuen monimerkkikorjaamojen on haasteellisempaa kouluttaa työntekijöille osaamista jokaiseen merkkiin ja malliin. Tämän takia on äärimmäisen tärkeää, että monimerkkikorjaamoilla on käytössä tarvittaessa valmistajien laatimat korjausohjeet. Liikennevakuutuskeskuksen tiedotteessa todetaankin, että uudenlaisten ja erilaista osaamista vaativien töiden takia työvoiman saatavuudesta voi tulla tulevaisuudessa korjaamoalalle haaste (Liikennevakuutuskeskus 2019).

Riskien minimoimiseksi sähköautojen kanssa työskennellessä tiettyihin toimenpiteisiin vaaditaan erityistä välineistöä. Yhtenä oleellisimpana on oikeanlaiset testit ja diagnostiikkatyökalut sekä ohjelmistot, jotta esimerkiksi vikadiagnosointi ja jännitteettömäksi tekeminen on sujuvaa ja turvallista. Lisäksi korkeajännitetöissä

käytettävien perustyökalujen on oltava sähköiskulta eristettyjä eli VDE-työkaluja. Usein voi olla myös tarve merkkikohtaisille erikoistyökaluille.

5.5 Säilytys ja kuljetus

Suuren määrän energiaa sisältävä vaurioitunut korkeajänniteakusto pitää sisälleen monenlaisia riskejä ennen vaurioiden kartoittamista ja jännitteettömäksi tekoa sekä vaurioiden mukaan mahdollisesti vielä niiden kartoittamisen jälkeenkin. Jos akuston tai muun korkeajännitekomponentin epäillään vaurioituneen, on ajoneuvo asetettava karanteeniin eli eristettävä muista ajoneuvoista sekä rakennuksista paloriskin takia. Lisäksi ulkopuolisten pääsy ajoneuvon luo pitäisi estää esimerkiksi aitaamalla ja kyseinen ajoneuvo olisi hyvä merkitä esimerkiksi kuvan 15 MG:n konepellissä olevalla keltaisella varoitustarralla, joka varoittaa korkeajännitteestä. Vaikka ajoneuvo vaikuttaisi ulkoisesti olevan vakaassa tilassa, voi vaurioitunut korkeajänniteakusto pidemmänkin ajan päästä kehittää sisäisen vian, esimerkiksi painauman vaurioittaman moduulin takia tulipalovaaran. (Korikorjaamoluokitus n.d)

Kolarissa tai muussa törmäyksessä olleesta sähköautosta pelastushenkilökunta on voinut tehdä ajoneuvosta virrattoman esimerkiksi irrottamalla korkeajännitejärjestelmän hätäkytkimen tai huoltoerottimen (Wennberg 2020). Pelkän hätäkatkaisimen tai huoltoerottimen irrotus ei kuitenkaan ole valmistajien ohjeiden mukainen tapa jännitteettömäksi tekoon, vaikkakin mahdollistaa viranomaisten ajoneuvon turvallisemman käsittelyn. Vaurioituneeseen järjestelmään voi kuitenkin esimerkiksi kondensaattoreihin jäädä virtaa tai vaurioituneessa korkeajänniteakustossa on voinut käynnistyä vaarallisia, kemiallisia reaktioita moduulien vaurioituttua. Hätäkatkaisimen tai huoltoerottimen irrotuksella jännitteettömäksi tehtyihin sähköautoihin on siis suhtauduttava ja työskenneltävä tietyllä varovaisuudella ennen kuin kaikki vauriot ovat kartoitettu.

Vaurioituneen sähköauton kuljettamisessa pois vahinkopaikalta on myös omat haasteensa. Hinausauton kuljettaja voi vahinkopaikalla vain pintapuolisesti arvioida auton vaurioita, eikä välttämättä edes pysty havaitsemaan esimerkiksi pohjassa olevan akuston vaurioita. Jännitteetön auto tai muulla tavoin viallinen voimalinja eli korkeajännitejärjestelmä voi estää sen, ettei autoa välttämättä pystytä

asettamaan vapaalle eli auton pyöriä ei saada pyörimään hinausauton lavalle nostamista helpottamiseksi.

