



Eetu Kokkonen

Ammattioppilaitoksen opetustarpeet korkeajännitejärjestelmien korjauksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

25.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Eetu Kokkonen
Otsikko:	Ammattioppilaitoksen opetustarpeet korkeajännitejärjestelmien korjauksissa
Sivumäärä:	29 sivua + 1 liite
Aika:	25.4.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Autosähkötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Sanna Heikkinen Opettaja Jari Tossavainen, Ylä-Savon Ammattiopisto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä Ajoneuvon korkeajännitejärjestelmien korjaus -opintojaksolla on oleellista opettaa ammattioppilaitoksessa.

Työ ideoitiin ja toteutettiin yhteistyössä Ylä-Savon Ammattiopiston kanssa. Työssä selvitettiin, millaisia vaatimuksia autoalan perustutkintoon valinnaisena kuuluvassa opintojaksossa ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän korjaustyö on ja mitä sillä tarkemmin kannattaisi opettaa, jotta se valmistaisi oppilaat mahdollisimman hyvin työelämään.

Työ toteutettiin pääasiassa automaahantuojuille lähetetyn lomakekyselyn avulla. Kyselyssä selvitettiin sähkö- ja hybridautojen korkeajännitejärjestelmien yleisimpiä vikoja sekä auton asentajien tulevaisuudessa tarvitsemia taitoja.

Työn tuloksena saatiin vahvistuksia sille, mitä kyseisessä opintojaksossa on tarkoituksenmukaista opettaa. Tutkimuksessa havaittiin, että korkeajännitejärjestelmien parissa työskentelemään tähtäävälle automekaanikko-opiskelijalle on oleellisempaa ymmärtää sähkön ja sähköjärjestelmien toimintaa paremmin, kuin vain osata kunnostaa yksittäisiä komponentteja. Lisäksi todettiin, että opetuksessa on tärkeää keskittyä etenkin eristysvastusmittauksiin.

Avainsanat: sähköauto, sähköauton korjaaminen, opetus, korkeajännitejärjestelmä

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Eetu Kokkonen
Title: Educational needs of vocational schools in high-voltage system repairs
Number of Pages: 29 pages + 1 appendix
Date: 25 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Electronics Engineering
Supervisors: Sanna Lehtonen, Senior Lecturer
Jari Tossavainen, Teacher, Ylä-Savon Ammattiopisto

The aim of this thesis was to investigate the essential content to be taught in vocational schools in the course “High-voltage System repair in vehicles”. The work was conceived and conducted in collaboration with Ylä-Savo Vocational College. It aimed to determine the requirements for repairing high voltage systems in vehicles, which is an optional subject of the automotive basic qualification. In addition the goal was to identify specific areas that should be taught to better prepare students for working life.

The thesis was conducted mainly as a survey, which was sent to car importers. The survey aimed to identify the most common faults in the high-voltage systems of electric and hybrid vehicles, as well the skills required by automotive technicians in the future.

The result of this thesis provided a confirmation regarding what skills are appropriate to teach in this particular course. It was observed that for students aiming to work with high-voltage systems, it is more important to have thorough understanding of electricity and electrical systems than just the ability to repair individual components. Additionally, it was noted that particular emphasis should be placed in teaching insulation resistance.

Keywords: electric vehicle, electric vehicle repairs, education, high-voltage system

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkö- ja hybridautot Suomessa	2
3	Opintojakson vaatimukset ja valmiudet	4
3.1	Opintojakson vaatimukset	4
3.2	Opiskelijoiden valmiudet ennen opintojaksoa	6
3.3	Ammattiopiston toiveet	6
4	Korkeajännitejärjestelmän komponentit	7
4.1	Sähkömoottori ja sähkökone	8
4.2	Korkeajänniteakku	9
4.2.1	Korkeajänniteakun rakenne ja elinikä	9
4.2.2	Akunhallintajärjestelmä	10
4.3	Vaihto- ja tasasuuntaajat	10
4.4	Latausjärjestelmät	11
4.4.1	Latausliittimet	12
4.5	Lämmönhallintajärjestelmä	13
5	Kyselytutkimus korkeajännitejärjestelmien vioista	14
5.1	Yleisimmät viat	15
5.1.1	Missä viat yleisimmin ovat	15
5.1.2	Yleisimmät akkuviat	16
5.1.3	Latausjärjestelmän viat	17
5.1.4	Sähkömoottorien ja -koneiden viat	18
5.1.5	Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän viat	19
5.2	Tarvittavat tulevaisuuden taidot	19
6	Tuloksien ja johtopäätöksien hyödyntäminen opetuksessa	21
6.1	Sähköjärjestelmien perusteiden opetus	22
6.2	Merkkikohtaisen diagnoosilaitteen käyttö	23
6.3	Eristysvastusmittaus	24
6.4	Akkujen kunnostuksen opetus	25

7	Yhteenveto	25
	Lähteet	28
	Liitteet	
	Liite 1: Kyselylomake	

Lyhenteet

- EU: Euroopan unioni.
- OSP: Osaamispiste. Osaamisen laajuusyksikkö, jolla kuvataan ammatillisen tutkinnon osan laajuutta.
- MEB: *Modular E-Antriebs-Baukasten*. Volkswagen-yhtymän täyssähköautoille tarkoitettu perusrakenne.
- DoD: *Depth of discharge*. Purkussyvyys on asteikko, joka kertoo kuinka iso osa akun nimelliskapasiteetista puretaan käytännössä.
- BMS: *Battery management system*. Akunhallintajärjestelmä. Tehtävänä valvoa akun moduulien toimintaa.
- SoC: *State of charge*. Akun varaustila.
- SoF: *State of function*. Akun toimintatila.
- SoH: *State of health*. Akun kunto.
- AC: *Alternating current*. Vaihtosähkö.
- DC: *Direct current*. Tasasähkö.
- CCS: *Combined charging system*. Pikalatausliitäntä.
- PTC: *Positive temperature coefficient*. Positiivinen lämpötilakerroin. PTC-vastus on termistori, jonka resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa. Käytetään sähköajoneuvoissa lämpöelementteinä.
- HV: *High voltage*. Korkeajännite.

1 Johdanto

Sähkö- ja lataushybridiautojen yleistyessä Suomessa myös autokorjaamoille tullaan tarvitsemaan yhä enemmän henkilöstöä, joka on kykeneväinen korjaamaan korkeajännitejärjestelmien vikoja. Tämän vuoksi myös sähköautojen korjaamista on sisällytettävä myös ammattiopistojen opetukseen. Tässä insinööriyössä selvitettiin, mitä vaatimuksia sähkö- ja hybridiautojen korkeajännitejärjestelmien korjaus -opintojaksolle on asetettu, mitä korkeajännitejärjestelmien vikoja sähkö- ja lataushybridiautoissa todennäköisimmin ilmenee ja ennen kaikkea mitä automekaanikko-opiskelijoille kannattaisi korkeajännitejärjestelmistä opettaa.

Insinööriyön tavoitteena oli kerätä tietoa autojen korkeajännitejärjestelmien yleisimmistä vioista, tärkeimmistä vianselvitysmenetelmistä ja yleisimmistä korjauksista, jotta autoalan opetusta voidaan keskittää oleellisiin osa-alueisiin.

Insinööriyössä kerättiin tietoa pääasiassa automaahantuojuille lähetetyn kyselylomakkeen avulla.

Aihe on ideoitu yhdessä Ylä-Savon Ammattiopiston autoalan opettaja Jari Tossavaisen kanssa. Tarkoituksena oli löytää aihe, joka on mielenkiintoinen insinööriyöntekijälle ja hyödyllinen ammattiopistolle.

Ylä-Savon Ammattiopisto on ammatillisen koulutuksen moniosaaja. Ammatillista koulutusta YSAO:n ja sen edeltäjien toimesta on järjestetty Ylä-Savossa jo kohta 150 vuotta. Ammattiopistossa työskentelee yli 220 eri alan ammattilaista.

