



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lassi Klemetti

Korkeajänniteakustojen korjaus – työtilan suunnittelu ja vaatimukset

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Lassi Klemetti

Työn nimi alaotsikoineen: Korkeajänniteakustojen korjaus – työtilan suunnittelu ja vaatimukset

Ohjaaja: Pasi Junell

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämä opinnäytetyö tehtiin Käyttöauto Oy:lle toimeksiantona. Käyttöauton Seinäjoen toimipisteelle valmistuu kuluvan vuoden aikana henkilöautokorjaamon laajennus, ja laajennusosaan tulee erillinen työtila korkeajänniteakustojen korjaamiselle. Työn tavoitteena oli pohtia ja selvittää, minkälaisia vaatimuksia akkukorjaamotilalle on määrätty yleisten vaatimusten sekä autovalmistajien omien vaatimusten pohjalta. Näiden vaatimusten pohjalta luotiin alustava layout-suunnitelma akkukorjaamolle.

Työn oheistavoitteena oli perehtyä henkilöautojen sähköisiin voimalinjoihin sekä niiden korjaamiseen. Sähköiset voimalinjat ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana vakiinnuttaneet oman paikkansa automarkkinoilla, ja näin ollen korkeajännitejärjestelmän korjaukset yleistyvät päivä päivältä. Työssä on pohdittu sähköisten voimalinjojen vaikutusta autoalan jälkimarkkinasektoriin etenkin huolto- ja korjaustoimenpiteiden näkökulmasta.

Autovalmistajien vaatimuksia työssä pyrittiin selvittämään etenkin Seinäjoen toimipisteellä edustettujen automerkkien osalta. Vaatimuksia oli saatavilla vain osalta autovalmistajista, mutta saatua tietoa käytettiin hyväksi akkukorjaamon layout-suunnitelmaa laatiessa. Myös yleiset ohjeistukset, kuten esimerkiksi sähkötyöturvallisuuslaki sekä SFS 6002 -standardi antoivat hyvän pohjan korkeajänniteakuston korjausten vaatimuksille.

Työn lopputuloksena on alustava layout-suunnitelma tulevalle korkeajänniteakustojen korjauksiin varatulle työtilalle sekä yleinen selvitystyö korkeajännitejärjestelmän korjauksiin liittyen.

¹ Asiasanat: korjaamotila, layout, korkeajänniteakusto, sähköautot, sähköiset voimalinjat

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Lassi Klemetti

Title of thesis: High-voltage battery repairs – requirements and design of a HV battery repair workspace

Supervisor: Pasi Junell

Year: 2024

Number of pages: 40

Number of appendices: 2

The thesis was done for Käyttöauto Oy. Käyttöauto Oy is a family business specializing in automotive business (car dealership and after sales), established in 1970. Käyttöauto Oy has around 600 employees in the corporation and about 200 of them work in Seinäjoki, which is the headquarters of the corporation.

There is an on-going building extension regarding the passenger car repair shop at the Seinäjoki quarters. The building extension will provide about 10 more workstations and the repair shop will double its surface area. There will also be a separate workspace for high-voltage battery repairs and the thesis covers the design of this workspace. The thesis will also include requirements affecting the workspace.

Another aim for the thesis was to study electric powertrains, their components, and repairs. Electric powertrains started to gain popularity in the automotive business during the last decade and through this transition also the repairs of the high-voltage system became more common. The thesis also covered some ideas about the future of the electric powertrains.

¹ Keywords: repair facility, layout, high-voltage battery, electric vehicles, electric powertrains

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja taulukkuuettelo.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	8
1.4 Yritysesittely	8
1.5 Henkilöautokorjaamo, Käyttöauto Seinäjoki	9
2 SÄHKÖINEN VOIMALINJA	10
2.1 Ajoneuvojen sähköiset voimalinjat – termistö tutuksi.....	10
2.1.1 Täyssähköautot (BEV)	10
2.1.2 Hybridiautot (PHEV ja HEV).....	10
2.2 Sähköisen voimalinjan komponentit	11
2.3 Korkeajänniteakku tärkeänä osana sähköistä voimalinjaa	12
2.3.1 Litiumioniakkuteknologia	13
2.3.2 LFP / litium-rautafosfaatti	14
2.3.3 LTO / litium-titanaattioksidi.....	15
2.3.4 NCA / litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi	15
2.3.5 NMC / litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi.....	15
3 KORKEAJÄNNITEJÄRJESTELMÄN KORJAUKSET	16
3.1 Korkeajännitejärjestelmän korjaukset (pl. ajovoima-akun sisäiset korjaukset)	16
3.2 Ajovoima-akun sisäiset korjaukset	16
4 NYKYTILAN KUVAUS CASE KÄYTTÖAUTO SEINÄJOKI.....	18
4.1 Henkilöautokorjaamon laajennus	18
4.2 Korkeajännitejärjestelmän korjaukset.....	20
5 ONGLEMAKOHTIEN KARTOITUS	21
5.1 Sähköautot ja tulevaisuuden näkymät autokorjaamoilla.....	21

5.2	Korkeajännitekorjaukset ja niille varattu työtila	22
5.3	Työtilan vaatimukset korkeajännitekorjauksille	23
5.4	Riskianalyysi.....	26
5.4.1	Sähkö.....	26
5.4.2	Kemikaalit	26
5.4.3	Korkeat lämpötilat	27
6	AKKUKORJAAMO	28
6.1	Ajoneuvonostimet korjaamolaajennuksessa	28
6.2	Työ- ja paloturvallisuus.....	29
6.3	Työtilan vaatimukset.....	30
6.4	Akkukorjaamon layout -suunnitelma.....	30
7	TULOKSET	35
8	POHDINTA.....	36
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	40

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. MEB-alusta	11
Kuva 2. MEB-alustan ajovoima-akku	12
Kuva 3. Litiumioniakun toimintaperiaate	13
Kuva 4. Havainnekuva uudesta julkisivusta	18
Kuva 5. Alustava pohjapiirustus korjaamolaajennuksesta	19
Kuva 6. Jab Becker Twinram S2/2300	28
Kuva 7. Akkukorjaamon pohjapiirustus	31
Kuva 8. Akkukorjaamon alustava layout -suunnitelma 1	31
Kuva 9. Akkukorjaamon alustava layout -suunnitelma 2	32
Kuva 10. Akkukorjaamon alustava layout -suunnitelma 3	32
Kuva 11. Presto LB50 suurtehosammutin	33
Taulukko 1. Yleisimmät akkukemiat ajoneuvoteollisuudessa	14
Taulukko 2. Työtilan vaatimukset, esimerkki	24
Taulukko 3. Lohkojen vaatimukset, esimerkki	24
Taulukko 4. Akkukorjaamon auditointilista	25

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö käsittelee Käyttöauton Seinäjoen toimipisteen (Pohjankaari) henkilöautokorjaamon laajennukseen liittyvää akkukorjaamoa. Tarve opinnäytetyölle syntyi toimeksiantajan tarpeesta tehdä selvitys, minkälaisia vaatimuksia tulee ottaa huomioon akkukorjaamoa suunniteltaessa. Päätös akkukorjaamon rakennuttamisesta tuli korjaamolaajennuksen yhteydessä, sillä autokanta sähköistyy nopeaa vauhtia ja korkeajännitejärjestelmän korjausten myötä on havaittu, että niiden korjaukset tulisi siirtää erilliseen tilaan. Erilliseen tilaan siirtymisen myötä työturvallisuus paranee ja vaativat korkeajännitejärjestelmän diagnoosit sekä korjaukset eivät jatkossa ole esteenä normaalille korjaamotoiminnalle. Autokannan sähköistymisen on pyritty ottaa mahdollisimman hyvin huomioon koko korjaamolaajennusta suunniteltaessa.

Pohjankaaren toimipisteen henkilöautokorjaamolla on poikkeuksellisen suuri valikoima eri maahantuojaorganisaatioiden edustuksia, mikä luo omat haasteensa opinnäytetyölle. Akkukorjaamoa suunniteltaessa sekä sen vaatimuksia selvitettäessä tulisi mahdollisimman hyvin ottaa huomioon kaikkien eri automerkkien omat vaatimukset työtilan osalta. Lisäksi korkeajännitejärjestelmän korjauksissa tulee ottaa huomioon yleiset standardit sekä vaatimukset, jotka niitä koskevat.

Autoala sekä etenkin jälkimarkkinasektori on jatkuvan murroksen alla, ja työssä tulisi myös pohtia tulevaisuuden näkemyksiä autoalan suhteen. Tässä vaiheessa on vaikea sanoa, mitä huomina tuo tullessaan, mutta varmaa on, että sähköiset voimalinjat ovat tulleet jäädäkseen osaksi autoalan kehitystä.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on

- perehtyä henkilöautojen sähköisiin voimalinjoihin sekä korkeajännitejärjestelmään
- kertoa korkeajännitejärjestelmän korjauksista
- pohtia sekä selvittää, minkälaisia vaatimuksia akkukorjaamotilalle on määrätty (yleiset vaatimukset sekä autovalmistajien omat vaatimukset valtuutetulle huoltoliik-keelle)
- selvittää, miten tuleva akkukorjaamo tulee vastaamaan nykyisiin ongelmakohtiin
- luoda layout-suunnitelma tulevalle akkukorjaamolle.

1.3 Työn rakenne

Työn johdanto-osiossa (luku 1) on selvitys opinnäytetyöstä sekä sen taustasta sekä toimeksi-antajan esittely. Johdanto-osiota seuraa teoriaosuus, joka on jaettu useampaan päälukuun. Luvussa 2 käsitellään auton sähköistä voimalinjaa sekä siihen liittyvää termistöä. Luvussa 3 kerrotaan tarkemmin korkeajännitejärjestelmän korjauksista. Luvussa 4 käsitellään Pohjan-kaaren toimipisteen nykytilan kuvaus, ja luvussa 5 on esitelty eri ongelmakohtien kartoitus. Luvussa 6 on esitelty tuleva akkukorjaamo ja tätä lukua seuraa luku 7 – tulosten esittely. Viimeisenä päälukuna on yhteenveto sekä pohdinta.

1.4 Yritysesittely

Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimii paikallinen autoalan yritys nimeltään Käyttöauto Oy. Kyseessä on Seinäjoella vuonna 1970 perustettu autoalan perheyritys (Käyttöauto, i.a.). Yri-tyksellä on toimipisteitä yhteensä kymmenellä eri paikkakunnalla Seinäjoen ollessa päätoimi-piste. Yhteensä Käyttöauton konsernitasolla työskentelee liki 600 työntekijää, joista Seinä-joen toimipisteellä työskentelee noin 200. Käyttöauton liikevaihto vuonna 2022 oli 363,7 mil-joonaa euroa. Käyttöauto on tunnettu laajasta valikoimasta merkkiedustuksia sekä ammatti-taitoisesta autoalan palvelusta.