6 POHDINTA

Opinnäytetyölle asetetuissa tavoitteissa onnistuttiin, sillä työstä saatiin varsin informatiivinen kokonaisuus, joka on sisällöltään sellaista, että vähemminkin autoihin perehtynyt pystyy ymmärtämään esitettyjä asioita. Työstä voidaan hyödyntää tiettyjä kappaleita esimerkiksi osana perehdytyksen materiaaleja korjaamon työntekijöille tai vahinkotarkastajille. Kokonaista työtä voidaan käyttää myös informatiivisena pakettina aiheeseen liittyvän tiedon jakamiseksi taikka lähtenä tietoa etsivälle.

Opinnäytetyössä käytiin esimerkkitapausten kautta läpi yleisimpiä korkeajännitejärjestelmien vaurioita. Kuvalliset esimerkit helpottavat ymmärtämään aiheeseen perehtymätöntä minkälaisista vahingoista on kyse ja auttavat hahmottamaan esimerkiksi, miten vain muutaman millimetrin syvät naarmut akustossa voivat aiheuttaa kymmenien tuhansien eurojen kustannukset.

Vaikka opinnäytetyössä on esitetty paljon haasteita liittyen sähköautojen vauriokorjauksiin, voidaan kuitenkin yleisesti todeta, että autoalalla ei ole suurta hätää kyseisten asioiden kanssa. Vaikka ongelmat eivät ole tällä hetkellä laaja-alaisia, mutta niitä ei kuitenkaan pidä sivuuttaa vaan niihin tulisi eri autoalan toimijoiden alkaa reagoimaan ja etsimään ratkaisuja, sillä nykyisten arvioiden perusteella liikenteen sähköistyminen tulee jatkamaan kasvua. Kasvun myötä sähköautojen määrä lisääntyy, mikä tulee lisäämään opinnäytetyössä esitettyjen haasteiden yleisyyttä.

LÄHTEET

Ahtiainen L. 2019. Porsche Taycan, mitä numeroiden takaa paljastuu? Moottori -lehti. Viitattu 3.3.2024. <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/porsche-taycan-mita-numeroiden-takaa-paljastuu/>

Autoalan tiedotuskeskus. 2024. Ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimatilastot. Viitattu 29.1.2024. https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/henkiloautojen_kayttovoimatilastot,

Bosch. 2018. Automotive Handbook. 10. painos. Englanti: Karlsruhe.

Conquer. 2023 On-board charger circuit protection. Viitattu 5.5.2023. <https://www.conquer.com.tw/media/newsinfo?NId=32>

Copart. 2024a. Maxus EUNIQ 5. Viitattu 7.5.2024. <https://www.copart.fi/lot/50337479>

Copart. 2024b. Maxus EUNIQ 6. Viitattu 24.4.2024. <https://www.copart.fi/lot/50331226>

Copart. 2024c. MG Marvel. Viitattu 24.4.2024. <https://www.copart.fi/lot/50331348>

Copart. 2024d. Renault Zoe. Viitattu 7.5.2024. <https://www.copart.fi/lot/50339678>

Copart. 2024e. Tesla Model S. Viitattu 5.5.2024. <https://www.copart.fi/lot/50333060>

Hedin Automotive. n.d. MG Marvel R. Viitattu 5.5.2024. <https://www.hedinautomotive.fi/mg/mg-marvel-r/>

Isomäki R. 2021. Sähköautot yleistyvät vauhdilla, mutta litiumakkuja varjostaa lapsityövoima ja ympäristöuhot. Yle. Viitattu 17.4.2024. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2021/05/19/sahkoautot-yleistyvat-vauhdilla-mutta-litiumakkuja-varjostaa-lapsityovoima-ja>

Kokkonen E. 2019. Tiedätkö miten sähköauton akut toimivat? Moottori -lehti. Viitattu <https://moottori.fi/uutinen/tiedatko-miten-sahkoauton-akut-toimivat-volks-wagen-kertoo/>