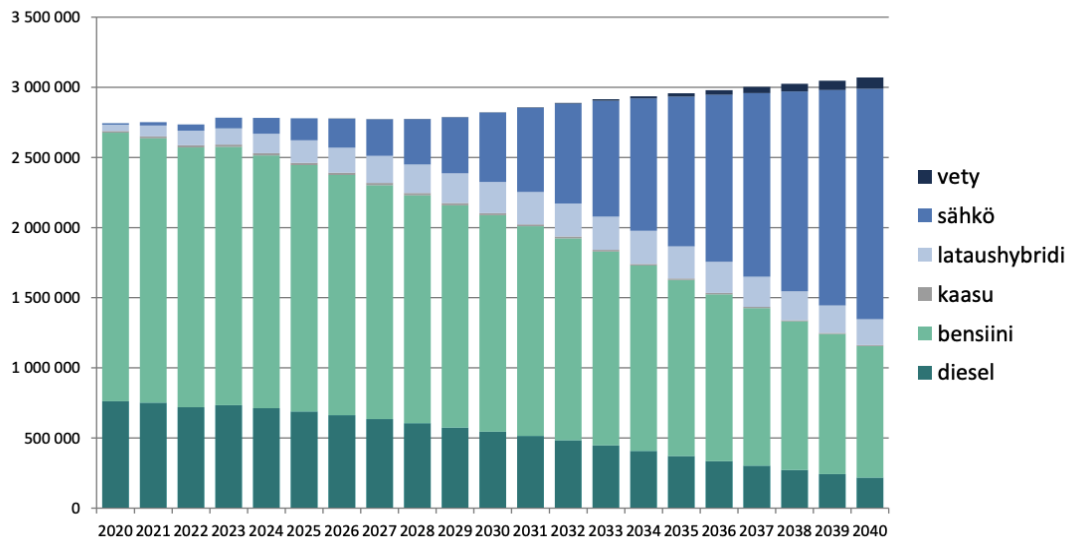
2 Sähkö- ja hybridautot Suomessa

Sähkö- ja hybridautojen määrä on globaalisti vahvassa kasvussa, eikä Suomi ole poikkeus. Vuoden 2023 lopussa Suomessa oli liikennekäytössä 87 661 täyssähköautoa ja 135 406 lataushybridia [1]. Lisäksi Suomessa on runsaasti ns.perinteisiä, ei ulkoisesta virtalähteestä ladattavia hybridejä, jotka lasketaan Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien tilastoissa tavallisiksi bensiini- ja dieselautoiksi.

Suomi on sitoutunut vähentämään CO₂-, eli hiilidioksidipäästöjään 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä, kun vertailukohtana käytetään vuoden 1990 tasoa [2]. Tämä tarkoittaa merkittäviä päästötavoitteita myös tieliikenteelle, joka muodostaa Suomen kasvihuonepäästöistä 20,1 %. Euroopan unioni on myös asettanut autonvalmistajille erilliset päästötavoitteet, joiden mukaan vuonna 2030 EU-markkinoille saatettujen uusien henkilöautojen keskipäästöjen pitäisi olla 55 % vähäisempiä verrattuna vuoteen 2021, ja vuoden 2035 tavoite on nollapäästöissä. [4]

Vaikka korkeajännitejärjestelmällisiä ajoneuvoja on koko Suomen autokantaan nähden toistaiseksi varsin vähän, tulee tämä muuttumaan päästötavoitteiden myötä varsin nopeasti. Vuonna 2035 Suomessa arvioidaan ylittyvän miljoonan täyssähköauton raja. Viisi vuotta myöhemmin täyssähköautoja arvioidaan olevan jo yli 1,6 miljoonaa. [4] (Kuva 1.)

Henkilöautot - perusennuste autokannan kehityksestä



Kuva 1. Autoalan käyttövoimaennuste vuosille 2023–2040 [4].

Tämä tarkoittaa, että myös autojen ympärille rakentuvan toiminnan pitää uusiutua. Tulevaisuudessa automekaniikoilta tullaan muun muassa vaatimaan hyvin erilaisia asioita kuin nykyään. Ellei ei ole korkeajännitejärjestelmistä ymmärtäviä automekaniikkoja, ei tieliikenteen sähköistymiselle ole edellytyksiä.

Tämän vuoksi vaaditaan automekaniikojen koulutukseen liittyviä toimia. Uusia automekaniikko-opiskelijoita tarvitaan erikoistumaan entistä enemmän autojen sähkötekniikkaan, ja lisäksi jo työelämässä oleville mekaniikoille olisi syytä tarjota lisäkoulutuksia ammattitaidon pitämiseksi ajan tasalla.

Tämä kuitenkin koskettaa ainoastaan osaa automekaniikko-opiskelijoista. Suurin osa auton komponenteista pysyy sähköautoissa täysin samanlaisena kuin polttomoottorisissakin autoissa. Isolle osalle mekaniikoista tulee siis riittämään, että he tunnistavat korkeajännitejärjestelmän piiriin kuuluvat osat eivätkä lähde suorittamaan niille huoltoja tai korjauksia ilman asianmukaista koulutusta aiheeseen. Osalle tulevista mekaniikoista korkeajännitejärjestelmät tulevat kuitenkin tarjoamaan erinomaisen mahdollisuuden hankkia osaamista aiheesta, johon iso osa mekaniikoista ei ole vielä erikoistunut. Tällainen

erikoistuminen parantaa mahdollisuuksia työllistymiseen, parempaan palkkaan ja uralla etenemiseen.

3 Opintojakson vaatimukset ja valmiudet

Sähkö- ja lataushybridiautojen tekniikassa on paljon poikkeavuuksia perinteisiin polttomoottoriautoihin, joissa ei ole lainkaan korkeajännitejärjestelmää.

Uuden tekniikan vuoksi myös ammattiopetuksen perusteisiin päivitettiin vuonna 2022 osaksi valinnainen opintokokonaisuus Ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän korjaustyö, 15 osp (osaamispistettä). Ylä-Savon Ammattiopistolla kyseinen opintokokonaisuus kuuluu diagnoosiasentajan erikoistumisvaihtoehtoon, joten kaikki automekaanikko-opiskelijat eivät tule kyseistä kokonaisuutta suorittamaan.

3.1 Opintojakson vaatimukset

Ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän korjaustyö -opintokokonaisuuden vaatimukseen kuuluu seuraavat kohdat [5].

Valmistautuessaan ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän korjaustyöhön

- opiskelijan tulee noudattaa työaikoja
- edistää toiminnallaan työyhteistön työssä viihtymistä
- suojata ajoneuvo töiden ajaksi
- huomioida valmistajan takuuehdot, moottoriajoneuvojen korjausehdot ja ajoneuvoalan säädäntöjen vaikutukset työssään
- tunnistaa sähkö- ja hybridikäyttöisen ajoneuvon tekniikan ja siihen liittyvät apulaitteet sekä rakenteet
- varmistua työsuorituksesta vastaavan henkilön paikalla olemisesta
- merkitä työtila ja ajoneuvo lainsäädännön mukaisesti
- tehdä ajoneuvon vianhaku valmistajan ohjeen mukaisesti
- testata korkeajännitejärjestelmän toiminta diagnoositesterillä
- tarkistaa informaatiojärjestelmän viestit.

Tehdessään ajoneuvoon jännitteettömän korkeajännitejärjestelmän korjaustyötä opiskelijan tulee

- käyttää turvallisesti ja tarkoituksenmukaisesti työssä tarvittavia suojaimia, työvälineitä, materiaaleja ja työmenetelmiä
- osata lajitella syntyneet jätteet ja tuntea autoalan uusiokäytön periaatteet
- tehdä ajoneuvo jännitteettömäksi työsuorituksesta vastaavan henkilön ohjaamana
- kytkeä irti ja mitata ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän toiminta
- tarkastaa ajoneuvon järjestelmän toiminta työn jälkeen
- käyttää eristysvastusmittaria
- huoltaa sähkö- ja hybridiajoneuvon ilmastointi- ja lämmönhallintajärjestelmä
- hoitaa työhön liittyvä asiakaspalvelutilanne ja ymmärtää yrittäjyyden merkitys ajoneuvoalan töissä
- huolehtia työympäristönsä siisteydestä ja turvallisuudesta.

Autoalan töitä tehdessä opiskelijan tulee osata

- hyödyntää englanninkielistä materiaalia
- käyttää tieto- ja viestintätekniikan laitteita ja ohjelmistoja, sekä valmistajan ohjeita
- ylläpitää työkykyään ja työskennellä ergonomisesti
- läpäistä ajoneuvojen ilmastointilaittealan koulutus ja pätevyyskoe
- läpäistä autoalan SFS 6002 -sähkötyöturvallisuuskoulutus ja loppukoe.

Työlainsäädäntöön liittyen opiskelijan tulee

- tutustua alan työehtosopimuksen sisältöön ja periaatteisiin ja noudattaa niitä
- noudattaa voimassa olevaa työlainsäädäntöä ja alan työehtosopimusta.

3.2 Opiskelijoiden valmiudet ennen opintojaksoa

Ylä-Savon Ammattiopiston autoalan opiskelijat ovat tyypillisesti ennen Ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän korjaustyö -opintokokonaisuuden aloittamista jo tutustuneet ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmiin. Opiskelijat ovat yleensä ennen opintojakson alkamista suorittaneet sähkö- ja hybridiajoneuvon huoltotyö -opintokokonaisuuden.

Ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän korjaustyö -opintokokonaisuuden alkaessa opiskelijat tyypillisesti osaavat sähkö- ja hybridiajoneuvon huoltotyö -opintojakson perusteella edellä mainituista vaatimuksista jo noudattaa työaikoja edistää toiminnallaan työyhteisön työssä viihtymistä, huomioida valmistajan takuuehdot, moottoriajoneuvojen korjausehdot ja ajoneuvoalan säädäntöjen vaikutukset työssään, tarkistaa informaatiojärjestelmän viestit, käyttää turvallisesti ja tarkoituksenmukaisesti työssä tarvittavia suojaimia, työvälineitä, materiaaleja ja työmenetelmiä, lajitella syntyneet jätteet ja tuntea autoalan uusiokäytön periaatteet, huoltaa sähkö- ja hybridiajoneuvon ilmastointijärjestelmän, hyödyntää englanninkielistä materiaalia, käyttää tieto- ja viestintäteknikan laitteita ja ohjelmistoja sekä valmistajan ohjeita ja ylläpitää työkykyään ja työskennellä ergonomisesti. [6] Näihin osa-alueisiin ei siis tässä opinnäytetyössä tarvitse syventyä.