1.5 Henkilöautokorjaamo, Käyttöauto Seinäjoki

Opinnäytetyö toteutettiin tarkemmin ottaen Käyttöauto Seinäjoen henkilöautokorjaamolle. Henkilöautokorjaamolla on 16 automerkin valtuudet merkkihuolloille ja korjaamolla työskentelee tällä hetkellä noin 40 mekaanikkoa ja 10 toimihenkilöä (Käyttöauto, i.a.). Mainitsemisen arvoista on, että Seinäjoen henkilöautokorjaamolla on käytössä niin kutsuttu palvelumekaanikko-toimintamalli. Palvelumekaanikkokonsepti eroaa perinteisestä työnjohtajavetoisesta korjaamosta merkittävästi. Ydinidea siinä on, että mekaanikko itse hoitaa asiakaspalvelua ja liikennettä, eli vastaanottaa ja luovuttaa omat asiakastyöt, hoitaa ajanvaraukset puhelimitse ja paikan päällä sekä hoitaa töiden laskutuksen. Näin ollen asiakas saa normaalia henkilökohtaisempaa palvelua ja ns. "turhat välikädet" jäävät pois prosessista, mikä taas puolestaan vähentää väärinymmärrysten mahdollisuutta. Palvelumekaanikkokonseptilla pyritään vastaamaan tarkemmin asiakkaiden tarpeisiin ja luomaan syvempää yhteyttä asiakkaan ja huolto liikkeen välille.

2 SÄHKÖINEN VOIMALINJA

2.1 Ajoneuvojen sähköiset voimalinjat – termistö tutuksi

Yleiskielessä sähköisiä voimalinjoja hyödyntäviä henkilöautoja kutsutaan joko ”sähköautoiksi” tai ”hybridiautoiksi” riippuen siitä, miten ajoneuvon voimalinja on toteutettu. Termiä ”sähköauto” tai vaihtoehtoisesti ”ladattava auto” voidaan pitää myös yläkäsitteenä kaikille sähköisiä voimalinjoja hyödyntäville autoille, joita voidaan ladata ulkoisesta energialähteestä (SESKO, 2021). Näin ollen sähköautoja ovat niin täyssähköautot kuin ladattavat hybriditkin.

2.1.1 Täyssähköautot (BEV)

Englanninkielisellä termillä Battery Electric Vehicle (lyhenne BEV) tarkoitetaan täyssähköautoja, eli autoja, joiden voimanlähteenä on yksi tai useampi sähkömoottori (Linja-Aho ym., 2022, s. 7). Tämän lisäksi, ajoneuvon voimalinjan ainoana energianlähteenä toimii korkeajänniteakku, superkondensaattori tai muu vastaava energianvarastoinnin muoto, jota voidaan ladata ulkoisesta teholähteestä.

2.1.2 Hybridiautot (PHEV ja HEV)

Hybridiautot voidaan jakaa kahteen alakategoriaan – ladattaviin hybrideihin ja ei-ladattaviin hybrideihin. Yleisesti termiä käytetään sähköisen ja polttomoottorisen voimalinjan yhdistelmää käyttävistä ajoneuvoista.

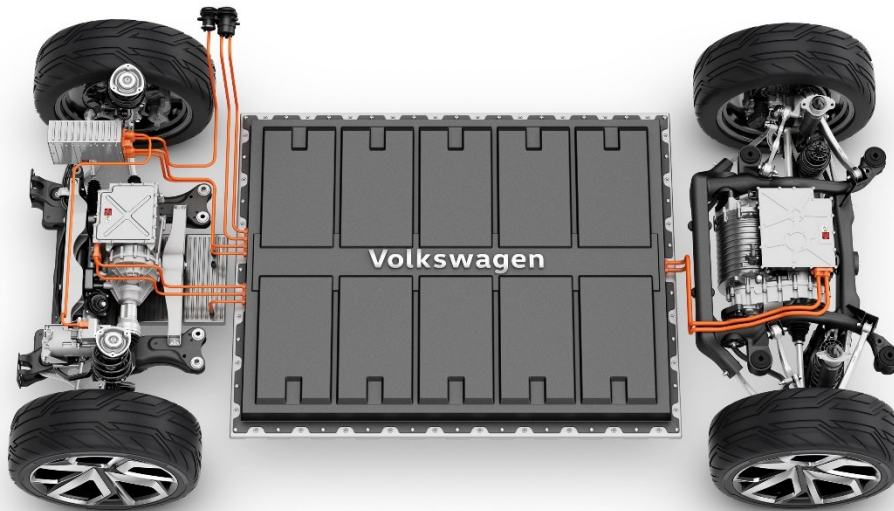
PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), eli suomeksi ladattava hybridiauto, saa nimensä siitä, että sen voimalinjassa hyödynnetään sekä perinteistä polttomoottorin (benssiini tai diesel) voimalinjaa, että täyssähköautoista tuttua ulkoisesta teholähteestä ladattavaa korkeajänniteakkuja ja sähkömoottoria (Linja-Aho ym., 2022, s. 9).

Ei-ladattavilla hybridiautoilla (HEV - Hybrid Electric Vehicle) tarkoitetaan niitä hybridiautoja, joiden käyttövoima-akkuun ei voida syöttää sähköenergiaa ulkoisesti. Ei-ladattavien hybridiautojen alakategoriaan lukeutuu myös ns. mikro- ja kevythybridiautot, joissa käytetään 48V akkua ja käynnistgeneraattoria sähköisen voimalinjan toteutukseen (Kiiskinen, 2021). Tyyppillinen käyttövoiman akkukoko ei-ladattavissa hybrideissä on 0,3–2 kWh, ja sähköä

käytetään lähinnä liikkeellelähdössä, hetkellisessä tehonlisäyksessä tai sylinterilepuutuksessa ja otetaan talteen jarrutuksissa. Hybridautojen tavoitteena on parantaa ajoneuvon hyötysuhdetta sekä vähentää päästöjä.

2.2 Sähköisen voimalinjan komponentit

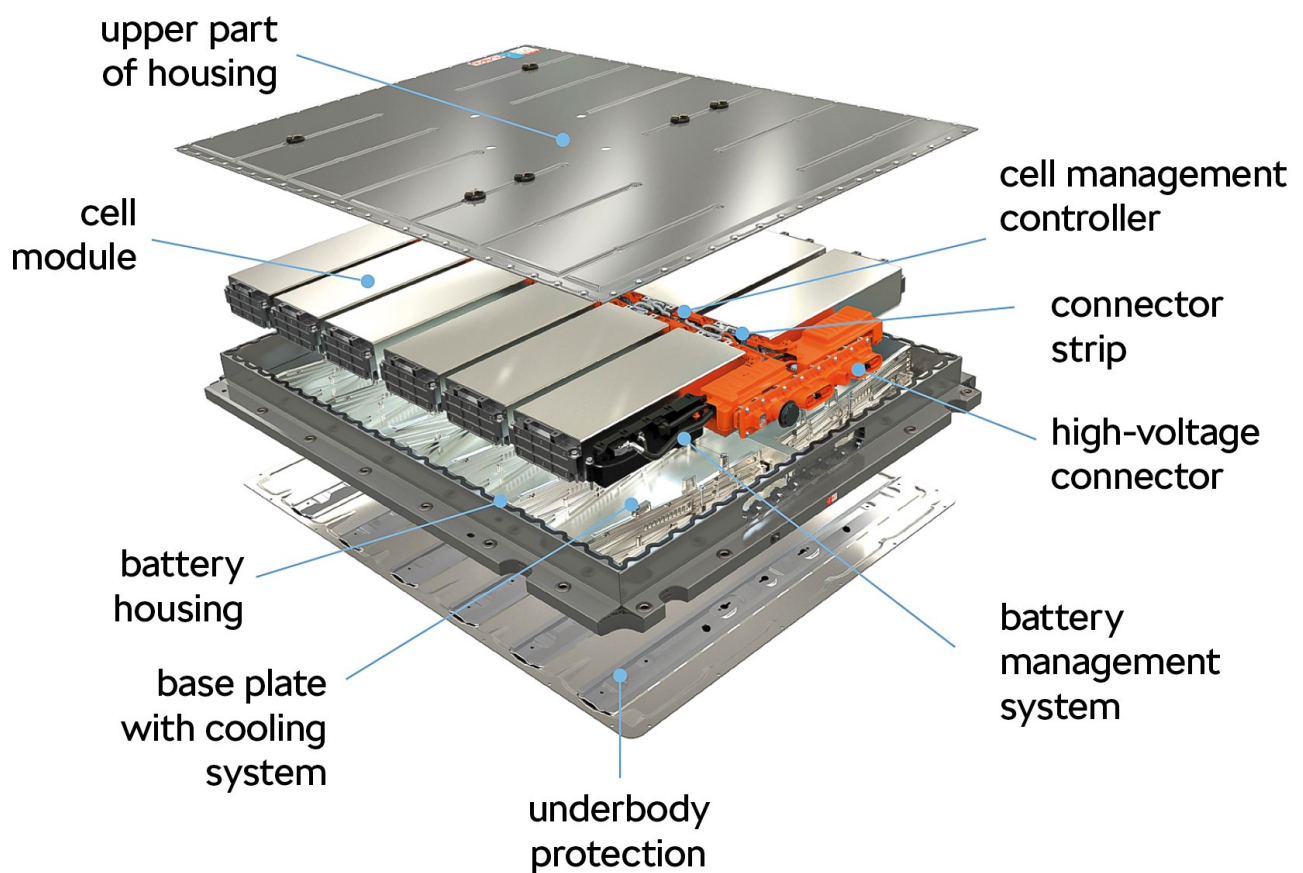
Täyssähköauton sähköinen voimalinja on perusrakenteeltaan yksinkertainen: Energialähteenä toimii ajoakku, eli litiumioniakku, joka taajuusmuuttajan (DC-AC-invertteri) kautta syöttää energiaa sähkömoottorille, joka yleensä alennusvaihteen ja tasauspyörästäön avulla muuttaa sähköenergian liike-energiaksi (Linja-Aho ym., 2022, s.13). Alla oleva kuva esimerkkinä täyssähköauton voimalinjasta ja sen tärkeimmistä komponenteista (Kuva 1):



Kuva 1. MEB-alusta (Volkswagen Newsroom, 2017).

2.3 Korkeajänniteakku tärkeänä osana sähköistä voimalinjaa

Sähköautojen korkeajänniteakussa hyödynnetään litiumioniakkuteknologiaa. Sähköauton ajo-voima-akku koostuu useista litiumioniakuista, joita kutsutaan kennoiksi. Ne ovat ryhmitelty moduuleiksi ja paketoitu akkupaketiksi. Ajo-voima-akku on yleensä sijoitettu auton pohjaan tai takaosan tavaratilaan, minkä avulla saavutetaan alhainen painopiste ja auton tasapainoinen painojakauma. Esimerkkinä kuva Volkswagenin MEB-alustan ajo-voima-akun sisällöstä (Kuva 2):