Kokkonen E. Saarinen J. Tuppurainen M. 2024. Moottori käyttötestiauto koki pohjakosketuksen. Moottori -lehti. Viitattu <https://moottori.fi/testi/moottorin-kayttotestiauto-koki-pohjakosketuksen-kustannusarvio-jopa-15-000-euroa/>

Korikorjaamoluokitus. n.d. Tietoa hybridi- ja sähköautojen käsittelystä. Viitattu 16.4.2024 <https://korikorjaamoluokitus.fi/uutiset/tietoa-hybridi-ja-sahkoautojen-kasittelysta/>

Liikenne- ja potilasvahinkolautakunta. n.d. Käyttöhyödyn menettäminen. Viitattu 19.5.2024. <https://www.liipo.fi/liikennevahingot/korvausohjeet/esinevahingot/kayttohyodyn-menettaminen.html>

Liikennevakuutuskeskus. 2019. Uusi selvitys: Sähköautoilussa uudenlaisia riskejä ja kolarit tulevat kalliiksi. Viitattu 14.5.2024. <https://www.lvk.fi/liikennevakuutuskeskus/tiedotteet/2019/uusi-selvitys-sahkoautoilussa-on-uudenlaisia-riskeja-ja-kolarit-tulevat-kalliiksi/>

Motiva. 2024a. Sähköautot. Viitattu 17.3.2024. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/valitse-auto-viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/>

Motiva. 2024b. Sähkömoottorit. Viitattu 3.3.2024. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/valitse-auto-viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorit/>

Traficom. 2022. TRAFICOM/423528/03.04.00/2020 Katsastuksen arvosteluprusteet. Viitattu 15.4.2024 <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/454001/48302>

Plugit. n.d.a Latauspistoketyypit sähköautoille. Viitattu 5.5.2024 <https://plugit.fi/artikkelit/latauspistoketyypit-sahkoautoille/>

Plugit. n. d.b Sähköauton pikalataus – kaikki mitä sinun tulee tietää. Viitattu 11.4.2024 <https://plugit.fi/artikkelit/sahkoauton-pikalataus/>

Schmidt T. 2023. Hydridi- ja sähköajoneuvot – tekniikkaa, huoltoa ja testausta. 4. painos. Suomi: Suomen Autotekninen Liitto ry.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Viitattu 9.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>

Tuppurainen M. 2024. Tanjan sähköauto on odottanut korjausta lokakuusta asti – varaosien saatavuus viivästynyt kuukausilla. Moottori -lehti. Viitattu 14.5.2024. <https://moottori.fi/uutinen/tanjan-sahkoauto-on-odottanut-korjausta-lokakuusta-asti-varaosien-saatavuus-viivastyttanyt-kuukausilla/>

Työturvallisuuskeskus. 2018. Autoalan työsuojeluopas. Viitattu 7.4.2024. <https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/03/Autoalan-tyosuojeluopas.pdf>

Valeo. 2023. EV High voltage on-board charger. Viitattu 5.5.2024. <https://www.valeo.com/en/catalogue/pts/ev-high-voltage-on-board-charger/>

Verkkokoulu. n.d. Autoalan sähkötyöturvallisuus – Autosähköri SFS 6002. Viitattu 9.4.2024. <https://verkkokoulu.com/product/autoalan-sahkotyoturvallisuus-autosahkari-sfs-6002/>

Wennberg, I. 2020. Sähköistetyt ajoneuvot palokunnan näkökulmasta. Viitattu 29.4.2024 <https://palokuntalainen.fi/2020/08/24/sahkoistetyt-ajoneuvot-palokunnan-nakokulmasta-ajoneuvotyypit/>

LIITTEET

Liite 1. Mercedes-Benz akustojen mittausohje (Veho 2024)

1(8)