3.3 Ammattiopiston toiveet

Ylä-Savon Ammattiopiston edustajan opettaja Jari Tossavaisen kanssa sovittiin, että opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan, mitä opiskelijoille opintojaksolla tulisi tarkemmin opettaa. Sähköautokanta on verrattain uutta, joten niiden tyypillisistä vioista ei ole toistaiseksi paljoa tietoa. Lisäksi lisäalnessa sijaitsevan ammattiopiston alueella autokannan sähköistyminen on varhaisemmassa vaiheessa kuin eteläisemmässä Suomessa, joten paikallisilla korjaamoillakin on kokemusta aiheesta suhteellisen vähän, joka pienentää mahdollisuuksia korkeajännitejärjestelmien opiskeluun työharjoittelujaksoilla.

Tyypillisten vikojen selvittämisen jälkeen oli tarkoitus käydä ammattiopiston kanssa keskustelua siitä, miten kerättyä tietoa voidaan hyödyntää syksyllä 2024 ensimmäisen kerran alkavassa opintokokonaisuudessa. Ammattiopistolla on omistuksessaan opetuskäyttöä varten Volkswagen ID.3 -täyssähköauto ja Nissan Leaf -täyssähköauton komponentteihin perustuva sähköautosimulaattori.

Lisäksi asiakkaan toive oli, että opinnäytetyössä perehdytään tyypillisten vikakohteiden lisäksi eristysvastusmittauksen perusteisiin ja mahdollisesti myös korkeajänniteakkujen korjauksen opetusmahdollisuuksiin.

4 Korkeajännitejärjestelmän komponentit

Ladattavien autojen korkeajännitejärjestelmät sisältävät useita komponentteja, joita perinteisiä käyttövoimia hyödyntävissä autoissa ei ole. Osatakseen korjata tällaisia komponentteja täytyy työntekijän ymmärtää niiden tehtävät ja toimintaperiaatteet. Kuvan 2 Volvo-täyssähköauton poikkileikkausmallissa korkeajännitekomponentit on värjätty oransseiksi.



Kuva 2. Volvo XC40 -täyssähköauton poikkileikkausmalli.

Korkeajännitteajoneuvoiksi lasketaan yli 30 voltin vaihto- ja yli 60 voltin tasajännitettä käyttävät ajoneuvot [7]. Näin ollen esimerkiksi 48 voltin järjestelmiä hyödyntäviä kevythybridejä ei luokitella korkeajänniteajoneuvoiksi. Kyseiset järjestelmät myös perustuvat lähes täysin polttomoottorin toimintaan, ja sähköjärjestelmän tehtävänä on lähinnä säästää polttoainetta käynnistyksissä, liikkeellelähdöissä ja kiihdytyksissä. [8]

4.1 Sähkömoottori ja sähkökone

Usein sähkökoneesta käytetään termiä sähkömoottori. Nämä ovat kuitenkin erilaisia komponentteja. Sähkömoottorin tehtävänä on muuttaa säilötty energia (sähkö) liike-energiaksi. Sähkö- ja hybridautojen moottoreita käytetään kuitenkin myös moottorijarrutuksissa liike-energian muuttamiseksi takaisin sähköksi. Tätä tapahtuma kutsutaan regeneroinniksi. Kun kyseessä on laite, joka toimii samanaikaisesti generaattorina ja moottorina, on kyseessä kone.

Sähkökoneet ja -moottorit on sijoitettu täyssähköautoissa yleensä tasauspyörästä yhteyteen. Niitä on yleensä sarjavalmisteisissa sähköautoissa yksi tai kaksi kappaletta. [9]

Sähkömoottorin etu ajoneuvokäytössä verrattuna polttomoottoriin on sen välittömästi tuottama vääntömomentti, joka pysyy tasaisena tiettyyn nopeuteen asti. Tämän ansiosta sähköautot eivät usein tarvitse moniportaista vaihteistoa polttomoottoriauton tavoin.

Suurin osa nykyisissä sarjatuotantoautoissa käytettävistä sähkökoneista on vaihtovirtakoneita. Vaihtovirtakoneen vääntömomenttia ohjataan syötetyllä virralla, ja pyörimisnopeutta jännitteen taajuudella. [10]

Yleisesti käytössä olevia vaihtovirtakoneita on kahta erilaista: synkroninen ja asynkroninen. Asynkronisessa moottorissa roottori pyrkii seuraamaan staattorin pyörivää magneettivuota, mutta se pyörii aina hieman jäljessä vuohon nähden.

Synkroninen moottori puolestaan pyörii täsmälleen staattorilla pyörivän magneettikentän mukaisesti.

Asynkronisen moottorin etuna on yksinkertaisempi rakenne ja synkronisen moottorin etuna pienemmät häviöt.

4.2 Korkeajänniteakku

4.2.1 Korkeajänniteakun rakenne ja elinikä

Sähkö- ja hybridautojen sähkökoneet ja -moottorit saavat yleensä käyttöenergiansa ajoakulta. Ajoakkujen jännitteet voi edistyneimmissä sarjatuotantoisissa sähköautoissa nousta jopa 800 volttiin.

Ajoakut ovat modulaarisia, eli ne koostuvat pienempien osien – moduulien ja kennojen kokonaisuuksista. Esimerkiksi Volkswagenin täyssähköautoille suunnatun MEB-perusrakenteen (Modular E-Antriebs-Baukasten) 82 kilowattitunnin ajoakussa on 12 moduulia, joissa kussakin on 288 kennoa. [11]

Etenkin vanhemmissa hybrideissä käytettiin nikkeli-metallihybridiakkuja, mutta uusissa sähkö- ja hybridautoissa on tyypillisesti litiumioniakku.

Sähköautoilu herättää usein ihmisissä vastustusta juuri siksi, että akkujen eliniän ei uskota olevan muutamia vuosia enempää ja akun vaihtamisen arvioidaan maksavan aina kymmeniä tuhansia euroja.

Akun elinikä riippuu monesta tekijästä, kuten DoD:stä eli purkaussyvyydestä, akun pikalataamisesta ja akun lämpötilasta. Litiumioniakku voi kuitenkin kestää esimerkiksi 2 000 lataussykliä. [12] Esimerkiksi aiemmin tässä luvussa mainitun MEB-perusrakenteen 82 kWh:n akun käytettävissä oleva kapasiteetti on 77 kWh. Näin ollen akun elinikä olisi kulutuksella 25 kWh/100 km 616 000 km. Lataushybrideissä akun kapasiteetti on pienempi, jolloin akun kesto kilometreissäkin voidaan olettaa pienemmäksi lataussyklien perusteella. Esimerkiksi vuosimallin 2023 Porsche Cayenne -lataushybridin käytettävissä

oleva kapasiteetti on 21,8 kWh [13]. Näin ollen 2 000 lataussykliä tarkoittaisi samalla 25 kWh/100 km -kulutuksella 174 400:n sähköllä ajatun kilometrin elinikää akulle. Lataushybrideillä ajosuorite ei kuitenkaan koostu ainoastaan sähköllä ajamisesta, joten auton kokonaisajomäärä on todennäköisesti tuolloin huomattavasti enemmän.

Korkeajänniteakut on myös usein kunnostettavissa osissa. Esimerkiksi edellä mainittuun MEB-perusrakenteen akkuun yksi akkumoduuli maksaa merkkiliikkeessä 2 606 euroa ilman töitä ja tarvikkeita. Myös akun pohjalevy voi olla vaihdettavissa, jos siihen tulee pieni ulkoinen osuma. Vastaavasti joillain autonvalmistajilla akut eivät ole ainakaan merkkiliikkeessä kunnostettavissa ja akun vaihto voi oikeasti tulla maksamaan yli 30 000 euroa. [14]

4.2.2 Akunhallintajärjestelmä

BMS (Battery Management system) eli akunhallintajärjestelmä valvoo ajoakuston tilaa. Käytännössä BMS seuraa tauotta moduuleille ja/tai kennoille sijoitettujen antureiden kautta jännitettä, virtaa ja lämpötilaa. Näiden parametrien avulla BMS laskee SoC:n (State of Charge) eli akun varaustilan, SoF:n (State of Function) eli akun suorituskyvyn ja SoH:n (State of Healthin) eli akun kunnon. Näiden kolmen muuttujan avulla akunhallintajärjestelmä ohjaa korkeajännitekäyttöä.

Акунhallintajärjestelmä huolehtii siitä, ettei akku pääse varautumaan aivan täyteen tai tyhjenemään liian tyhjäksi, sekä akun tasapainottamisesta eli jokaisen kennon jännitteen säilyttämisestä samalla tasolla.