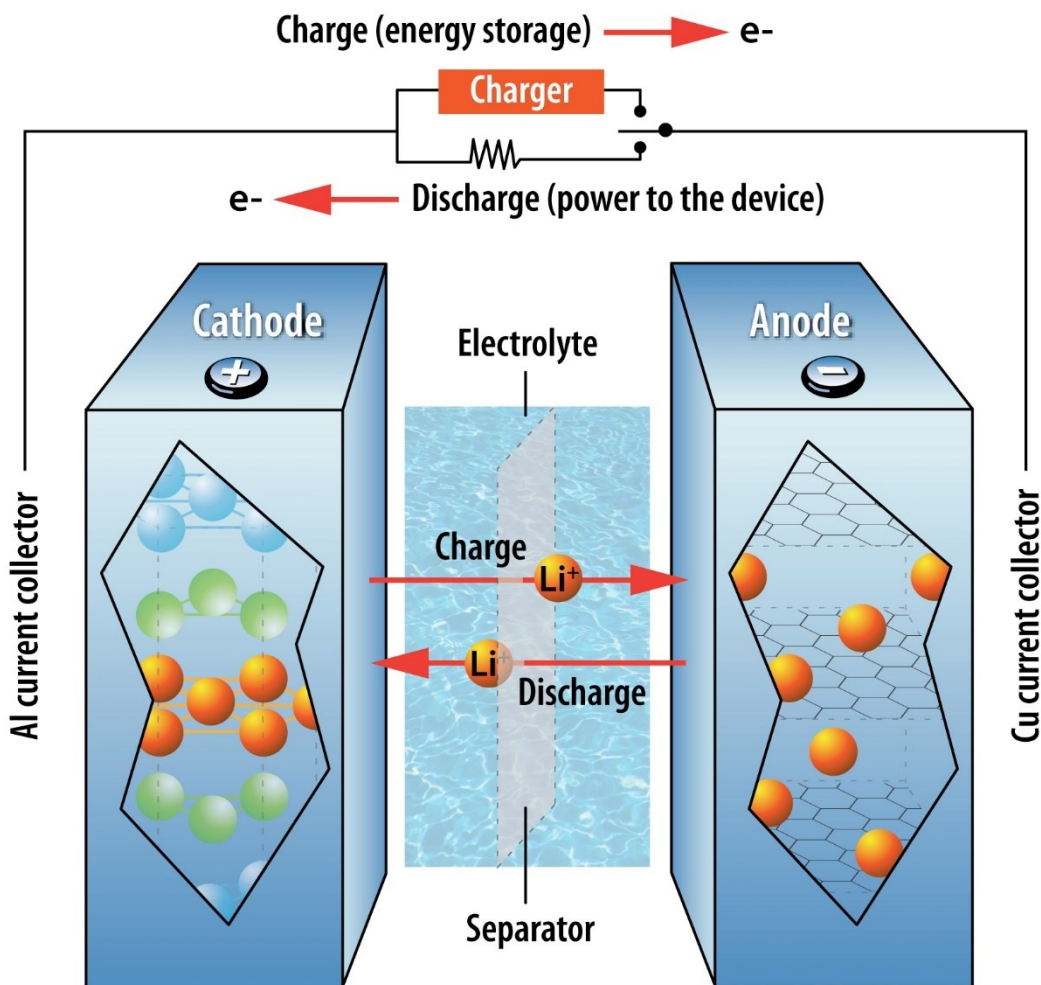
Kuva 2. MEB-alustan ajo-voima-akku (Skoda Storyboard, 2022b).

Varsinaisen akkupaketin sisällä on siis maksimissaan 12 akkumoduulia, joista kukin sisältää 24 kennoa, eli litiumioniakkua (Skoda Storyboard, 2020a). 12 akkumoduulin ajo-voima-akku painaa n. 500 kilogrammaa, sen kokonaiskapasiteetti on 82 kWh ja nettokapasiteetti 77 kWh. Kuten kuvasta nähdään, akkupaketin sisältä löytyy myös battery management system (lyh. BMS), eli akkuhallinnan ohjainlaite, sekä erikseen jokaisen akkumoduulin oma hallintalaite, joka seuraa yksittäisten kennojen tilaa.

2.3.1 Litiumioniakkuteknologia

Litiumioniakun kennossa on katodi, anodi ja niiden välissä elektrolyyttiliuos (Linja-Aho, 2022 s. 28). Niiden erottamiseen käytetään huokoista separaattorikalvoa, joka päästää litiumionit läpi, mutta ei johda sähköä. Modernissa litiumioniakussa katodi koostuu alumiinikalvosta, joka toimii virrankerääjänä, ja aktiivimaineesta. Akun nimi tulee katodin aktiivimateriaalista; esimerkiksi litiumrautaofosfaattia käytettäessä puhutaan LFP-akkukennosta. Anodi taas koostuu kuparilevystä ja grafiitista, joka toimii aktiivimateriaalina.

Ladattaessa akkua katodin litiummetallioksidi vapauttaa positiivisesti varautuneita litiumioneja ja elektroneja (Linja-Aho, 2022, s. 29). Elektronit virtaavat latauslaitteen kautta, kun taas litiumionit siirtyvät akun anodille separaattorin läpi. Akun purkautuessa reaktiot tapahtuvat päinvastaiseen suuntaan (Kuva 3).



Kuva 3. Litiumioniakun toimintaperiaate (Argonne National Laboratory, 2010).

Taulukko 1 tiivistää tärkeimmät ominaisuudet joistakin suurimmista litiumioniakkutyypeistä, ja niiden sovelluksista autoteollisuudessa.

Taulukko 1. Yleisimmät akkukemiat ajoneuvoteollisuudessa (Battery University, 2023; Warner, 2015, s.77).

Lyhenne	LFP	LTO	NCA	NMC
Katodi	litium-rauta- tafosfaatti	litiumtita- naattioksidi	litium-nikkeli- kobolttialu- miinioksidi	litium-nikkeli- mangaani- kobolttioksidi
Kennojännite (V)	3,2–3,3	2,2–2,3	3,6	3,6–3,7
Energia (Wh / kg)	80–130	70	80–220	140–180
Energiatiheys (Wh / l)	220–250	130	210–600	325
Syklinen ikä	> 2000	> 3000	> 1000	1000–2000
Itsepurkautumi- nen (% / kk)	< 1	2–10	2–10	1
Valmistuskustan- nus per kWh (\$)	~ 580	~ 1000	~ 350	~ 420
Käyttölämpötila (°C)	-20–60	-40–55	-20–60	-20–55
Esimerkkejä au- tovalmistajista, jotka käyttävät kyseistä akku- tyyppiä:	BYD, Tesla, MG, Hy- undai	Daimler (Mercedes eCitaro linja- auto), Linkker linja- autot	Tesla	Volkswagen, BMW, Nis- san, Re- nault, Mer- cedes

2.3.2 LFP / litium-rauta-fosfaatti

Tulevaisuuden näkökulmasta LFP-akut ovat lupaava vaihtoehto nykyisin suosituille litiumioniakuille. Erityisesti raaka-aineiden käytön osalta LFP-akut ovat houkuttelevia, sillä niiden valmistuksessa ei käytetä arvokasta ja harvinaista nikkeliä tai kobolttia. Näin ollen LFP-akkujen valmistamista voidaan pitää eettisempänä verrattuna muihin akkutyyppeihin.

LFP-akkutyypin tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu alhainen resistanssi, hyvä lämpöstabiilius, pitkä elinkaari ja korkea virrankesto (Battery University, 2023). Tunnusomaista on myös turvallisuus, korkea syklinen ikä ja parempi sietokyky ylilatausta kohtaan verrattuna muihin litiumioniakkutyyppeihin. Haittapuoliin sisältyy hieman matalampi energiatiheys ja kylmänkesto on heikompi verrattuna kilpailijoihin.

2.3.3 LTO / litium-titanaattioksidi

LTO-akkukemian erottava tekijä muihin litiumioniakkutyyppeihin verrattuna on anodin valmistusmateriaali (Battery University, 2023). Sen sijaan että anodi olisi perinteisesti valmistettu grafiitista, LTO-akuissa se koostuu mikroskooppisen pienistä litiumtitanaattikiteistä. Tämä rakenteellinen ero mahdollistaa erityisen suuren kokonaisreaktiopinta-alan, mikä puolestaan tukee erittäin nopeita purku- ja latausnopeuksia.

Vaikka LTO-akkujen energiatiheys jää yleensä alhaiseksi ja niiden hankintahinta voi olla korkea, niillä on erinomaisia ominaisuuksia erityisesti käyttökohteissa, joissa ei vaadita pitkiä toimintamatkoja yhdellä latauksella. LTO-akut osoittavat vahvuutensa kestäessään erityisen hyvin alhaisia toimintalämpötiloja säilyttäen jopa 80 % kapasiteetistaan -30 °C:n lämpötiloissa.

Vaikka akuston koko voi kasvaa heikon energiatheyden vuoksi, tämä ei välttämättä ole merkittävä haitta hyötyajoneuvokäytössä, kuten esimerkiksi kaupunkilinja-autoissa.

2.3.4 NCA / litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi

Vaikka NCA lyhenne tulee akussa käytetyistä alkuaineista nikkeli-koboltti-alumiini, tulee muistaa, että myös tässä tapauksessa on kyse litiumpohjaisesta akkutyypistä. Panasonic on suuri NCA-akkujen valmistaja ja autoteollisuudessa Tesla käyttää paljon NCA-akkuja. NCA-akku vastaa ominaisuuksiltaan hyvin paljon NMC-tyypin akkua (Battery University, 2023).

2.3.5 NMC / litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi

NMC-akussa katodina käytetään litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidia (Battery University, 2023). NMC-akut ovat tällä hetkellä käytetyin akkutyypit sähköautoissa. Sen etuina on hyvä energiatiheys ja laaja käyttöalue eri olosuhteissa. NMC-akuista on myös eri alalajeja, esimerkiksi NMC111, NMC532, NMC622 sekä NMC811. Numeroyhdistelmä NMC-lyhenteen perässä kertoo, missä suhteessa alkuaineita on käytetty (NMC532 = nikkeli 5, koboltti 3, mangaani 2). Alkuaineista etenkin koboltti, on harvinainen ja kallis alkuaine ja sen louhintaa kritisoidaan epäeettisyyden takia. Akkuvalmistajat pyrkivätkin löytämään vaihtoehtoisia alkuaineita tai tapoja, miten kalliiden ja harvinaisten alkuaineiden käyttöä saataisiin vähennettyä.

3 KORKEAJÄNNITEJÄRJESTELMÄN KORJAUKSET

3.1 Korkeajännitejärjestelmän korjaukset (pl. ajovoima-akun sisäiset korjaukset)

Korkeajännitejärjestelmään tehtävät korjaukset ovat hyvin pitkälti tavallisia komponenttien vaihtoja, mutta yleisesti ottaen niihin tehtävissä korjauksissa pitää olla äärimmäisen tarkkana työn turvallisuuden suhteen. Myös vianhaku saattaa olla haastavaa piilevien eristysvastusvi-kojen takia. Korjauksissa tulee aina varmistua korkeajännitejärjestelmän jännitteettömyy-destä, ennen kuin korjausta lähdetään viemään yhtään eteenpäin. Ajoneuvon korkeajännite-järjestelmän deaktivointi ja jännitteettömäksi tekeminen vaihtelee automerkkien ja -mallien välillä, joten korjauksia tehtäessä on varmistuttava siitä, että työn suorittajalla on vaadittava pätevyys työn suorittamiseen ja työssä on ehdottomasti noudatettava valmistajan ohjeistuk-sia vaihe vaiheelta. Nyrkkisääntönä jännitteettömäksi tekemisessä voidaan pitää sähkötyötur-vallisuusstandardissa mainittua kolmivaiheista työjärjestystä (Linja-Aho, 2021, s. 91):

1. Täydellinen erottaminen
2. Jännitteen kytkemisen estäminen
3. Laitteiston jännitteettömyyden toteaminen

3.2 Ajovoima-akun sisäiset korjaukset

Ajovoima-akun sisäisiin korjauksiin liittyen on mainittava, että koska akkukennoja ei pysty te-kemään jännitteettömäksi, akun sisäiset korjaukset ovat aina jännitetyötä. Jännitetyötä saa tehdä ainoastaan henkilö, jolla on sähkötyöturvallisuuskoulutuksen lisäksi käytynä erikoiskou-lutus kyseessä olevaan jännitetyöhön (Linja-Aho, 2021, s. 97). Lisäksi jännitetyötä tehtäessä on ehdottomasti käytettävä erityisiä jännitetyökaluja ja työ on suoritettava valmistajan ohjei-den mukaisesti.