AR47.70-P-0017-02A	Check housing of lithium-ion battery		
Danger	Risk of fire /risk of explosion due to short circuit and escaping oxyhydrogen gas. Risk of (burn) injury caused by caustic burns to eyes, skin and mucous membranes from battery electrolyte/mist, short circuit and arcing. Risk of poisoning caused by swallowing battery electrolyte or absorption of lead through the skin or body orifices. Risk of death due to voltage $U \geq 30$ V AC and $U \geq 60$ V DC.	No fires, sparks, open flames, or smoking. Wear acid-resistant gloves, clothing, and glasses. Pour battery acid only into suitable and appropriately marked containers.	AS54.10-Z-0001-01A
Danger	Risk of death when working on component parts and systems with $U \geq 30$ V alternating voltage (AC) or $U \geq 60$ V direct voltage (DC)	Do not touch damaged or defective live component parts and lines or non-insulated electrical connections and lines.	AS00.00-Z-0035-01A
Notice	General information on vehicles with high-voltage on-board electrical system and/or lithium-ion battery and/or gaseous-fuel drive system as well as personal protective equipment		AH00.00-Z-0300-01A
Notice	Notes on battery Notes on safety-relevant components		AH54.10-P-0001-01A AH00.00-Z-0019-01A

Model all (CAR, smart)

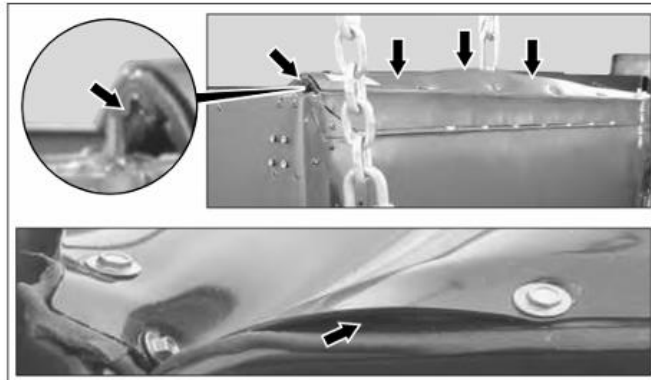
Mechanical protective cover/housing damaged: B1a/b cracks or openings can be recognized on the housing

- Check lithium-ion battery for cracks and/or openings (arrows), e. g. caused by the breaking off of housing parts.

If cracks or openings are detected, there is a danger of possible internal damage or possible ingress of foreign objects or fluids, which can lead to damage or short circuits in the lithium-ion battery.

↓

Immediately make an emergency call under the respective location-specific and country-specific emergency call number and do not touch the high-voltage battery; vacate the danger zone.



P54.10-3850-05

Mechanical protective cover/housing damaged: B2a/b critical dent depths/deformation of the housing exceeded

- Check the housing of the lithium-ion battery incl. threaded connections, attaching parts, and, if applicable, attaching parts that are attached firmly to the housing for mechanical deformation.

If there is a problem,

↓

Perform operation steps 3 to 5.

i If any dents or deformations are detected, there is a potential danger of internal damage, which can lead to damage or short circuits in the lithium-ion battery.

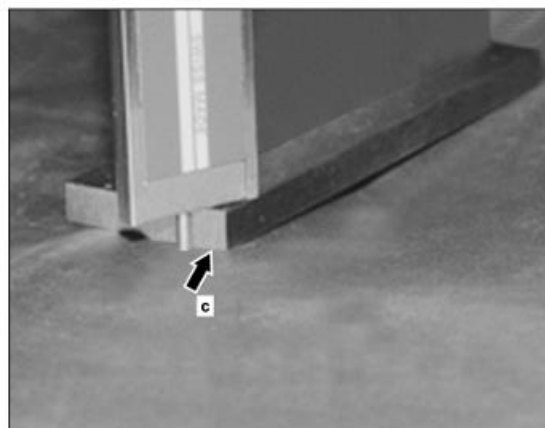
- 3 Determine height of straightedge, scale ruler or contact angle as a point of origin at the non-deformed housing contour (arrow c).

i Commercially available devices/tools

Vernier caliper with a round measuring blade with a diameter of 1.5 mm

Straightedge, ruler, or a contact angle

i For measuring the dent depths, it is important to measure the dent depths against a reference line (original, not deformed, housing contour) using suitable aids e.g. a straightedge, a ruler, or a contact angle.