4.3 Vaihto- ja tasasuuntaajat

Kuten aiemmin kohdassa 3.1 todettiin, nykyaikaisten sähköajoneuvojen koneet toimivat vaihtosähköllä. Sähköenergiaa ei kuitenkaan voida säilöä vaihtosähkönä, joten auton sisällä energian on muutettava muotoaan. Tästä huolehtii vaihtosuuntaaja eli invertteri. Se muuntaa akulta saatavan tasasähkön

vaihtosähköksi, joka johdetaan koneen käyttövoimaksi. Invertterin virran määrällä ja taajuudella ohjataan koneen vääntömomenttia ja pyörimisnopeutta. Vastaavasti moottorijarrutuksissa regeneroitaessa invertteri muuttaa koneelta saatavan vaihtosähkön akulle tasasähköksi.

Suurimmassa osaa korkeajänniteajoneuvoistakin on erikseen perinteinen 12 voltin sähköjärjestelmä, jonka kautta käytetään esimerkiksi ajovaloja ja mukavuuslaitteita [15]. Tämän vuoksi tarvitaan myös tasasuuntaaja eli konvertteri. Konvertteri muuttaa korkeajännitteen 12 voltin sähköjärjestelmälle sopivalle tasolle eli noin 12–14 volttiin.

4.4 Latausjärjestelmät

Ladattavat autot eli lataushybridit ja täyssähköautot tarvitsevat nimensä mukaisesti lataamista. Lataustapahtumia on kahdenlaisia. Hitaampi AC (alternating current, vaihtosähkö) -lataus tunnetaan myös nimellä asiointilataus, nopeampi DC (direct current, tasasähkö) -lataus puolestaan nimellä pikalataus. Molempia lataustapoja hyödynnetään niin lataushybrideissä kuin täyssähköautoissa, mutta DC-lataus on lataushybrideissä huomattavasti harvinaisempi ominaisuus kuin täyssähköautoissa.

AC-lataus tapahtuu ajoneuvon sisäänrakennetun laturin kautta.

Sisäänrakennetun laturin tehtävä on muuttaa latausasemasta tai tilapäislatauslaitteesta saatava vaihtovirta akkuun säilöttäväksi tasavirraksi [16].

Sisäisellä latauslaitteella on maksimiteho, jolla se voi ladata. Etenkin lataushybrideissä on usein yksi- tai kaksivaiheisia latureita. Yleensä suurin laturin hyödyntämä virtamäärä on 16 tai 32 A. Esimerkiksi yksivaiheisen laturin, joka voi hyödyntää enimmillään 16 A:n virtaa, suurin mahdollinen latausteho on 3,7 kW. Vastaavasti täyssähköauto, joka osaa hyödyntää 16 A:n virtaa kolmivaiheisesti voi ladata 11 kW:n teholla. Tämä lasketaan kaavalla 1, jossa P on teho, U on jännite ja I on virta.

$$P = UI \quad (1)$$

DC-latauksessa ei käytetä auton sisäistä laturia, vaan virtaa syötetään suoraan auton akkuun. DC-latauksessa lataustehot ovat huomattavasti AC-latausta korkeampia, jopa useita satoja kilowatteja.

4.4.1 Latausliittimet

Ladattavissa autoissa on käytetty muutamia erilaisia latausliittimiä. Ensimmäisissä täyssähkö- ja lataushybridiautoissa käytettiin usein Type 1 -mallin liitintä AC-lataukseen, ja CHAdeMO-liitintä pikalataukseen.

Nykyisin yleisin AC-latauksen liitintä on Type 2 ja DC-latauksen CCS (combined charging system). Type 2 -liitintä sisältyy CCS-liitintään kuvan 3 tapaan, jolloin autoon tarvitaan ainoastaan yksi fyysinen liitin toisin kuin Type 1:n ja CHAdeMON kohdalla.



Kuva 3. CCS-latausliitintä Tesla Model X -sähköautossa.

4.5 Lämmönhallintajärjestelmä

Etenkin täyssähköautoissa auton lämmitysjärjestelmä poikkeaa merkittävästi perinteisistä polttomoottoriautoista. Polttomoottoriautoissa auton sisätiloja on lämmitetty moottorin tuottaman hukkalämmön avulla. Sähkömoottoreista ei kuitenkaan synny niiden paremman hyötysuhteen vuoksi tarpeeksi hukkalämpöä sisätilojen lämmittämiseen.

Lisäksi eri akkumateriaaleilla on eri lämpötilat, joissa ne pysyvät toimintakuntoisina tai optimaalisessa tilassa. Esimerkiksi yleisimmän litiumioniakun tulee pysyä alle 40 celsiusasteessa optimaalisten toimintojen ja parhaan käyttöiän takaamiseksi [10, s. 119]. Optimaalinen lämpötila, joka vaikuttaa esimerkiksi pikalatausnopeuteen on yleensä välillä 15–35 °C. Ilman aktiivista lämmönhallintaa akun lämpötila voi hyvinkin olla alle tai yli optimaalisen, jolloin esimerkiksi latausnopeutta täytyy rajoittaa ohjelmallisesti pidemmän akun eliniän takaamiseksi.

Joissain varhaisissa täyssähköautoissa nestekiertoista lämmönhallintajärjestelmää ei ulotettu akkuun vaan akkua lämmitettiin vastuksella ja jäähdytettiin passiivijäähdytyksellä. Tämä ei ollut optimaalista etenkin pikalatausten kannalta. Akun lämpötilan nouseminen liian korkealle tarkoitti esimerkiksi huomattavan heikkoa pikalataustehoa ja akun kunnon nopeampaa heikkenemistä. Nykyaikaisissa sähköautoissa akkujenkin lämmönhallinnassa käytetään poikkeuksetta nestekiertoa.

Korkeajännitejärjestelmissä nestejäähdytysjärjestelmä on periaatteeltaan samantapainen kuin polttomoottoriautoissa. Jäähdytinnestettä kierrätetään vesipumpun avulla jäähdytettävien komponenttien läpi, joista johdetaan lämpöä nesteeseen, ja neste jäähdytetään jäähdyttimessä. Huomattavaa on, että korkeajännitejärjestelmissä nestejärjestelmä on sinetöity, koska nesteen vuoto esimerkiksi akustoon aiheuttaa suuren riskin oikosulkuun, paloon ja räjähdykseen. Näin ollen korkeajännitejärjestelmän nestevuodon kohdalla on aina tiedettävä mihin neste vuotaa, ennen kuin ajoneuvoa voi käyttää. [17]

Hybridiajoneuvoissa on yleensä erilliset nestekierrat polttomoottorille ja korkeajännitejärjestelmälle. Sähköautoissa on usein yksi nestekierto, mutta esimerkiksi joissain Hyundaiin sähköautoissa voi olla kaksi eri kiertoa, joissa molemmissa käytetään eri jäähdytinnestettä – alhaisemman sähkönjohtavuuden nestettä korkeajännite-elektronikalle ja tavallista sähkömoottoreille. [18, s. 86.] Alhaisen sähkönjohtavuuden nestettä voitaisiin käyttää myös moottoreissa, mutta se olisi huomattavasti tavallista kalliimpaa. Lisäksi joissain uusissa sähköautoissa sähkömoottoreiden jäähdytys on voitu toteuttaa myös öljyllä.

5 Kyselytutkimus korkeajännitejärjestelmien vioista

Koska tällä hetkellä tärkein kouluttautuminen ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmiin tapahtuu maahantuojien järjestämissä koulutuksissa, päätettiin suorittaa niille suunnattu kyselytutkimus. Kyselytutkimuksessa selvitettiin ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien yleisimpiä vikoja sekä ehdotuksia siitä, mitä korkeajännitejärjestelmien korjauksiin liittyviä asioita automekaniikkojen koulutuksessa tulisi painottaa, jotta heillä olisi mahdollisimman hyvät valmiudet työelämään.

Kyselyn vastaaminen tapahtui anonymisti vastaamiskynnyksen madaltamiseksi. Mikäli yksittäiset vastaukset olisi voitu yhdistää tiettyyn henkilöön, olisivat viat olleet yhdistettävissä myös vastaajan edustamaan automerkkiin. Oletuksena voidaan pitää, etteivät autonvalmistajat halua kertoa julkisesti omien malliensa vioista, koska erilaiset viat ovat aina arka aihe ja keskustelu niistä voi aiheuttaa huomattavaa mainehaittaa.

Kysely lähetettiin kaikkiaan 12 autonvalmistajan edustajalle, yhteensä 11 henkilölle. Kyselyyn vastasi lopulta 8 henkilöä, ja vastaukset voivat kattaa 9–12 autonvalmistajaa. Vastanneiden henkilöiden määrä on kyselytutkimukselle verrattain vähäinen, mutta koska jokaisen kyselyyn vastanneen voidaan olettaa olevan edustamiensa merkkien kohdalla asiantuntevin henkilö kyselyn

aiheeseen, voidaan sen tietoa hyödyntää suuntaa antavasti automekaanikkojen koulutusta kehittäessä.