Korkeajänniteakun kennomoduulit ovat kytkettynä sarjaan jännitteen nostamiseksi (Linja-Aho, 2021, s. 59). Korkeajänniteakun sisäinen resistanssi on yleensä alle 1 ohmin luokkaa (mts. 61), joka tarkoittaa, että oikosulkuvirta korkeajänniteakussa saattaa olla sadoista jopa tuhansiin ampeereihin. Oikosulkukytkentä akun korjauksen yhteydessä aiheuttaa vakavan valokaarionnettomuuden riskin sekä tulipalo- ja räjähdysvaaran. Oikosulkukytkennän vaara piilee myös akun ja kennomoduulien liittimien lisäksi muissa korkeajännitejärjestelmän

liittimissä. Kaikki korkeajännitejärjestelmän liittimet on syytä suojata välittömästi irrottamisen jälkeen. Näin vältetään vierasesineiden ja epäpuhtauksien pääsemiseltä liitinpinnoille. Epäpuhtaudet liitinpinnoilla voivat heikentää kontaktia ja kasvattaa korkeajännitejärjestelmän sisäistä resistanssia tai pahimmillaan aiheuttaa oikosulun.

Korkeajänniteakun – eli siis ajovoima-akun – sisäiset korjaukset ovat mittavia operaatioita, jotka ovat suhteellisen harvinaisia vielä näin vuonna 2024, mutta lisääntymään päin sähköautojen yleistyessä ja autokannan ikääntyessä. Tällä hetkellä kaikki autovalmistajat eivät vielä ole lähteneet siihen, että korkeajänniteakkujen sisäisiä korjauksia tehtäisiin valmistajan valtuuttamissa, jälkimarkkinasektorin huoltoliikkeissä. Näissä tapauksissa, mikäli korkeajänniteakun sisältä löydetään vika, koko korkeajänniteakku vaihdetaan. Osa autovalmistajista puolestaan sallii korkeajänniteakun sisäiset korjaukset, ja nämä korjaukset pääsääntöisesti koskevat yksittäisiä kennomoduuleita ja niiden vaihtoa, akun sisäisen jäähdytysjärjestelmän korjauksia tai akkuhallinnan ohjainlaitteen korjauksia.

4 NYKYTILAN KUVAUS CASE KÄYTTÖAUTO SEINÄJOKI

4.1 Henkilöautokorjaamon laajennus

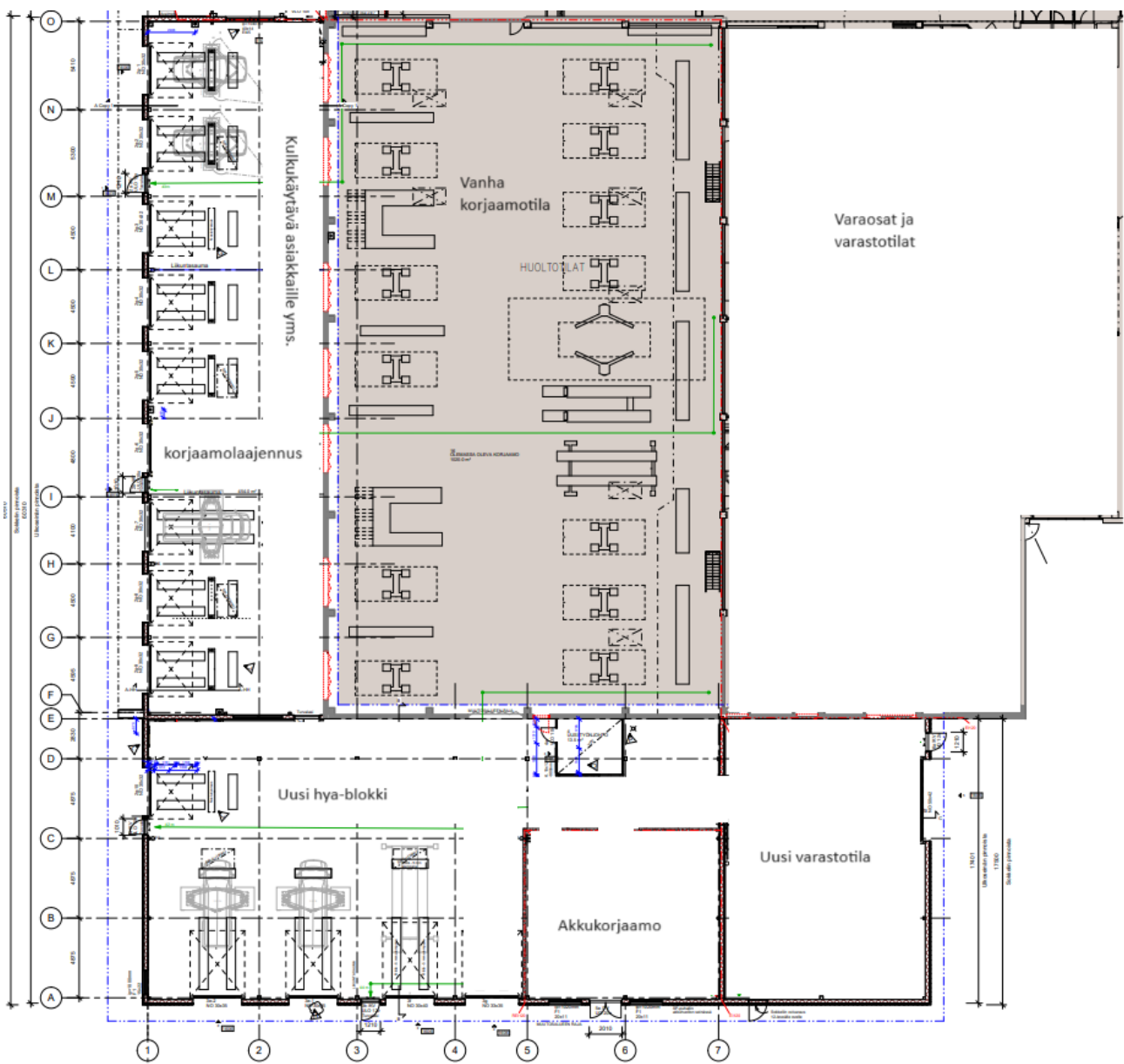
Seinäjoen Pohjankaaren toimipisteellä aloitettiin laajamittainen henkilöautokorjaamon laajennus loppukesästä 2023. Tarve laajennukselle syntyi asiakasvirtojen kasvusta sekä ajoneuvokannan teknistymisestä (Käyttöauto, 2023).



Kuva 4. Havainnekuva uudesta julkisivusta.

Autojen huolto- ja korjaamotoiminta on ollut vahvassa murroksessa 2010- ja 2020-luvuilla ajoneuvojen teknistymisen myötä. Autot sisältävät nykyisin paljon teknologiaa, mikä näkyy takuukorjausten ja takaisinkutsukampanjoiden määrän lisääntymisessä. Uusissa autoissa on paljon teknisiä haasteita, joita parannellaan ohjelmistopäivityksillä ja muilla muutoksilla vielä monta vuotta auton julkaisemisen ja valmistamisen jälkeen. Osa ohjelmistopäivityksistä voidaan ladata autoon etänä (Over-The-Air päivitykset), mutta monet vaativat myös korjaamokäyntejä. Tämän takia työtilanne ajoneuvovalmistajien valtuutetuissa korjaamoissa on ruuhkautunut entisestään. Kasvaneisiin asiakasvirtoihin pyritään vastaamaan korjaamon laajentamisella, jotta kaikkien asiakkaiden tarpeisiin pystyttäisiin reagoimaan mahdollisimman nopeasti unohtamatta normaaleja huoltokäyntejä. Korjaamolaajennuksen myötä korjaamotilojen neliömäärä tullaan kaksinkertaistamaan ja tavoitteena olisi työllistää n. 15 henkilöä lisää Seinäjoen henkilöautokorjaamolla. Henkilöautokorjaamon laajennuksen myötä, tavallisten

henkilöautojen huoltopaikkojen määrää kasvatetaan, ja hyötyajoneuvoille rakennetaan oma aluelohko, jolla vastataan entistä tehokkaammin ammattikunnan tarpeisiin. Lisäksi rakennettavaan laajennusosaan tulee erillinen akkukorjaamo, jossa tullaan suorittamaan sähköautojen korkeajänniteakuston korjauksia. Korjaamolaajennusta suunniteltaessa on pyritty ottamaan huomioon myös lisääntyneiden ohjelmistopäivitysten määrä hyödyntämällä alueita ohjelmistopäivityspisteillä, joihin teknisistä syistä on mahdotonta asentaa esim. ajoneuvonostimia. Korjaamolaajennuksen myötä uusitaan myös huollon sisäänkäynti, jonka yhteyteen tulee 24/7 toimiva auton etävastaanotto ja -luovutus piste, joka mahdollistaa auton tuomisen huoltoon ja noutamisen huollosta myös aukioloaikojen ulkopuolella.



Kuva 5. Alustava pohjapiirustus korjaamolaajennuksesta.

4.2 Korkeajännitejärjestelmän korjaukset

Kuten aiemmin työssä on mainittu, korkeajännitejärjestelmän korjaukset pitävät nykyisin sisällään niin komponenttivaihtoja korkeajännitejärjestelmässä kuin myös akun sisäisiä korjauksia. Sähköautokannan ikääntyessä erilaiset sisäiset mekaaniset viat kulumisen myötä sekä sisäiset eristysvastusviat ovat alkaneet yleistyä. Toistaiseksi suuri osa akun sisäisistä korjauksista kuuluu joko ajoneuvotakuun, erillisen akkutakuun tai takaisinkutsukampanjoiden piiriin. Yhtenä esimerkkinä akun sisäisistä korjauksista voidaan pitää Volkswagen -konsernin tiettyjen sähköautojen takaisinkutsukampanjaa, joka liittyy akkumoduulien tarkastukseen. Tässä takaisinkutsukampanjassa akkumoduulit tarkastetaan valmistajan diagnoosilaitteella, ja mahdolliset vialliset akkumoduulit vaihdetaan. Viallisten akkumoduulien määrä tässä takaisinkutsukampanjassa on yleensä 1–3 kappaletta yhtä ajoneuvoa kohden. Näitä takaisinkutsukampanjoita on Seinäjoen toimipisteellä suoritettu vuoden 2023 aikana noin 80 kappaletta. Tällä tavalla akun sisäisistä jännitetöistä on saatu paljon kokemusta, ja työn suorittaminen on rutinoitunutta.

Yhtenä mainittavana osuutena korkeajänniteakun sisäisistä korjauksista ovat vauriokorjaukset. Painauma tai kolhu akkukotelossa voi johtaa koko korkeajänniteakun vaihtoon, mutta on olemassa myös tapauksia, joissa pelkkä akkukotelo uusitaan. Tämä on yksi jo nyt sekä tulevaisuudessa korjaamoja työllistävä korkeajänniteakun kunnostusmuoto.