P54.10-4797-11

- 4 Check whether a dent depth (d) of 2 mm is exceeded. If vehicles without a EB300, EB301, EB311, EB312, EB330, EB40x or EB42x high-voltage battery are tested.

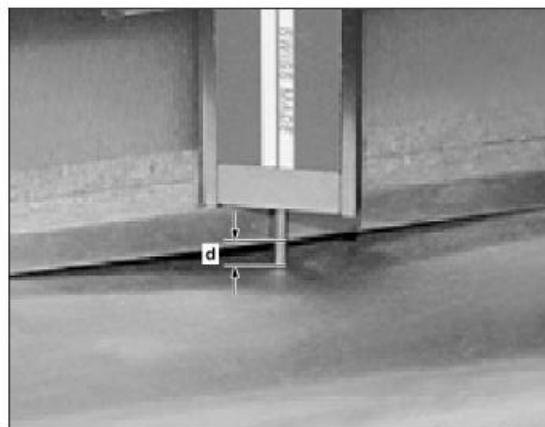
i Dent depth (d) \leq 2 mm: Transport approval

Dent depth (d) $>$ 2 mm: No transport approval

If the maximum dent depth (d) prevents transport approval,



contact the responsible MPC/general representative.



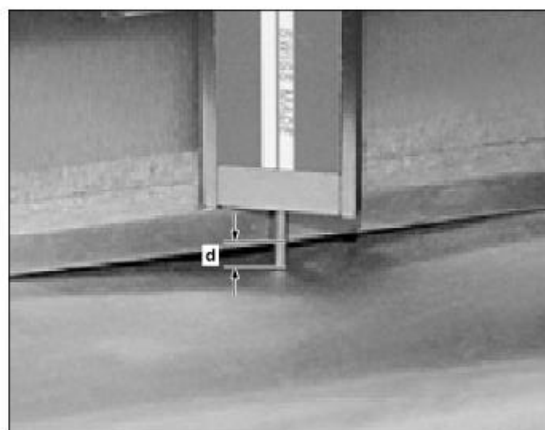
P54.10-4798-11

- 5 Check whether the dent depth (d) exceeds the permissible limits in areas (A, B, C, D). If vehicles with a EB300 or EB301 high-voltage battery are tested.

If the maximum dent depth (d) prevents transport approval,



contact the responsible MPC/general representative.

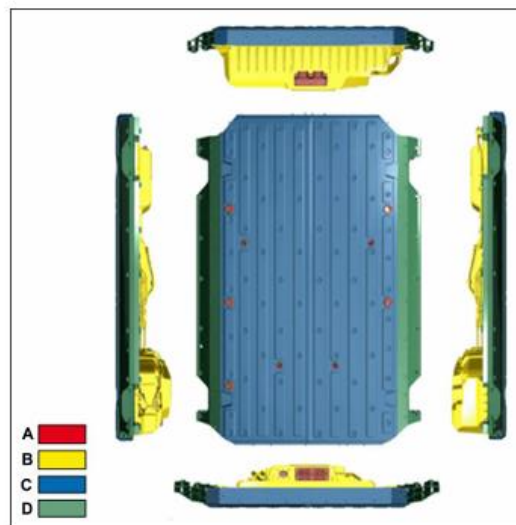


P54.10-4798-11

Permissible dent depths (d) for vehicles with EB300 or EB301 high-voltage battery

- A: Evaluation according to B1, B3 and B4
- B: ≤ 2 mm
- C: ≤ 5 mm
- D: ≤ 10 mm

i If the permissible dent depth (d) in one area (A, B, C, D) is exceeded, no transport approval is granted.