5.1 Yleisimmät viat

Kyselytutkimuksen pääpaino oli korkeajännitejärjestelmän vioissa. Kyselyssä kysyttiin seuraavat kysymykset:

- Missä osassa korkeajännitejärjestelmää esiintyy yleisimmin vikoja?
- Millaiset akkuviat ovat yleisimpiä?
- Esiintyykö latausjärjestelmän vikoja useammin AC- vai DC-latauksen puolella? Ja mitä vikoja näissä esiintyy?
- Mitkä sähkömoottorin/sähkökoneen viat ovat yleisimpiä?
- Mitkä jäähdytys-/lämmitysjärjestelmän viat ovat yleisimpiä?
- Millaisia vikoja AC/DC- ja DC/DC -muuntimissa ilmenee?
- Mitkä seuraavat taidot kuuluvat ladattavien autojen yleistyessä auton asentajan ehdottomiin perustaitoihin?
- Mikä on yleisin diagnoosimenetelmä korkeajännitejärjestelmän vikoihin?
- Mitä asioita korkeajännitejärjestelmän korjauksia auton asentajien koulutuksessa tulisi painottaa, jotta heillä olisi mahdollisimman hyvät valmiudet työelämään?

Kysymyksistä iso osa oli monivalintatehtäviä, joissa pystyi valitsemaan useamman vastauksen valmiista vaihtoehdosta. Lisäksi jokaisessa monivalintatehtävässä oli vaihtoehtona ”muu, mikä?”, ja kyselyn saaneita kehoitettiin käyttämään kyseistä vastausvaihtoehtoa matalalla kynnyksellä. Kaikki kyselyn kysymykset ja vastaukset löytyvät liitteestä 1.

5.1.1 Missä viat yleisimmin ovat

Yleisimmät ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien viat sijaitsivat kyselyn mukaan korkeajänniteakussa ja latausjärjestelmässä (kuva 4). Molempien vaihtoehdon oli valinnut 50 % vastaajista. Auton sisätilojen lämmönhallintajärjestelmät nousivat kolmanneksi yleisimmäksi vikakohteeksi

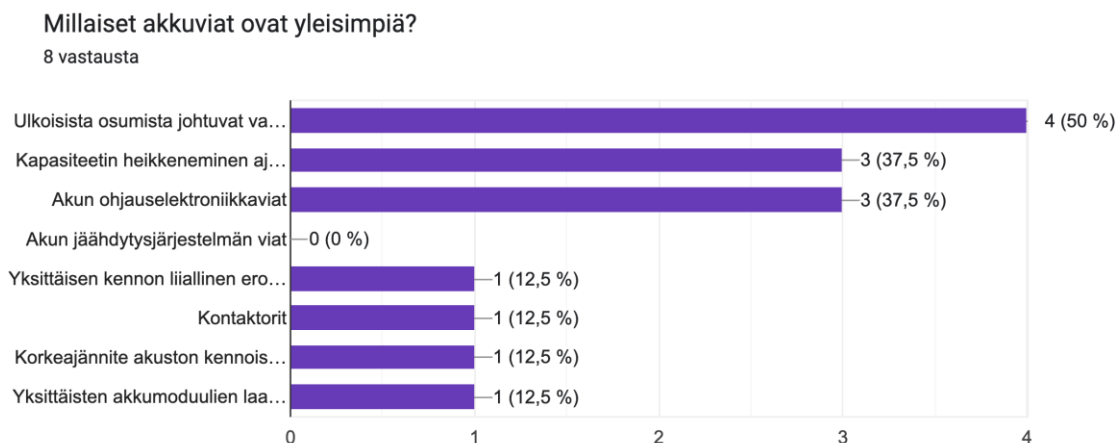
37,5 %:n osuudella. 12,5 %:n osuuden eli yhden vastauksen keräsivät vaihtoehdot sähkömoottori/sähkökone, AC/DC- tai DC/DC-muunnin, ohjelmistot ja järjestelmänvalvonnan viat, esimerkiksi eristysvastus ja interlock. Tehoelektroniikka-vaihtoehtoa ei ollut valinnut yksikään kyselyyn osallistunut.



Kuva 4. Korkeajännitejärjestelmien yleisimmät viat kyselyn mukaan.

5.1.2 Yleisimmät akkuviat

Kyselyn mukaan yleisimmät korkeajännitejärjestelmän akkuviat (kuva 5) olivat ulkoisista osumista johtuvat vauriot, jonka vastasi 50 % vastaajista. Toiseksi yleisimmät vikakohteet olivat akun ohjauselektroniikkaviat sekä kapasiteetin heikkeneminen ajan myötä, jonka kummankin vaihtoehdon valitsi 37,5 % vastaajista. Yksittäisiä vastauksia keräsivät myös vaihtoehdot yksittäisen kennon liiallinen eroavaisuus muihin kennoihin, kontaktorit, akuston sisäiset viat ja yksittäisten akkumoduulien laadunvarmistuskampanjat.



Kuva 5. Korkeajänniteakkujen yleisimmät viat kyselyn mukaan.

5.1.3 Latausjärjestelmän viat

Latausjärjestelmissä ilmentyneet viat olivat kyselyn mukaan kovin erilaisia. Kyselyä tehdessä oli vaikea hahmottaa, mitä vikoja latausjärjestelmissä voisi olla, joten tähän kysymykseen vastaajien piti kirjoittaa vikoja omin sanoin. Tämän vuoksi myös näiden vikojen kategorisointi muiden osa-alueiden tapaan on haastavampaa. Kysymykseen saatiin seuraavanlaisia vastauksia:

”AC- lataus puolen vikoja yleisesti kaapeloinnit ja tasasuuntaajan vuotovirrat , DC lataus puolella toisinaan kontaktorit kovilla.”

”AC/DC-muuntimen viat yleisimpiä, mutta ei yleisiä”

”AC, silloin tapahtuu jännitteen muutos, joka vaatii sisäistä valvontaa enemmän.”

”AC ja 12V lataus”

”AC puolella ilmenee yleisemmin. Syyt voivat olla 12V ohjauspuolella, mutta esim. auton sisäisen laturin vikoja tulee vastaan”

”Viat eivät ole kovin yleisiä ja voivat liittyä latausaseman/pistokkeen toimintaan. Esimerkiksi pistokkeen lukitus AC/DC-latauksessa.”

”DC”

”Useimmin AC-puolella, koska latauslaitteiden valmistajia on nykyään useita.”

Näistä vastauksista nähdään nopeasti, että kyselyn mukaan AC-puolen viat olisivat huomattavasti yleisempiä kuin DC-puolen viat. Tämä johtunee DC-puolen yksinkertaisuudesta ja komponenttien pienemmästä määrästä verrattuna AC-puoleen.

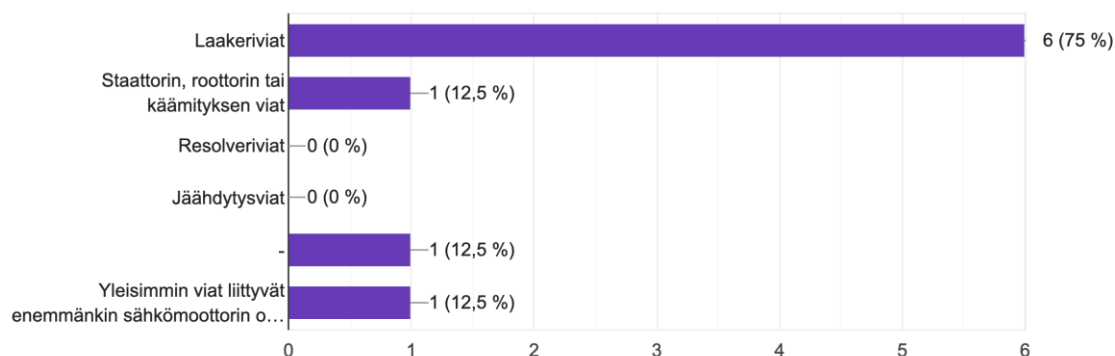
Latausjärjestelmien lisäksi kaikkien muuntimien vikoja kysyttiin erikseen. Vastauksissa kerrottiin, että muuntimissa on ollut sisäisiä vikoja, mutta sen tarkempaa tietoa ei ollut saatavilla. Tämä johtunee siitä, että yleensä vikaantuneet muuntimet vaihdetaan uusiin eikä niitä kunnosteta komponentteina ainakaan maahantuojien toimesta.

5.1.4 Sähkömoottorien ja -koneiden viat

Sähkökoneiden ja -moottorien viat (kuva 6) eivät nousseet suureen rooliin yleisimmissä korkeajännitejärjestelmien vioissa. Tarkemmin sähkömoottorien ja -koneiden vioista kysyttäessä selvästi yleisin vastaus oli laakeriviat 75 %:n osuudella. Lisäksi 12,5 %:n osuus eli yksi vastaus annettiin myös vaihtoehdoille ”staattorin, roottorin tai käämityksen viat” ja ”Yleisimmin viat liittyvät enemmänkin sähkömoottorin ohjaukseen”.

Mitkä sähkömoottorin/sähkökoneen viat ovat yleisimpiä?

8 vastausta



Kuva 6. Sähkömoottorien ja -koneiden yleisimmät viat kyselyn mukaan.