5 ONGLEMAKOHTIEN KARTOITUS

5.1 Sähköautot ja tulevaisuuden näkymät autokorjaamoilla

Sähköautojen yleistyminen katukuvassa alkaa vaiheittain myös näkyä korjaamomaailmassa. Vuoden 2023 tilastojen mukaan jo yli 50 % ensirekisteröidyistä henkilöautoista olivat käyttövoimaltaan joko täyssähköautoja tai ladattavia hybridejä (Autoalan tiedotuskeskus, 2024). Täyssähköautot ja ladattavat hybridit alkoivat yleistyä 2010-luvun puolessa välissä, mikä tarkoittaa, että osa liikenteessä olevista autoista alkaa olla jo valmistajien määrittelemien akkutakuiden ulkopuolella. Autojen takuuperusteet (ikä, kokonaisajomäärä) vaihtelee merkeittäin, mutta pääsääntöisesti uuden ajoneuvon takuu on 2–5 vuotta ja akkutakuu n. 8 vuotta kilometrirajan ollessa 100 000–160 000 kilometriä. Erillisen akkutakuun sisältö myös riippuu autovalmistajasta, mutta yleensä kattaa vähintään korkeajänniteakun sisäiset komponentit.

Toistaiseksi merkkiorganisaatioiden valtuutetuilla huoltoliikkeillä tehdyt ajovoima-akkujen sisäiset korjaukset ovat pääsääntöisesti takuukorjauksia, mutta autokannan ikääntyessä myös takuun ulkopuoliset korjaukset alkavat lisääntyä. Tämän voi nähdä niin uhkana kuin myös mahdollisuutena. Sähköautojen yleistymisen myötä huoltotöiden sisältö muuttuu, mikä aiheuttaa haasteita, mutta yhtä lailla sähköisellä voimalinjalla varustetut ajoneuvot tarvitsevat huoltoa ja korjausta kuten perinteisetkin polttomoottoriautot. Merkkiorganisaatioiden valtuutetuilla huoltoliikkeillä on siinä mielessä etulyöntiasema myös takuuiän ylittäneiden autojen suhteen, koska kyseiset automallit ovat olleet joskus uusia ja tätä myöden niihin on mallikohtaiset koulutukset käytynä. Lisäksi merkkiorganisaatioiden valtuutetuilla huoltoliikkeillä on maa-hantuojan ja valmistajan tekniset tukilinjat käytettävissä sekä ajantasaiset korjaamolaitteet, kuten esimerkiksi diagnostiikkatesterit sekä muut erikoistyökalut. Näin ollen näillä huoltoliikkeillä tulee varmasti olemaan oma markkina-arvo myös ikääntyvän autokannan suhteen.

Vaikka monet autovalmistajat ovat ilmoittaneet lykkäävänsä automallistojen sähköistymistä, on sähköautojen osuus autokannasta koko ajan kasvussa. Tästä syystä korjaamoiden on syytä suunnitella tulevaisuuden strategiansa siten, että ne pystyvät tulevaisuudessa vastaamaan myös näiden autojen huolto- ja korjaustoimenpiteisiin. Tämä on myös osasyynä Pohjankaaren toimipisteen korjaamolaajennukselle.

5.2 Korkeajännitekorjaukset ja niille varattu työtila

Nykytilan mukaisesti tähän asti suoritettut sähköautojen korkeajännitejärjestelmän korjaukset on suoritettu nykyisissä henkilöautokorjaamon tiloissa. Näissä korjauksissa työtilojen osalta on sovellettu SFS 6002 standardin mukaista työturvallisuuteen liittyvää ohjeistusta. SFS 6002 standardin noudattamiseen liittyy esimerkiksi työtilan rajaaminen eristysnauhalla sekä kohteen merkitseminen varoitusmerkein. Lisäksi jännitetyötä tehtäessä on käytettävä jännitetyövälineitä sekä noudatettava näitä ohjeistuksia. Työn suorittajilla on oltava vaatimusten mukaiset henkilökohtaiset suojaruuvit.

Tällä hetkellä henkilöautokorjaamolla on yksi näitä töitä varten varattava kaksipilarinen ajoneuvonostin, mikä mahdollistaa ajoneuvon nostamisen kynnyksistä siten, että ajoneuvon pohjassa sijaitseva korkeajänniteakku voidaan laskea alas. Korkeajänniteakku lasketaan sille tarkoitettuun akkupöydälle ja siirretään erilliselle työpisteelle. Nykytilanteen mukaisesti erillisenä työpisteenä käytetään työtä tekevien mekaanikkojen työpistettä, joka myös rajataan edellä mainitulla tavalla. Tällä työpisteellä mekaanikko suorittaa tarvittavat toimenpiteet korkeajänniteakun sisällä, esimerkiksi vaihtaa viallisen moduulin uuteen. Akkukorjaus sitoo siis tällä hetkellä pahimmassa tapauksessa kaksi työpistettä koko korjauksen ajaksi.

Tämä toimintaperiaate on ollut riittävä tähän asti, joskin haasteilta ei ole täysin vältytty. Kaksipilarinosturi, joka mahdollistaa korkeajänniteakun irrottamisen, sijoittuu keskelle korjaamohallia. Akkukorjausten yhteydessä liikehdintä tämän nosturipaikan ympärillä voi olla varsin vilkasta ja tarvittaessa korkeajänniteakkuja saatetaan siirrellä trukilla, mikä ruuhkauttaa kulkuväyliä ja näin ollen aiheuttaa vaikeuksia päivittäiselle korjaamotoiminnalle. Lisäksi korjaamotilat ovat myös asiakaspalvelutiloja palvelumekaanikkotoimintaperiaatteen vuoksi, joten asiakasliikenne korjaamon puolella on iso osa päivittäistä toimintaa. Mainitsemisen arvoista on myös se, että tämä kaksipilarinosturi on myös muihin töihin varattavissa esimerkiksi isoille hyötyajoneuvoille, joita ei normaaleilla ajoneuvonostureilla pysty nostamaan. Sähköautojen vikojen diagnosointi sekä korjaukset saattavat olla mittavia operaatioita, jotka kestävät useamman päivän ja näissä tapauksissa auto saattaa olla kauankin kyseisellä nosturipaikalla, mikä taas puolestaan kasvattaa kyseisen nosturin käyttöastetta ja aiheuttaa haasteita nosturipaikan varaamiselle.

5.3 Työtilan vaatimukset korkeajännitekorjauksille

Vaikka henkilöautojen sähköistyminen on ollut jo kovassa kasvussa liki kymmenen vuotta, tekniikka kehittyy edelleen nopeaa vauhtia. Tämän myötä myös valmistajien ohjeistukset muuttuvat korkeajännitekorjausten osalta. Merkkiorganisaation huoltoliikkeiltä vaaditaan tiettyjä asioita, jotta niille myönnetään valtuudet tehdä korkeajännitejärjestelmän korjauksia. Nämä asiat tarkastetaan yleensä auditoinnin myötä. Ohessa lista asioista, jotka ovat yleensä auditoinnin kriteereinä:

- Mekaanikkojen koulutustaso korkeajännitejärjestelmän korjauksille
- Korkeajänniteakun irrotuspiste, 2-pilarinostin
- Erillinen työpiste korjausten suorittamiselle
- Vaadittavat erikoistyökalut
- Karanteenitila epävakaaassa tilassa oleville autoille

Monella valmistajalla ei ole ainakaan toistaiseksi erillisiä työtilaan liittyviä vaatimuksia. Vasta kuluneen vuoden aikana autovalmistajilta on alkanut tulla omia näkemyksiä siitä, millaisina he näkevät tulevaisuuden akkukorjaamot / akkukorjaamokeskukset. Yhtenä vaihtoehtona näyttäisi olevan työtilan lohkoaminen vähintään kolmeen osaan:

1. Korkeajänniteakun irrotuspiste
2. Korkeajänniteakun korjauspiste
3. Varasto (varaosat ja erikoistyökalut)

Osalta autovalmistajista on saatavilla erilliset ohjeistukset sekä vaatimukset liittyen korkeajänniteakustojen korjauksessa käytettävään työtilaan. Taulukossa 2 on esimerkkinä erään autovalmistajan alustava vaatimuslista akkukorjaamokeskukselta:

Taulukko 2. Työtilan vaatimukset, esimerkki.

Työtilan suunnittelu:	Työtilaan kulkeminen:	Työtilan asennukset	Työtilan turvallisuus	Työtilan varustelu
Seinät:	Kulku:	Ilmanvaihto:	Paloturvallisuus:	- Korkeajännitekorjauksiin vaadittavat työkalut - Henkilökohtaiset suojavälineet
- Täyttää paikalliset vaatimukset paloturvallisuudesta - mikäli paikallisia vaatimuksia ei ole, sovelletaan eurooppalaista standardia F90	- Kulunvalvonta	- Ilmanvaihtojärjestelmä - Ilmastointi	- Paikallismääräykset - Sammutusareke sekä silmähuuhde	
Katto:	Selkeys:	Paineilma:	Vaurioautot:	
- Katon korkeus 4,5 m - Katto tai seinä on korjaus- ja testaushuoneessa suunniteltava kestävä vähintään 1 t nostokuormaa (esim. siltanosturi)	- Merkitty selkeästi akkukorjauskeskukseksi	- Paineilman syöttö - Vähintään kolme paineilman ulosottoliitintä korjaushuoneessa	- Karanteenitila	
Valaistus:	Ovet:	Sähkölaitteet ja internet		
- valon voimakkuus vähintään 500 luxia - kansalliset säädökset	- Kulkuovi korjaus- ja testaushuoneeseen vähintään 2,5 m leveä - Täyttää paikalliset paloturvallisuusluokitukset	- Pistorasioita työkaluille (balansointilaitte, diagnostiikkalaitte, vuodonilmaisimien yms.) - Wifi-yhteys		

Taulukossa 3 olevan esimerkin yhteydessä puhutaan nimenomaan akkukorjaamokeskuksen lohkottamisesta kolmeen osaan ja näille kolmelle lohkolle on myös annettu tietyt vaatimukset:

Taulukko 3. Lohkojen vaatimukset, esimerkki.

1. Akun irrotuspiste
- Täyttää korjaamotilojen yleisvaatimukset - Ajoneuvonostin, jolla kyetään irrottamaan korkeajänniteakku autosta
2. Korjaus & testaushuone
- Vähimmäisneliövaatimus: 75m ² - Kulunvalvonta ja -rajoitus - Vähintään 1,5 m vapaata tilaa työpisteen ympärillä - Kuljetusväylä irrotuspisteen ja korjaus- ja testaushuoneen välillä oltava katettu - Tasainen lattia irrotuspisteen ja korjaus- ja testaushuoneen välillä
3. Varastotila
- Täyttää korjaamotilojen yleiset kansalliset kriteerit - Moduulivarastointi F90 paloturvallisuusluokituksen kaapissa tai erillisessä varastossa.

Taulukossa 4 on erään toisen autovalmistajan esimerkki akkukorjaamon auditointilistan vaatimuksista:

Taulukko 4. Akkukorjaamon auditointilista.