P47.70-A163-82

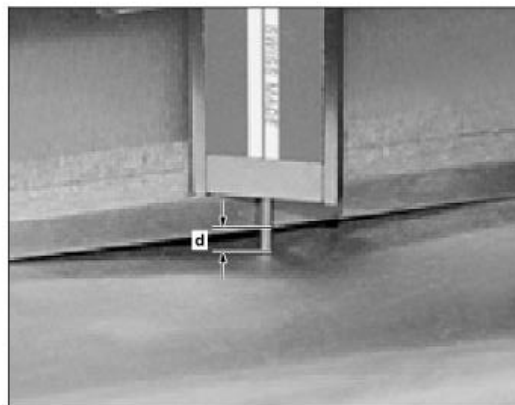
- 6 Check whether dent depth (d) exceeds permissible limit values in areas (A, B, C, D, E).

If vehicles with EB311, EB312, EB40x or EB42x high-voltage battery will be checked.

If the maximum dent depth (d) prevents transport approval,



contact the responsible MPC/general representative.

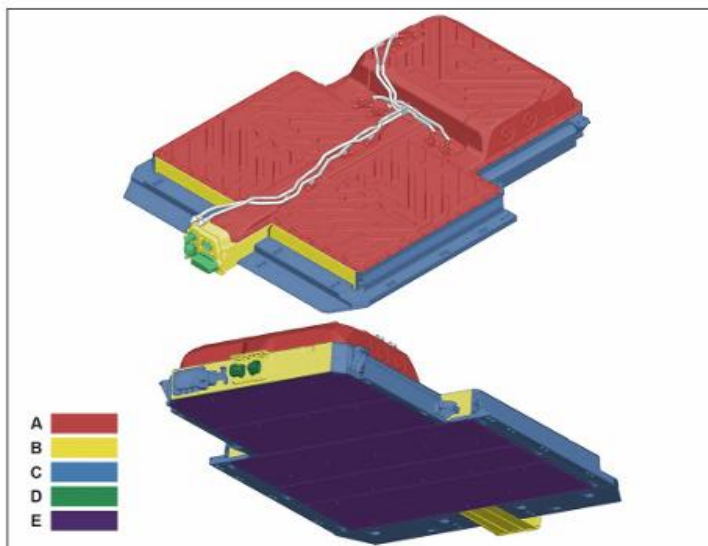


P54.10-4798-11

Permissible dent depth (d) for vehicles with EB311, EB312 high-voltage battery

- A: ≤ 2 mm
- B: ≤ 2 mm
- C: ≤ 10 mm
- D: Evaluation according to B1, B3 and B4
- E: ≤ 3 mm

i If permissible dent depth (d) in one area (A, B, C, D, E) is exceeded, transport approval is not granted.

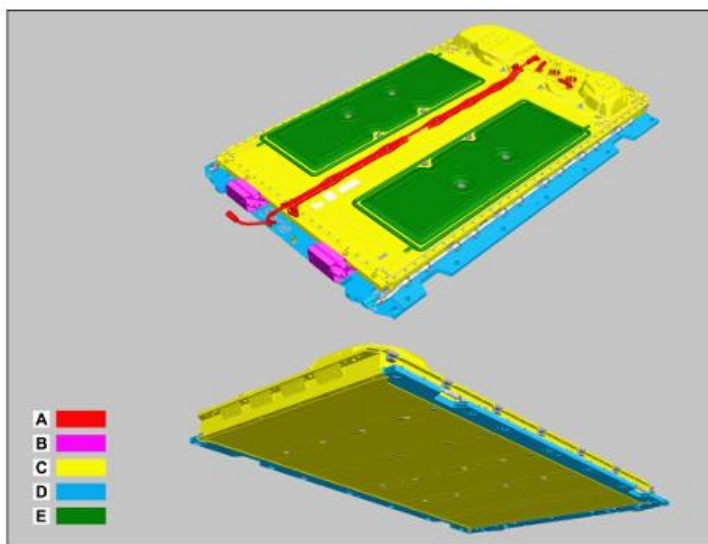


P47.70-A188-76

Permissible dent depths (d) for vehicles with EB40x or EB42x high-voltage battery