5.1.5 Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän viat

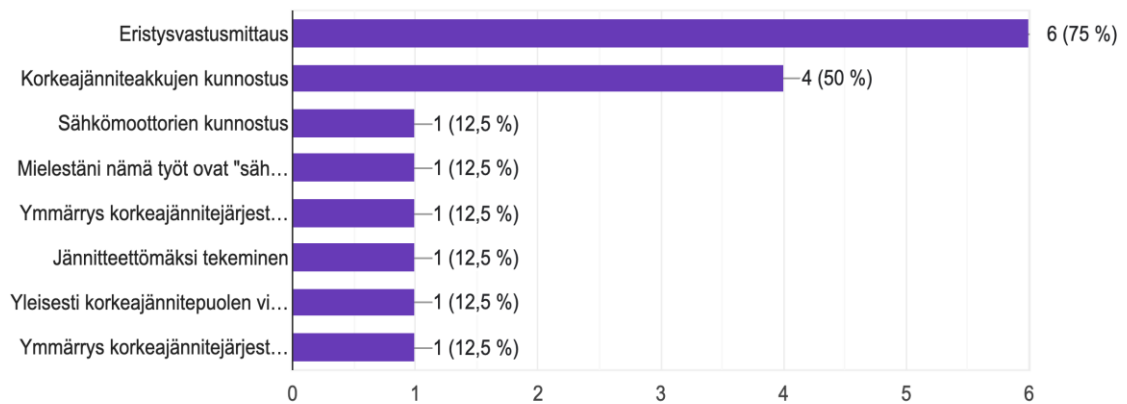
Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien ongelmista yleisimmäksi vikakohteeksi paljastui lämpöpumppu, jonka valitsi 62,5 % vastanneista. PTC-vastusten viat valitsi yleisimmäksi vikakohteeksi 37,5 % vastanneista. Lisäksi yksi vastanneista mainitsi kolarin aiheuttamat ongelmat PTC-vastuksille, HV-johdoille (korkeajännitejohdoille) ja akun jäähdytyspiirille.

5.2 Tarvittavat tulevaisuuden taidot

Loput kysymykset keskittyivät vastaajien näkemyksiin siitä, mitä tulevaisuudessa korkeajännitejärjestelmien parissa työskentelevien automekaanikkojen olisi hyvä hallita. Ehdottomia perustaitoja kysyttäessä (kuva 7) yleisimmäksi vastausvaihtoehdoiksi nousivat eristysvastusmittaus, jonka valitsi 75 % vastanneista, sekä korkeajänniteakkujen kunnostus, jonka valitsi 50 % vastanneista. 12,5 % vastanneista eli yksi vastaaja mainitsi myös sähkömoottorien kunnostuksen ja ajoneuvon jännitteettömäksi tekemisen. Muu vastausvaihtoehtoa oli käytetty runsaasti siihen, että painotettiin tärkeintä olevan ”tavallinen” sähköoppi.

Mitkä seuraavat taidot kuuluvat ladattavien autojen yleistyessä auton asentajan ehdottomiin perustaitoihin?

8 vastausta



Kuva 7. Kyselyn vastaukset auton asentajien tulevaisuuden perustaidoista.

Muutenkin vastauksissa toistui, että tähän asti automekaanikoksi valmistuneiden ymmärrys sähköopista ei ole kovin hyvällä tasolla. Koulutuksessa kehoitettiin lähes poikkeuksetta painottamaan aivan tavallista sähköjärjestelmien osaamista aina 12 voltin järjestelmistä ja sähkötyöturvallisuudesta alkaen. Vastaajien mielestä korkeajännitejärjestelmän korjaukset ovat itsessään helppoja opettaa työpaikalla, mikäli mekaanikko ymmärtää, miten korkeajännitejärjestelmien kanssa työskennellään turvallisesti, ja se onnistuu ainoastaan ymmärtämällä sähköjärjestelmiä paremmin.

Seuraavassa on esitetty kyselyyn osallistuneiden teknisten kouluttajien ja koulutuspäälliköiden vastauksia kysymykseen "Mitä asioita korkeajännitejärjestelmän korjauksia auton asentajien koulutuksessa tulisi painottaa, jotta heillä olisi mahdollisimman hyvät valmiudet työelämään?"

"Perus sähkön osaaminen ja hallinta, yleisellä tasolla korkeajännitepiirien rakenteen ymmärtäminen ja tietenkin SFS6002 sähkötyöturvallisuus."

"Ei korjaukset ole se ongelma, vaan ymmärrys siitä mitä korjataan"

”Perus sähkötekniikan ymmärtäminen, suureet, ohmin kirchhoff yms. lait. Diagnosointi vaati lähes aina merkkitesterin, mutta tukeva pohja sähkötekniikan osaamisessa lähes välttämätöntä.”

”Sähkötyöturvallisuus”

”Yleinen ymmärrys korkeajännitejärjestelmän toiminnasta ja potentiaalisista vaaroista. Ns. maalaisjärkikin toki näissä auttaa paljon, ettei tehdä hölmöjä virheitä.”

”Työturvallisuus, komponenttien tuntemus ja sähkötekniikan ymmärrys”

”Työturvallisuus”

”Ymmärrys korkeajännitejärjestelmien mahdollisista vaaroista. Oma kiinnostus sähköistyvän autokannan diagnosointiin ja korjaamiseen.”

Lisäksi jokainen kyselyyn osallistunut vastasi, että yleisin diagnoosimenetelmä korkeajännitejärjestelmän vikoihin on merkkikohtaiset diagnoosilaitteet.

6 Tuloksien ja johtopäätöksien hyödyntäminen opetuksessa

Kyselyn sulkemisen jälkeen vastaukset välitettiin Ylä-Savon Ammattiopistolle ja ne käytiin yhdessä läpi opettaja Jari Tossavaisen kanssa. Tossavainen kertoi, että kyselyn tulokset olivat hyvin samansuuntaisia kuin hänen muualla Suomessa opettava kollegansa oli aiemmin kertonut. Tulokset toimivat siis ainakin vahvistuksena jo olemassa olevalle tiedolle.

Johtopäätökset tuloksista olivat opettaja Tossavaisen näkemysten kanssa hyvin samanlaiset. Korkeajännitejärjestelmän korjaus -opintojakson opetuksessa kannattaa keskittyä mahdollisimman paljon sähkön periaatteiden ymmärtämiseen sekä erilaisten mittausharjoitusten suorittamiseen. Komponenttien fyysinen vaihtaminen on tähän nähden toissijaista – olennaisempaa on tietää, mikä komponentti kuuluu vaihtaa ja minkä vuoksi ja miten korjaaminen tapahtuu turvallisesti.

6.1 Sähköjärjestelmien perusteiden opetus

Sähköfysiikan oppiminen korkeajännitejärjestelmiin erikoistuvan automekaanikon vaatimalle tasolle voi olla ammattiopistossa opiskelevalle haastavaa, etenkin kun suurin osa koulutuksen opinnoista ei keskity sähköjärjestelmiin. Perinteisesti automekaanikot ovat voineet tulla toimeen huomattavasti vähemmällä sähköjärjestelmien ymmärtämisellä, sillä 12 voltin järjestelmät eivät aiheuta väärin käytettyinä välitöntä hengenvaaraa. Tämän vuoksi komponentteja on voitu usein testata esimerkiksi syöttämällä sille suoraan virtaa auton akulta tai tekemällä yksinkertaisia mittauksia yleismittarilla. Korkeajännitejärjestelmien kanssa työskentelevillä täytyy puolestaan olla töihin aivan erilainen asenne turvallisuuden ja arvokkaiden komponenttien vuoksi.

Yhdessä vastauksessakin nostettiin tärkeäksi tekijäksi opiskelijan oma kiinnostus sähköjärjestelmiin. Tämä lienee merkittävä tekijä siinä, kuinka hyvin opiskelija oikeasti oppii ymmärtämään sähköjärjestelmiä. Opettaja Tossavaisen oman arvion mukaan kaikkia automekaanikko-opiskelijoita ei olisikaan järkevää lähteä kouluttamaan korkeajännitejärjestelmien parissa työskentelyyn. Tämän vuoksi Ylä-Savon Ammattiopistollakin kyseinen opintokokonaisuus kuuluu valinnaiseen diagnoosiasentajan tutkintoon. Tämän odotetaan karsivan joukosta pois niitä, joita ei edes kiinnosta kyseisen aiheen opiskelu, ja näin ollen helpottavan sähköpuolen opettamista.

Sähkön peruseräpäätteet ovat samanlaiset niin matala- kuin korkeajännitejärjestelmissä. Tämän vuoksi opetuksessa voidaan hyödyntää etenkin alkuvaiheessa myös ammattiopiston seitsemää sähkökytkentätaulua, joihin voidaan suorittaa erilaisia mittauksia. Kun opiskelijan taidot ovat riittävällä tasolla, mittausharjoituksia voidaan siirtyä tekemään ammattiopiston sähköautosimulaattoriin.