Auditointilista	
Tarkastuskohde	Kommentit
Sähköauton nosturipaikka / EV BAY	
Lattian tulee olla tasainen	Helpottaa akkupöydän siirtelyä
Alueen koko vähintään 24m ²	
Ajoneuvonostin (jonka nostokohdat mahdollistavat litiumioniakun irrottamisen) tulee olla asennettuna nosturipaikalle	Litiumioniakun irrottamiseen tarvittaessa
Vähintään yksi seinälaturi ajovoima-akun lataukselle	Voi olla koko korjaamon yhteinen
Enintään 6 m väli latauspistokkeen ja virransyöttöpisteen välillä	
Litiumioniakkujen korjausalue / LiB REPAIR AREA	
Alue tulee olla erillään ja eristetty muusta korjaamotilasta	Turvallisuuden ja laadun vuoksi (vältetään pölyn aiheuttamaa saastumista jne.) / Ei lähellä mahdollista ulkoista kontaminaatiota
Alue tulee tehdä eristetyistä materiaalista, työtilan vähimmäiskorkeus 2 m	
Työtilan lattiapinta-ala tulee olla vähintään 20 m ² (5 m x 4 m)	
EV Bay:n ja LiB Repair area:n välisen lattiatilan tulee olla tasainen	
Työtilaan kulku tulee olla rajoitettu ja suljettavissa lukolla	Estetään ulkopuolisten henkilöiden pääsy avoimen korkeajänniteakun ja sen komponenttien lähelle
Alueella tulee olla varoitusmerkinnät, jotka liittyvät korkeajännitekorjauksen riskeihin ja suojaavat tilaa ulkoiselta tunkeutumiselta	Tärkeimpänä hengenvaara -kyltti työtilan sisäänkäynnin yhteydessä
Työtilan tulee täyttää paikalliset määräykset, jotka koskevat korjaamotilaa ja työtila tulee olla varustettuna yleisillä turvalaitteilla	
Lista varusteista, jotka tulee löytyä työtilasta:	Työtaso / -pöytä
	Vesiastia moduulin / kennon upotusta varten
	Hyllyjä
	Työkaluvaunuja ja -seinämiä
	Moottorinostin
Kansio, joka sisältää yleiset ohjeistukset	Tämän kansion tulee olla aina saatavilla
5S tarkastuslista	Litiumioniakkukorjauksen työtilassa tulee suorittaa 5S -standardin mukaisia toimia
Työtilassa täytyy olla valmius käyttää valmistajan teknisiä järjestelmiä sekä diagnostiikkalaitteistoa	

Koska tarkempia ohjeistuksia tai vaatimuksia ei ole toistaiseksi kaikilta merkeiltä vielä saatavilla, auton korkeajännitejärjestelmän korjauksissa sovelletaan SFS 6002 sähkötyöturvallisuusstandardia. Standardiin on lisätty liitteenä erillinen osio, Liite U, joka kattaa ajoneuvoja koskevat erityisvaatimukset. SFS6002 standardissakaan ei varsinaisesti oteta kantaa työtilan tai -alueen vaatimukseen sen tarkemmin, ainoastaan alueen rajaaminen, varoituskyltit sekä ensiapuohjeistukset ovat mainittuna.

5.4 Riskianalyysi

Auton korkeajännitejärjestelmän korjauksiin liittyy paljon riskejä, ja ne tulee tiedostaa sekä ottaa huomioon töitä tehdessä. Korkeajännitejärjestelmän korjauksiin liittyvät riskit liittyvät sähköön, kemikaaleihin sekä korkeisiin lämpötiloihin. Tässä työssä korkeajännitejärjestelmän korjauksiin liittyviä riskejä käsitellään yleisellä tasolla. Tulevan akkukorjaamon osalta on suoritettava erillinen sekä tarkempi riskien arviointi ennen työtilan käyttöönottoa.

5.4.1 Sähkö

Korkeajänniteakut voivat aiheuttaa vakavia sähköiskuja, mikäli niitä kohdellaan virheellisesti. Tämän riskin hallintaan sisältyy asianmukaisen koulutuksen antaminen korjaamo- ja huolto-työntekijöille sähköturvallisuudesta sekä tarvittavien suojarusteiden, kuten eristettyjen työkalujen käyttö. Sähköiskun saadessaan henkilö tulee osaksi virtapiiriä, mikä aiheuttaa sähkövirran kulun hänen kehonsa läpi. Ihmisen hermoston toiminta perustuu sähköimpulsseihin, ja riittävän voimakas ulkopuolelta tuleva sähkövirta häiritsee näitä impulsseja (Linja-Aho, 2021, s.78). Tämä voi johtaa lihaskouristuksiin ja hengityksen lamautumiseen. Sydän on erityisen herkkä sähkövirralle, ja sen läpi kulkeva sähkövirta voi aiheuttaa vakavia sydänoireita, kuten kammiovärinää tai sydänpysähdyksen. Lisäksi sähkövirta kehon läpi voi aiheuttaa pinnallisia tai sisäisiä palovammoja, ja tasavirta saattaa aiheuttaa kemiallisia reaktioita kehossa. Sähköiskun vaarallisuuteen vaikuttavat pääasiassa sähkövirran voimakkuus ja vaikutusaika kehossa. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat kosketuspinta-ala, kosketuspaikkojen sijainti, ihon kosteus, puristusvoima ja kosketusjännite. Vammoihin vaikuttaa myös se, onko kyseessä tasavirran vai vaihtovirran aiheuttama sähköisku.

5.4.2 Kemikaalit

Korkeajänniteakut sisältävät kemikaaleja, kuten litiumia, ja niiden väärä käsittely voi aiheuttaa terveysriskejä, kuten myrkytyksiä tai kemiallisia palovammoja. Tämän riskin hallintaan kuuluu kemikaalien asianmukainen käsittely ja varastointi sekä tarvittavien suojarusteiden, kuten kemikaalisuojakäsineiden ja -naamioiden, käyttö. Lisäksi korkeajänniteakuissa käytettävät kemikaalit ovat ympäristölle haitallisia ja voivat väärällä tavalla hävitettynä aiheuttaa ympäristöhaittoja, kuten maaperän ja vesistöjen pilaantumista. Tämän riskin hallintaan sisältyy akkujen asianmukainen kierrätys sekä akkujen sisältä mahdollisesti vuotavien kemikaalien hävittäminen paikallisten määräysten mukaisesti.

5.4.3 Korkeat lämpötilat

Yksi ilmiö, joka lukeutuu korkeiden lämpötilojen riskianalyysiin, on valokaari. Valokaari voi syntyä esimerkiksi korkeajänniteakun napojen virheellisestä kytkemisestä oikosulkuun (Linja-Aho, 2021, s.82). Suuri oikosulkuvirta voi lämmittää ympäröivää ilmaa niin vahvasti, että se ionisoituu ja muuttuu sähköä johtavaksi. Vaikka oikosulun aiheuttanut esine ei enää fyysisesti olisi kiinni akun navoissa, valokaari jää palamaan ionisoidun ilman takia. Valokaaren vaarallisuus johtuu sen erittäin korkeasta lämpötilasta ja säteilystä. Valokaaren lämpötila voi nousta jopa useisiin tuhansiin asteisiin, mikä aiheuttaa palovammoja hyvin nopeasti ja saattaa sytyttää tulipalon, jos ympäristössä on palavaa materiaalia. Lisäksi valokaari säteilee infrapuna- ja ultraviolettisäteilyä. Riittävän voimakkaana ultraviolettisäteily voi vaurioittaa silmiä, kun taas infrapunasäteily voi aiheuttaa palovammoja.

Litiumioniakkukorjauksista ja korkeista lämpötiloista puhuttaessa toinen keskeinen käsite on lämpöryntäys, jota kutsutaan myös termiseksi karkaamiseksi. Lämpöryntäys viittaa tilanteeseen, jossa järjestelmän lämpötilan äkillinen nousu johtaa lämmöntuotannon kasvuun ja hallitsemattomaan lämpötilan nousuun. Tämä puolestaan voi aiheuttaa elektrolyytin höyrystymisen ja paineen kasvun akkukennossa. Korkean lämpötilan vaikutuksesta erottaja sulaa, mikä voi johtaa kennon sisäiseen oikosulkuun. Lisäksi lämpötilan noustessa katodi hajoaa, mikä voi edelleen pahentaa tilannetta palamisreaktioiden kautta.

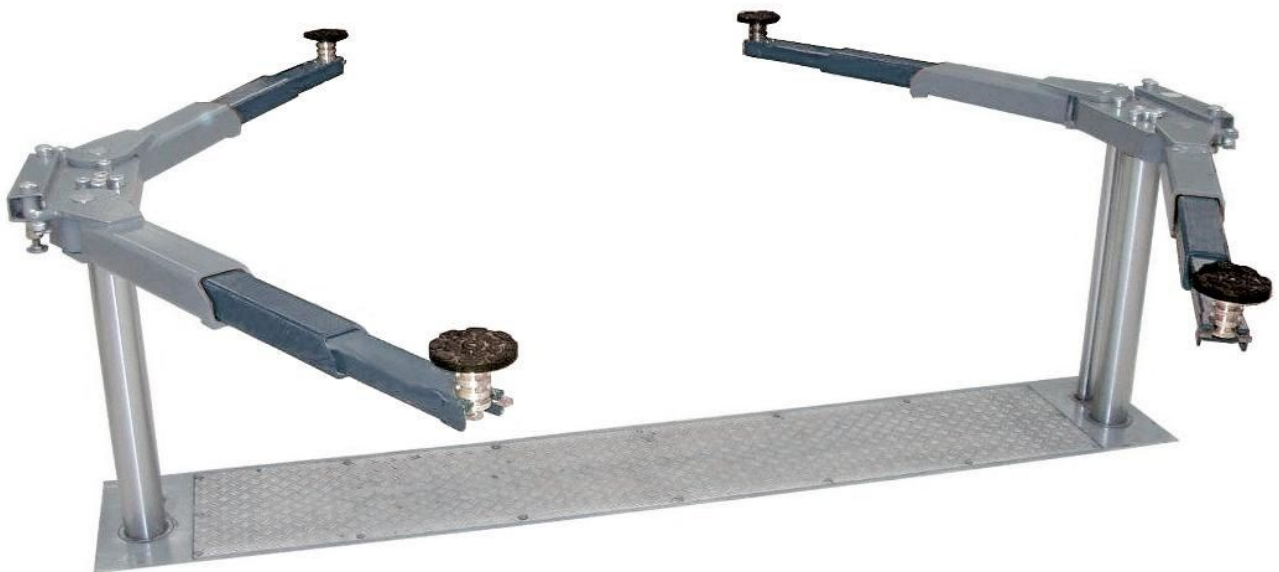
Lämpöryntäyksen syitä ovat muun muassa akkukennon sisäiset tai ulkoiset oikosulkutilanteet, ylilataus tai -purkautuminen, lämpötilan nousu ja mekaaniset vauriot. Akuston ulkoinen oikosulku voi johtua esimerkiksi akun napojen virheellisestä kytkemisestä yhteen tai ulkoisista vaurioista, kuten iskuista, kosteudesta, korroosiosta tai sähköiskuista. Tällainen oikosulku voi nostaa akuston lämpötilaa merkittävästi ja mahdollisesti johtaa lämpöryntäykseen. Akun purkautuessa liian alhaiseen jännitteeseen voi syntyä kemiallinen reaktio, joka vaurioittaa akkua. Tämä voi tapahtua esimerkiksi kuparin hapettuessa anodilla, mikä johtaa sisäiseen oikosulkuun.

Lisäksi kennon lämpeneminen voi johtua edellä mainituista syistä sekä viereisen akkukennon lämpöryntäyksestä, tulipalosta tai jäähdytysjärjestelmän toimintahäiriöstä. Akun mekaaninen vaurioituminen, kuten puristuminen, voi myös aiheuttaa ongelmia.