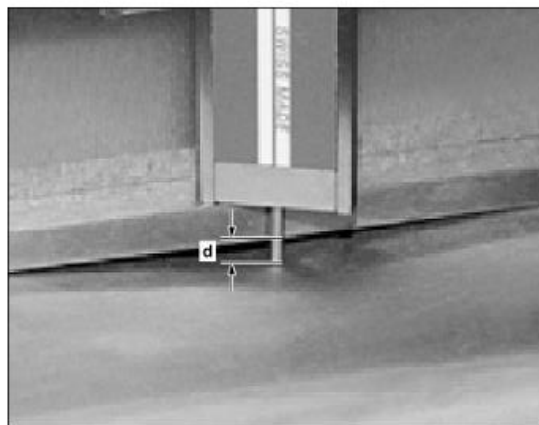
- A: Evaluation according to B1, B3 and B4
- B: ≤ 50 mm
- C: ≤ 2 mm
- D: ≤ 5 mm
- E: ≤ 10 mm

i If permissible dent depth (d) in one area (A, B, C, D, E) is exceeded, transport approval is not granted.



P47.70-A470-76

- 7 Check whether dent depth (d) exceeds permissible limit values in areas (A, B).
 If vehicles with EB330 high-voltage battery are tested.
 If the maximum dent depth (d) prevents transport approval,
 ↓
 contact the responsible MPC/general representative.

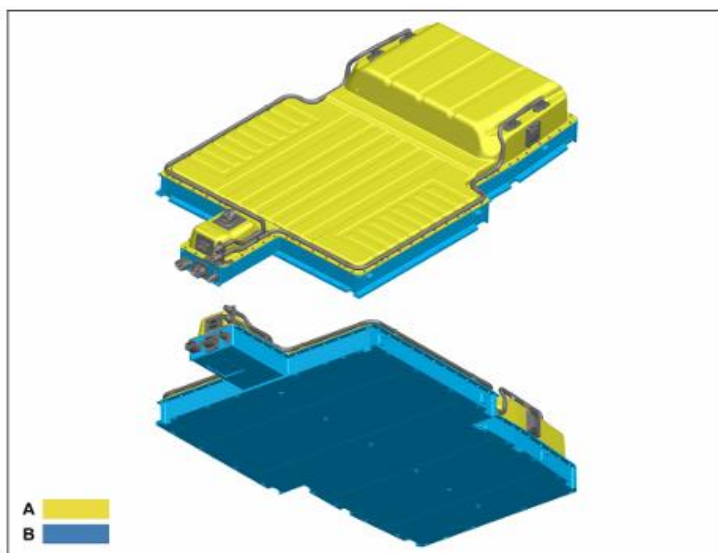


P54.10-4796-11

Permissible dent depths (d) for vehicles with EB330 high-voltage battery

- A: ≤ 2 mm
- B: ≤ 5 mm

i If permissible dent depth (d) in an area (A, B) is exceeded, transport approval is not granted.

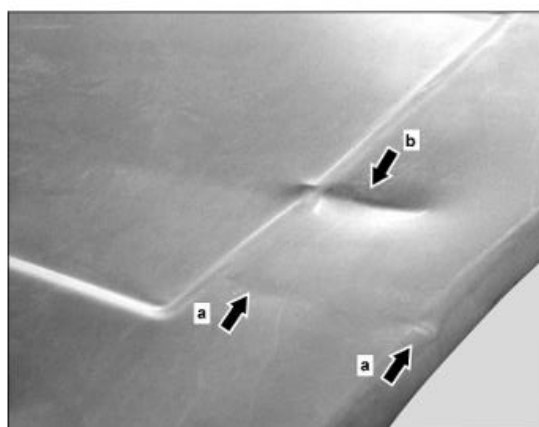


P47.70-A750-76

Mechanical protective cover/housing damaged: B3 all dents/deformations must be recorded with the measured dent depths in the table

- 8 Record all dents/deformations with location, type, and dent depths.
i Enter the lengths, widths, and depths of the dent depths. Record location of the dents/deformations in the drawing in the "analysis sheet for the transportability of high-voltage batteries form."