Sähköautosimulaattorin etuna on se, että kyseessä ei ole kokonainen auto, vaan kehikko, joka sisältää kaikki Nissan Leafin korkeajännitejärjestelmän osat. Tämän ansiosta aikaa ei tarvitse käyttää korkeajännitejärjestelmien opetuksen

kannalta epäolennaiseen muiden osien purkamiseen vaan haluttuja mittauksia ja komponenttien irrotuksia voidaan harjoitella suoraan ilman muita aikaa vieviä toimenpiteitä. Simulaattorin ongelma on tällä hetkellä se, ettei ammattiopisto ole saanut laitteen toimittajalta ohjeita, valmiita mittausharjoituksia ja opetuskäyttöön soveltuvia esimerkkejä, vaikka laitteen toimittaja oli kaupanteon yhteydessä sellaiset luvannut. Toimittajan omat ohjeet helpottaisivat huomattavasti opetuksen suunnittelemista.

Sen sijaan ammattiopiston Volkswagen ID.3 -opetusauton hyödyntäminen korkeajännitejärjestelmien korjaus -opintokokonaisuudella on haastavaa. Auto on ohjeistettu pidettäväksi ajokuntoisena, joten siihen ei käytännössä voi ryhtyä suorittamaan laajempia toimenpiteitä. Lisäksi korkeajännitejärjestelmään liittyvät työt vaatisivat käytännössä, että töitä olisi valvomassa joku tarpeeksi korkeat merkkikohtaiset koulutukset suorittanut henkilö, jollaisia ammattiopiston henkilökunnassa ei ole. Eniten hyötyä Volkswagen ID.3:sta kyseisessä opintokokonaisuudessa voisi olla merkkikohtaisen diagnoosilaitteen harjoituskäytössä, johon palataan kohdassa 6.2.

6.2 Merkkikohtaisen diagnoosilaitteen käyttö

Merkkikohtaisen diagnoosilaitteen käyttö todettiin kyselyssä ylivoimaisesti tärkeimmäksi työkaluksi korkeajännitejärjestelmän parissa, joten opetuksessa on hyvä perehdyttää opiskelijat siihen, mitä kaikkea informaatiota tällaisella diagnoosilaitteella voi saada aikaiseksi.

Ylä-Savon Ammattiopistolla ei ole toistaiseksi käytössään Volkswagenin merkkikohtaista diagnoosilaitetta, mutta todettiin, että ammattiopiston voisi olla hyvä hankkia tällainen laite. Lisäksi ammattiopiston olisi hyvä saada perinpohjainen perehdytys Volkswagenin merkkiliikkeeltä siihen, mitä kaikkea korkeajännitejärjestelmiin liittyvää tietoa laitteella voi monitoroida ja miten kyseistä dataa voidaan hyödyntää. Korkeajännitejärjestelmissä on esimerkiksi oma eristysvalvonta, joka voi näyttää viallisen eristyksen ja tallettaa sen vikamuistiin [10, s. 155]. Opettaja Tossavaisen tietojen mukaan Volkswagenin

diagnoosilaitteella pystyy tarkkailemaan eristysvastuksia korkeajännitejärjestelmän eri kohdista ja tällaisen opettaminen korkeajännitejärjestelmien korjaus -opintokokonaisuudessa voisi olla hyvinkin oleellista.

6.3 Eristysvastusmittaus

Eristysvastusmittauksen tärkeys korostui kyselytutkimuksen tuloksissa, ja sen opettaminen on ollut Ylä-Savon Ammattiopiston suunnitelmissa muutoinkin prioriteettilistan kärkipäässä. Ammattiopisto on jo hankkinut eristysvastusmittarin korkeajännitejärjestelmiä koskevaa opetusta varten. Yhdessä todettiin, että eristysvastusmittausta voisi harjoitella vielä enemmän kuin alun perin ammattiopistolla on ollut suunnitelmissa, sillä se auttaa opiskelijoita myös ymmärtämään entistä enemmän sähkön perusteista.

Korkeiden jännitteiden parissa eristysvastukselle on määritelty tiukat kriteerit. Korkeajännitejärjestelmässä, jossa vaihto- ja tasasähköpuolia ei ole eristetty toisistaan, eristysvastuksen on oltava 500 Ω/V . Esimerkiksi 400 V:n järjestelmän kohdalla tämä tarkoittaisi 200 000 Ω :n eristysvastuksen tarvetta. [9, s. 68.]

Eristysvastusmittauksessa komponenttia on kuormitettava aina 1 000 V:n jännitteeseen saakka. Tämän vuoksi tarvitaan eristysvastusmittaria. Mittauksia ei kuitenkaan saa tehdä ajoneuvoon, joka on jännitteellinen, vaan komponentti on testattava irrallaan. Tämä yhtälö tarkoittaa, että itse mittalaitteen on muodostettava jännite. Tavallinen yleismittari ei kykene vaadittavien jännitteiden muodostamiseen, jonka vuoksi tarvitaan eristysvastusmittari. Eristysvastusmittaus on suositeltavaa tehdä aina ennen korjausta ja korjauksen jälkeen. [10, s. 155–159.]

Mittausharjoitusten tekeminen Ylä-Savon Ammattiopistossa pitäisi onnistua helposti sähköautosimulaattorin ansiosta. Simulaattorista voidaan poistaa mikä tahansa komponentti mittauksia ja lähempää tarkastelua varten. Opetuksen

mielekkyyden ja parhaan mahdollisen harjoituksen vuoksi olisi kuitenkin parasta päästä tekemään mittauksia joskus myös oikeisiin ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien komponentteihin. Mahdollisuudet tällaiseen ovat kuitenkin ammattiopistolla toistaiseksi vähäiset, joten mahdollisuus niiden tekemiseen jää opiskelijan työharjoittelun varaan.

6.4 Akkujen kunnostuksen opetus

Kyselytutkimuksen perusteella akkujen kunnostukseen tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessa osaajia. Yhä useamman autonvalmistajan korkeajänniteakkuja korjataan Suomessa, ja yleistymisen voidaan olettaa jatkuvan, sillä viallisten akkujen kuljettaminen maasta toiseen voi olla erittäin kallista. Tämän vuoksi työn tekeminen kotimaassa on kannattavaa.

Opettaja Jari Tossavaisen kanssa pohdittiin, miten akkujen korjausta voitaisiin käsitellä ammattiopiston opetuksessa. Käytännön harjoitukset suljettiin ainakin aluksi pois vaihtoehtoista niiden monimutkaisuuden ja korkeajänniteakkujen korkeiden hankintakustannuksien vuoksi. Ainoaksi vaihtoehdoksi toistaiseksi jäi käsitellä akkujen kunnostamista teoriallasolla ja toivoa, että opiskelijat pääsisivät tutustumaan akkujen kunnostamiseen esimerkiksi työharjoittelussa. Samalla todettiin myös, että kunnostuksen lisäksi opiskelijoille kannattaisi opettaa akkujen ulkoisten vaurioiden tarkastuksia. Joillain autonvalmistajilla on jo olemassa tarkat toleranssit sen suhteen, minkä verran akku saa mistäkin kohti vaurioitua, ja tulevaisuudessa tällaiset raja-arvot tulee olemaan yhä useammalla valmistajalla. Tällaisten vaurioiden vakavuuden tutkiminen lisää myös turvallisuutta, sillä liian pahasti vaurioituneen akun vuoksi voidaan joutua suorittamaan erilaisia toimenpiteitä, esimerkiksi siirtämään ajoneuvo paloriskin vuoksi turvallisiin ulkotiloihin.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin Ylä-Savon Ammattiopistolle, mihin asioihin Ajoneuvon korkeajännitejärjestelmän korjaustyö -opintojaksossa kannattaisi

keskittyä. Tähän liittyen selvitettiin ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien yleisimpiä vikoja sekä korkeajännitejärjestelmien parissa työskentelevien automekaanikkojen osaamistarpeita tulevaisuudessa.

Korkeajännitejärjestelmien vikoja ja tulevien automekaanikkojen osaamistarpeita selvitettiin automaahantuojiin teknisen puolen asiantuntijoille lähetetyllä kyselyllä. Kyselyssä selvisi, että kaikkein tärkeintä korkeajännitejärjestelmien parissa työskentelemään tähtääville automekaanikko-opiskelijoille on ymmärtää, miten sähkö toimii ja miten korkeajännitejärjestelmien parissa työskennellään turvallisesti. Vikojen turvallinen ja oikeaoppinen diagnosoiminen havaittiin huomattavasti tärkeämmäksi kuin yksittäisten komponenttien korjaukset, joita ei toistaiseksi ainakaan merkkiliikkeillä tehdä kovinkaan paljoa. Todettiin, että ammattiopiston hankkima sähköautosimulaattori soveltuu erinomaisesti näihin opetustarpeisiin. Sen sijaan ammattiopiston Volkswagen ID.3 -opetusautolle ei keksitty toistaiseksi merkittävästi käyttötarkoituksia kyseisen opintokokonaisuuden kannalta.

Työssä saatiin ennen kaikkea vahvistettua aiempia käsityksiä opetustarpeista. Tällaisia selvityksiä ei ole aiemmin juuri tehty, ja opintokokonaisuudelle annetut opintoperusteet ovat varsin ympäröivät. Kun insinööriyden tulos vahvisti käsityksiä opetustarpeista, opetuksen suunnittelua voi jatkaa aiempaa varmemmin mielin.