6 AKKUKORJAAMO

6.1 Ajoneuvonostimet korjaamolaajennuksessa

Aiemmin mainittujen ongelmakohtien ratkaiseminen on ollut keskeisessä roolissa akkukorjaamon sekä koko korjaamolaajennuksen suunnittelussa. Korjaamolaajennuksen uusille nosturipaikoille on päätetty investoida kaksisylinterinostimet, jotta jokaisella korjaamolaajennuksen osaan sijoittuvalla työpisteellä on valmius tarvittaessa irrottaa korkeajänniteakku auton pohjasta. Huomioitavaa nostimien hankkimisessa on myös maksiminostokuorma, sillä sähköinen voimalinja nostaa ajoneuvon kokonaispainoa, isoimpien mallien painaessa jopa lähemmäs 3000 kg. Korjaamolaajennuksen henkilöautojen työpisteille on tulossa kuvan 6 mukaiset, Jab Becker Twinram S2/2300 mallin kaksisylinterinostimet, joiden maksiminostokuorma on 3500 kg.



Kuva 6. Jab Becker Twinram S2/2300.

Koska tulevaisuudessa jokaisella uudella työpisteellä on valmius irrottaa korkeajänniteakku, ratkaistaan myös ongelma liittyen nykyiseen kaksipilarinostimeen sekä sen ympärillä tapahtuvaan liikehdintään. Korkeajänniteakun sisäiset korjaukset saadaan siirrettyä erilliseen työtilaan, jolloin tulevaisuudessa korjaus vie vain yhden ajoneuvonosturipaikan edellisen kahden sijaan.

6.2 Työ- ja paloturvallisuus

Akkukorjaamolla parannetaan myös työturvallisuutta monelta osin. Aiemmin korjaukset on suoritettu yleisissä korjaamotiloissa, mutta jatkossa ne saadaan siirrettyä erilliseen työtilaan. Akkukorjaamoa on suunniteltu yhdessä paikallisten pelastusviranomaisien kanssa ja voidaankin mainita, että akkukorjaamon rakenteet ja kulkuovet ovat suunniteltu EI120 paloturvallisuusluokan mukaisesti (M. Korkiavuori, henkilökohtainen tiedonanto, 20.3.2024).

Erillinen työtila siirtää korkeajänniteakun sisäiset korjaukset eristettyyn tilaan, jolloin se on entistä selkeämmin erillään ja estää ulkopuolisten henkilöiden pääsyn tilaan. Aihe kiinnostaa monia, etenkin sähköauton omistajia sekä sähköautosta kiinnostuneita. Korjaamolla on huomattu, että korjaamohallissa jännitetyön ollessa käynnissä, ulkopuoliset hakeutuvat rajatun alueen läheisyyteen tarkkailemaan työn tekoa. Vaikka se ei suoranaisesti vaaranna työn turvallisuutta, on varmasti kaikkien kannalta parempi, että korkeajänniteakun sisäiset korjaukset siirretään erilleen yleisistä korjaamotiloista.

Yksi tunnistettu riski on myös vierasmateriaalin pääsy akun sisään. Kuvitteellinen riskitilanne voisi olla seuraavanlainen: Korkeajänniteakku on aukinaisena työpisteellä ja akkua aletaan laittamaan takaisin kiinni. Akun kannen kiinnittämisen yhteydessä yleensä akun kansi tiivistetään akkukoteloon ruuvien sekä tiivisteliiman avulla. Akun kantta kiinnitettäessä viereisellä nosturipaikalla tai kauempana saattaa olla toinen auto korjattavana ja kyseisen auton korjauksen yhteydessä puhdistetaan auton jarrujen tai alustan osia käyttämällä kulmahiomakonetta tai muuta vastaavaa siten, että jarrupölyä leijailee korjaamotiloissa. Jarrupöly sisältää pienhiukkasia, jotka voivat äärimmäisessä tapauksessa leijailla korkeajänniteakun sisään. Pahimmassa tapauksessa nämä pienhiukkaset saattavat lämmitä akun sisällä ja aiheuttaa äkillistä lämmön nousua akun sisällä, ja se voisi johtaa mahdollisesti myös lämpöryntäykseen ja aiheuttaa korkeajänniteakun tulipalon.

Yllä mainittu riskitilanne sekä muiden vierasmateriaalien pääsy korkeajänniteakun sisään poistuu korjausten siirtyessä akkukorjaamolle. Erillinen akkukorjaamo myös helpottaa tilan siisteyden ylläpitoa.

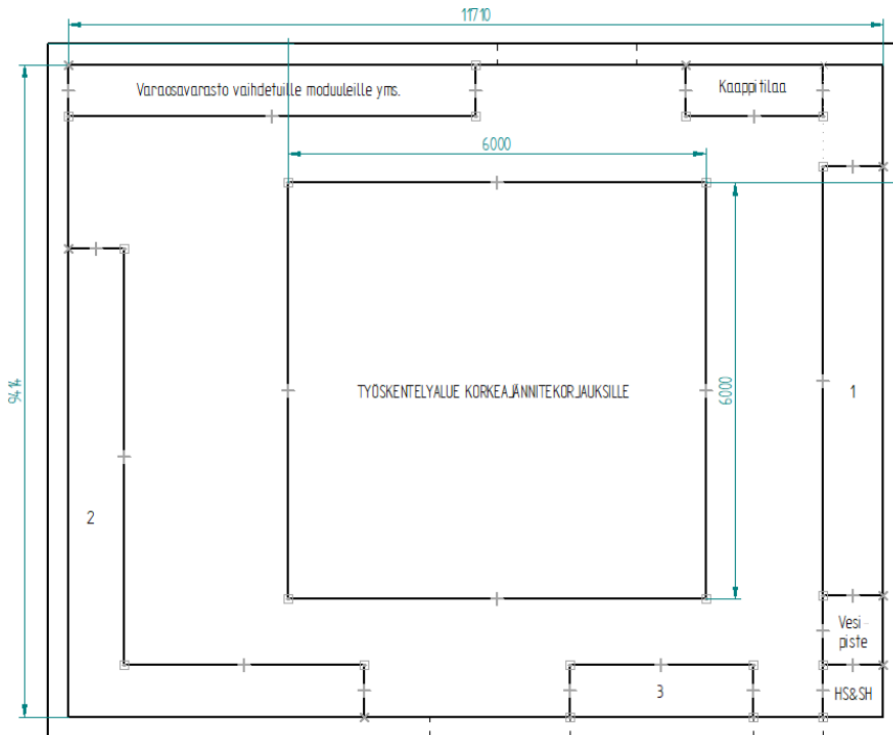
6.3 Työtilan vaatimukset

Kuten aiemmassa pääluvussa on kerrottu, kaikilta autovalmistajilta ei ole suoranaista ohjeistusta saatavilla akkukorjaamon työtilavaatimuksille. Akkukorjaamo suunniteltaessa on otettava huomioon olemassa olevat vaatimukset ja pyrittävä niiden noudattamiseen, jotta tulevien auditointien myötä akkukorjaamo pystytään tulevaisuudessa hyödyntämään mahdollisimman laajasti kaikkien toimipisteellä edustettavien merkkien suhteen.

6.4 Akkukorjaamon layout -suunnitelma

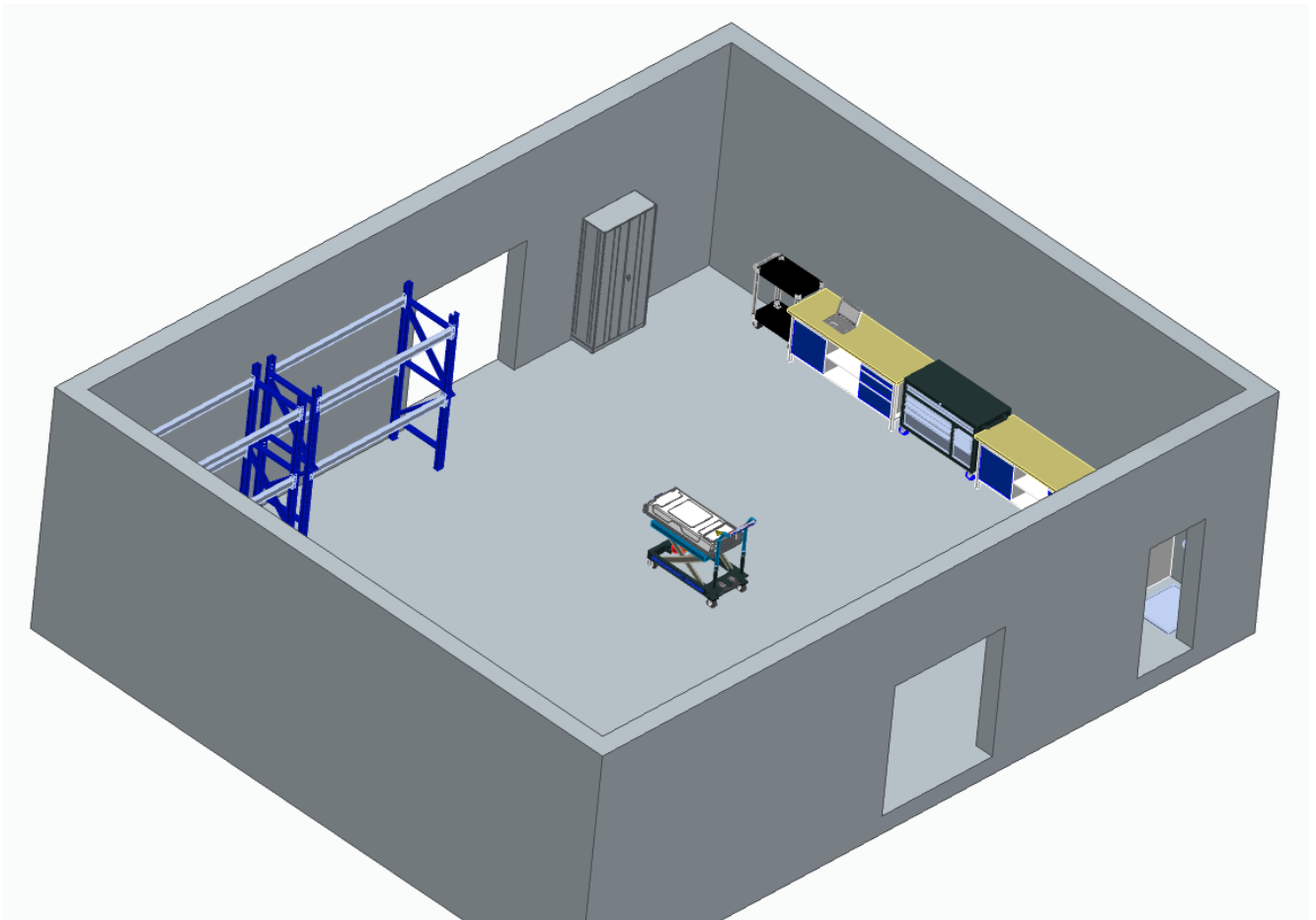
Uusi akkukorjaamo on pinta-alaltaan noin 110 m² (11,71 m x 9,414 m) ja noin 3,6 metriä korkea. Työtilaan tulee yksi 2,1 metriä leveä pariovi (ulkoseinän puolella), yksi 2,1 metriä leveä liukuovi sekä yksi 1,5 m leveä kulkuovi. Leveämpiä ovia voidaan käyttää korkeajänniteakun siirtämiseen työtilaan sekä ulkoseinässä olevaa pariovea myös logistisiin toimenpiteisiin (moduulien kierrätys). Kapeampi ovi toimii henkilökulkuovena työtilaan. Ovet on luokiteltu saman paloturvallisuusluokan mukaan kuin työtila, eli EI120. Huomionarvoista on myös se, että akkukorjaamon ulkoseinään asennettava ovi on myös turvallisuustoimenpide, jotta tulipalon sattuessa palava korkeajänniteakku saadaan siirrettyä mahdollisimman nopeasti ulos rakennuksesta.