- a Permissible dent depths
- b Impermissible dent depths (exclusion criteria for transport approval)



P54.10-4796-11

Mechanical protective cover/housing damaged: B4 Electrical connector and its surroundings damaged

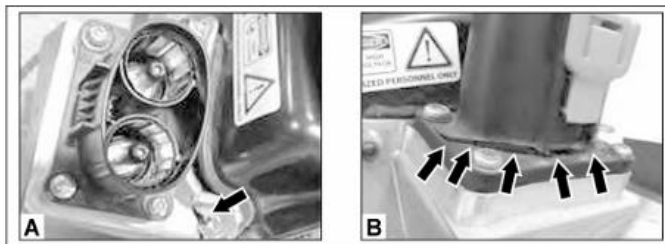
9 Check electrical contacts (plug, bushes, bolts, posts etc.) and check connections of the lithium-ion battery for damage (arrows).

10.1 If an electrical contact (plugs, bushes, bolts, posts etc.) of the lithium-ion battery is damaged.

Contact the responsible MPC/ general representative and determine further safety precautions so that touching live parts is safely prevented.

10.2 If no electrical contact (plugs, bushes, bolts, posts etc.) of the lithium-ion battery is damaged.

Cover contacts (plugs, bushes, bolts, posts etc.) with battery-specific cover caps so that touching is ruled out and ingress of objects and fluids is safely prevented.



P54.10-3852-04

Mechanical protective cover/housing damaged: B5 pressure relief device triggered/open/damaged

11 Check pressure relief device for integrity.
If the pressure relief device is triggered or if the pressure relief device is open,

↓
Check lithium-ion battery for electrolyte leakage.

Check lithium-ion battery for electrolyte leakage

- 12 Check lithium-ion battery for pungent odor caused by leaking electrolyte.

i Avoid direct skin contact with electrolyte that may have leaked.

Electrolyte is volatile and has a pungent odor.

- 13 Wear personal protective equipment (PPE) or location/country-specific protective clothing when working with electrolyte.

If a pungent odor is noticeable.

i Personal protective equipment for working with electrolyte consists of the following parts:

Protective gloves (standard EN 60903:2012 class 0 (designation A (acid), A+H (acid + oil), or R (acid + oil + ozone))).

Tightly fitting safety glasses, goggles, or face protection shield.

Long-sleeved protective clothing.

Respiratory protection – depending on the amount of electrolyte released and the intensity of the release.

- 14 Inspect housing of the lithium-ion battery for signs of electrolyte leakage.

i Avoid direct skin contact with electrolyte that may have leaked.

i Electrolyte may have different colors depending on the reaction (from light/clear to dark/opaque). If the cell only has mechanical damage, the electrolyte is clear.

If there is an electrolyte leakage:

↓
Evacuate danger zone and keep a safe distance.

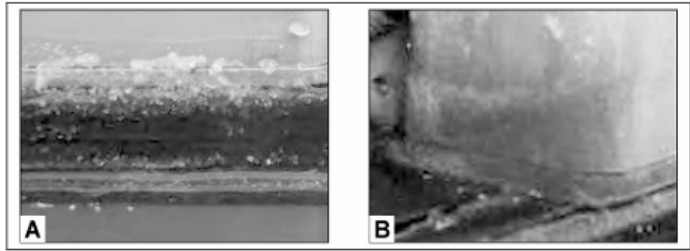
Ensure that working area is well ventilated.

Wait for possible reaction of electrolyte (at least 20 min).

Bind escaped electrolyte with an absorber (vermiculite) and transfer to containers designated for disposal.

Clean component parts with shop towel and transfer shop towels to containers designated for disposal.

If the prerequisites for removal are not met in the event of electrolyte leakage, make an emergency call to the



P54.10-3849-04

respective location-specific and country-specific emergency call number immediately; do not touch high-voltage battery and vacate danger zone.

- A *Electrolyte as gelled residual layer*
- B *Discoloration due to electrolyte on the housing*