Tehdyn työn lisäksi Ylä-Savon Ammattiopiston kannalta olisi ollut hyödyllistä suunnitella, millaisia harjoituksia sähköautosimulaattorilla voisi tarkalleen teettää. Tutkimusta voisikin jatkaa tulevaisuudessa suunnittelemalla tarkempia ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien diagnoosi- ja mittausharjoituksia automekaanikko-opiskelijoille.

Kyselytutkimuksen ongelmaksi muodostui vastaajien vähäinen määrä ja tutkimuksen suppeat vastausvaihtoehdot. Ne pakottivat antamaan mahdollisuuden vapaamuotoisiin vastauksiin, jossa oli niin hyviä kuin

huonojakin puolia: toisaalta saatiin kerättyä sellaistaakin tietoa, jota ei osattu kysyä, mutta toisaalta vastaukset saattoivat olla myös rönsyileviä ja vaikeasti kategorisoitavia. Saatua tulosta voidaan kuitenkin pitää ammattiopiston opetuksen kannalta hyödyllisenä, sillä jokainen kyselyyn vastannut edustaa organisaatiossaan korkeimman tason asiantuntemusta kyseisessä aiheessa.

Ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmät ovat kuitenkin toistaiseksi Suomessa varsin uusia ja kohtalaisen harvinaisia korjaamoilla, joten tietoa olisi voinut hankkia myös ulkomailta. Esimerkiksi Norja tunnetaan autokannan voimakkaasta sähköistymisestä, joten on syytä olettaa siellä olevan myös paremman tason ammatillista koulutusta ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmiin.

Lähteet

- 1 Ajoneuvokanta, mukana vain liikennekäytössä olevat ajoneuvot. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. Traficom <<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot?toggle=K%C3%A4ytt%C3%B6voimat>>. Päivitetty 16.1.2024. Luettu 14.4.2024.
- 2 Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. Verkkoaineisto. Euroopan unionin neuvosto. <<https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/>>. Luettu 14.4.2024.
- 3 Liikenteen osuus kasvihuonepäästöistä. Verkkoaineisto. Autoalan tiedotuskeskus. <https://www.aut.fi/ymparisto/tieliikenteen_ilmastovaikutukset/liikenteen_vaikeus_ilmastonmuutokseen>. Luettu 14.4.2024.
- 4 Ennuste eri käyttövoimien yleistymiselle – tiekartta vuoteen 2040. 2023. Verkkoaineisto. Autoalan tiedotuskeskus. <https://www.aut.fi/ymparisto/autoalan_tiekartta_tulevaisuuden_kayttovoimista>. 13.6.2023. Luettu 14.4.2024.
- 5 Ajoneuvon korkeaajännitejärjestelmän korjaustyö (106884) ammattitaitovaatimukset. Verkkoaineisto. Eperusteet. <<https://eperusteet.opintopolku.fi/#/718900/amatillinen/7614470/tutkinnot/nosat/7895738>>. Luettu 14.4.2024.
- 6 Sähkö- ja hybridi ajoneuvon huoltotyö (106883) ammattitaitovaatimukset. Verkkoaineisto. Eperusteet. <<https://eperusteet.opintopolku.fi/#/718900/amatillinen/7614470/tutkinnot/nosat/7912190>>. Luettu 14.4.2024.
- 7 UNECE R 100. 2017. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train.
- 8 Autio, Mikko. 2021. Mikä ihmeen kevythybridi? Pienellä sähköistyksellä pientä säästöä. Verkkoaineisto. Moottori. <<https://moottori.fi/uutinen/mika->

- ihmeen-kevythybridi-pienella-sahkoistyksella-pienta-saastoa/>. 11.8.2021. Luettu 1.4.2024.
- 9 Linja-aho, Vesa. 2021. Sähkö- ja hybridiajoneuvojen sähkötyöturvallisuus. 3., uudistettu painos. Helsinki: Suomen Autoteknillinen Liitto ry.
 - 10 Schmidt, Torsten. 2023. Hybridi- ja sähköajoneuvot. 4., uudistettu painos. Helsinki: Suomen Autoteknillinen Liitto ry.
 - 11 VAG SSP 811213 – The High-Voltage System in the ID.4. Valmistajan koulutusjärjestelmä. Volkswagen.
 - 12 Shepard, Jeff. 2023. What is a battery cycle? Verkkoaineisto. Ev Engineering + Infrastructure. <<https://www.evengineeringonline.com/what-is-a-battery-cycle/>>. 9.8.2023. Luettu 15.4.2024.
 - 13 Kinnunen, Aake. 2023. Koeajo: Porsche Cayenne – lajin helppous viehättää. Verkkoaineisto. Moottori. <<https://moottori.fi/koeajo/koeajo-porsche-cayenne-lajin-helppous-viehattaa/>>. 3.6.2023. Luettu 6.4.2024.
 - 14 Kokkonen, Eetu. 2024. Moottorin käyttötestiauto koki pohjakosketuksen – kustannusarvio jopa 15 000 euroa! Verkkoaineisto. Moottori. <<https://moottori.fi/testi/moottorin-kayttotestiauto-koki-pohjakosketuksen-kustannusarvio-jopa-15-000-euroa/>>. 31.1.2024. Luettu 31.3.2024.
 - 15 Arjen älykäs sähköautoilu – sähköauton tekniikka ja akku. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/sahkoauton_tekniikka_ja_akku>. 27.7.2023. Luettu 12.4.2024.
 - 16 Vaihtovirta vai tasavirta, AC vai DC? 2017. Verkkoaineisto. Virta Global <<https://www.virta.global/fi/blogi/ampeerit-kilowatit-ja-s%C3%A4hk%C3%B6auton-lataaminen-s%C3%A4hk%C3%B6opinperusteita>>. 29.11.2017. Luettu 14.4.2024.
 - 17 Luiginpaja. Sähkö- ja hybridiautojen jäähdytysjärjestelmä. Verkkoaineisto. <<https://luiginpaja.fi/sahko-ja-hybridiautojen-jaahdytysjarjestelma/>>. Luettu 14.4.2024.
 - 18 Omistajan käsikirja Hyundai Ioniq 5.

Kyselylomake

Ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien viat ja niiden korjaus

B *I* U  

Kysely ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmien vioista insinööriyötä varten. Kyselyyn osallistuminen tapahtuu anonymisti, joten mitään valmistajakohtaista tietoa ei kerätä.

Kyselyn vastauksia käytetään osana insinööriyötä, jonka tarkoituksena on kehittää auton asentajakoulutuksen "korkeajännitejärjestelmien korjaus" -kurssin sisältöä mahdollisimman hyvin työelämän tarpeita vastaavaksi. Insinööriyön taustalla on se, ettei ammattikouluilla ole välttämättä tietoa siitä millaisia vikoja korkeajännitejärjestelmissä voi olla, joten tietoa halutaan kerätä mahdollisimman laajasti.

Kyselyyn osallistuneita kannustetaan hyödyntämään matalalla kynnyksellä "Muu"-vastauskohtaa, jos valmiista vastausvaihtoehdoista ei löydy sopivaa kohtaa.

Missä osassa korkeajännitejärjestelmää esiintyy yleisimmin vikoja? *

- Akku
- Latausjärjestelmä
- Sähkömoottori/sähkökone
- AC/DC- tai DC/DC-muunnin
- Tehoelektroniikka (PCU)
- Auton sisätilojen lämmönhallintajärjestelmä
- 48 voltin laitteisto hybrideissä
- Muu...

Millaiset akkuviat ovat yleisimpiä? *

- Ulkoisista osumista johtuvat vauriot
- Kapasiteetin heikkeneminen ajan myötä
- Akun ohjauselektroniikkaviat
- Akun jäähdytysjärjestelmän viat
- Muu...

Esiintyykö latausjärjestelmän vikoja useammin AC- vai DC-latauksen puolella? Ja mitä vikoja näissä esiintyy? *

Pitkä vastausteksti

Mitkä sähkömoottorin/sähkökoneen viat ovat yleisimpiä? *

- Laakeriviat
- Staattorin, roottorin tai käämityksen viat
- Resolveriviat
- Jäähdytysviat
- Muu...

Mitkä jäähdytys-/lämmitysjärjestelmän viat ovat yleisimpiä? *

- PTC-vastusten viat
- Ilmalämpöpumppujen viat
- Muu...

Millaisia vikoja AC/DC- ja DC/DC -muuntimissa ilmenee? *

Pitkä vastauksetki

Millaisia vikoja 48 voltin järjestelmissä ilmenee? *

Pitkä vastauksetki

Mitkä seuraavat taidot kuuluvat ladattavien autojen yleistyessä auton asentajan ehdottomiin perustaitoihin? *

- Eristysvastusmittaus
- Korkeajänniteakkujen kunnostus
- Sähkömoottorien kunnostus
- Muu...

Mikä on yleisin diagnoosimenetelmä korkeajännitejärjestelmän vikoihin? *

- Eristysvastusmittaus
- Merkkikohtaiset diagnoosilaitteet
- Yleisdiagnoosilaitteet
- Muu...

Mitä asioita korkeajännitejärjestelmän korjauksia auton asentajien koulutuksessa tulisi painottaa, jotta heillä olisi mahdollisimman hyvät valmiudet työelämään? *

Pitkä vastauksetki