Työtilan suunnittelun pohjana on autovalmistajilta saadut vaatimukset sekä auditointilistat. Pyrkimyksenä on täyttää saatavilla olevat vaatimukset mahdollisimman hyvin. Työtila on tällä hetkellä pinta-alaltaan suurempi kuin mitä valmistajien vähimmäisvaatimukset, ja tämän pohjalla on ajatus siitä, että tila on tarvittaessa myöhemmin muunneltavissa. Lisäksi työtilaa tul- laan varustelemaan vielä myöhemmin lisää, kun autovalmistajien kriteerit tarkentuvat. Ku- vista 7–10 saa käsityksen layout-ehdotuksesta työtilan osalta:

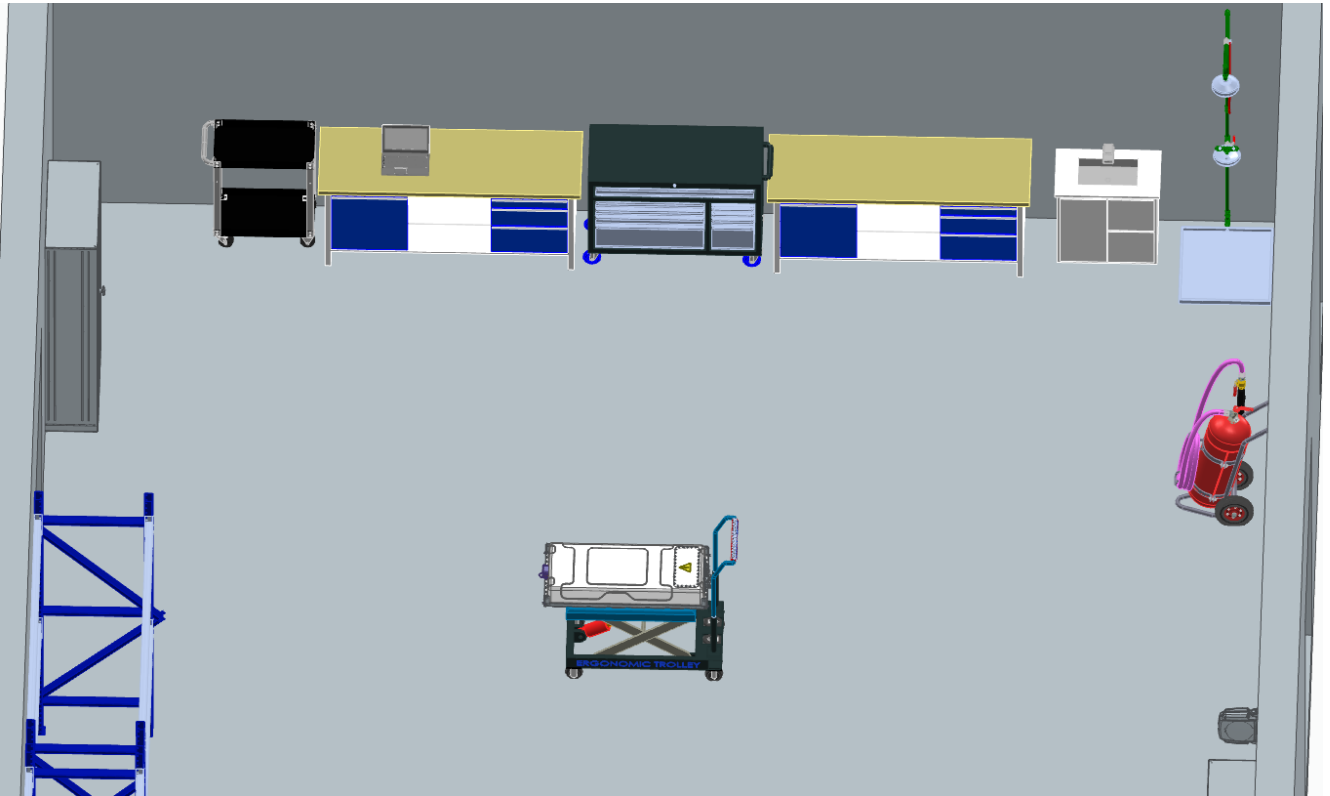


1. Kiinteitä sekä siirrettäviä työtasoja sekä työkaluvaunuja
 2. Kaappi-, seinä-, ja lattiatilaa erikoistyökaluille ja korjaamolaitteille (ml. sähkötyöturvallisuusvarusteet)
 3. Palosammutin
- HS & SH = Hätäsuihku- ja silmähuuhdepiste

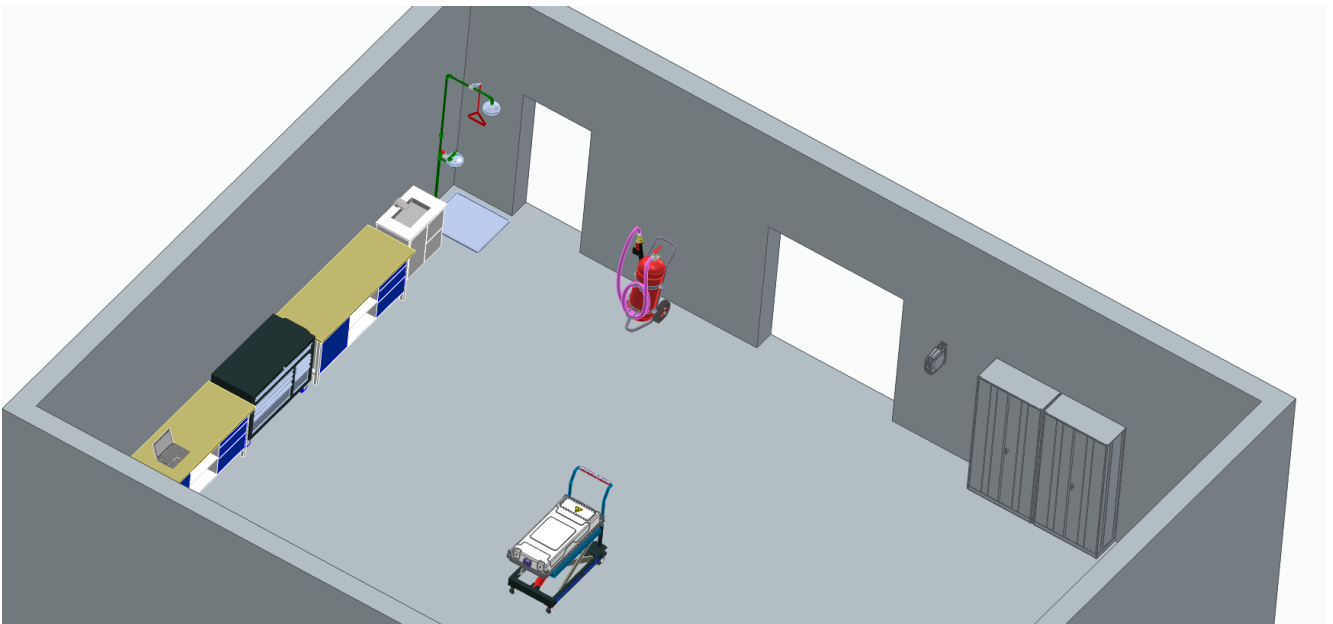
Kuva 7. Akkukorjaamon pohjapiirustus.



Kuva 8. Akkukorjaamon alustava layout -suunnitelma 1.



Kuva 9. Akkukorjaamon alustava layout -suunnitelma 2.



Kuva 10. Akkukorjaamon alustava layout -suunnitelma 3.

Kuvassa 7 on eriteltyä pohjapiirustukseen rajatut alueet ja akkukorjaamosta on luotu havainnollistava malli layout -suunnitelman mukaisesti (Kuvat 8–10). Sisäkäytävän puoleiselta sisäänkäynniltä katsottaessa oikealle seinustalle on rajattu alue kiinteille ja siirrettäville työtaidoille sekä työkaluvaunulle. Työkaluvaunu varustellaan siten, että sieltä löytyvät tarvittavat jännitetyökalut sekä akun puhdistamiseen ja esimerkiksi akkukannen irrotukseen ja

kiinnitykseen tarvittavia työkaluja (esimerkiksi liimanpoistokaapimet, momenttiavaimia, harjoja sekä muita puhdistusvälineitä). Tälle seinustalle asennetaan myös käsienpesupiste, hätäsuihku sekä silmähuuhepiste. Kiinteitä työtasoja tarvitaan mm. diagnostiikkalaitteille sekä tietokoneelle. Siirreltävät työtasot helpottavat työskentelyalueella toimimista lattiapinta-alan ollessa suhteellisen suuri. Peräseinustalle on kaavailtu lisää kaappitilaa sekä mahdollisesti kuormalavahyllyjä työtilassa suoritettavien korjausten varaosille. Vasemmalle seinustalle on kaavailtu rajattua tilaa erikoistyökalujen sekä korjaamolaitteiden säilyttämiselle. Näitä varten on varattava kaappi-, seinä- ja lattiatilaa. Tälle seinustalle on myös suunniteltu jännitetyöhön liittyvät pelastusvarusteet (mm. pelastuskoukku yms.). Sisäkäytävän puoleiselle seinustalle on suunniteltu lisätilaa erikoistyökalujen ja korjaamolaitteiden säilyttämiselle sekä ovien väliin sijoittuva palosammutin. Palosammutinta voidaan tilannekartoituksen mukaisesti käyttää mahdollisesti litiumioniakun palon alkusammutukseen. Vaihtoehtona palosammuttimelle pidetään Preston valikoimasta löytyvää LB50 suurtehosammutinta. Presto suosittelee kyseistä sammutinta käytettäväksi esimerkiksi autokorjaamoilla sekä litiumioniakkuja sisältävissä varastoissa (Presto, 2019). Sammuttimen laukaisumekanismi ja suuttimen rakenne mahdollistavat sammutusaineen purkautumisen alhaisella paineella pieninä pisaroina, mikä tehostaa jäähdystystä. Pitkällä tyhjenemisajalla varustettuna sammutin optimoi jäähdystystehon. Tehokas sammutusneste tunkeutuu alhaisen pintajännityksen ansiosta palavaan materiaaliin samalla jäähdyttäen akustoa tehokkaasti. Akuston lisäksi sammutin sammuttaa myös akkujen ympärillä olevan materiaalin. Presto LB50 pystyy sammuttamaan sekä A-luokan (hehkupalot) että B-luokan (nestepalot) paloja. Sammutteen määrä sammuttimessa on 50 litraa ja sen tyhjenemisaika on noin 5 minuuttia.



Kuva 11. Presto LB50 suurtehosammutin.

Työskentelyalue on layout-suunnitelmassa merkitty 6 m x 6 m alueeksi, joka tullaan merkitsemään lattiaan keltamustaraidallisella varoitusmerkinnällä. Työtilaan tullaan sijoittamaan myös aluerajaustolpat, joilla työskentelyalue saadaan rajattua fyysisesti.

Työtilan ulkopuolelle tulee autovalmistajien vaatimuksien mukaiset varoituskyltit, ja työtila tullaan merkitsemään selkeästi akkukorjaamoksi. Ehdotuksena on, että työtilan leveämmät ovet ovat avattavissa ja lukittavissa mekaanisilla lukoilla ja henkilökulkuovi on avattavissa ulkopuolelta kulkutunnisteen avulla, jolloin työtilan henkilöliikennettä voidaan seurata ja ulkopuolisten kulkua rajoittaa.

Akkukorjaamoon on havainnekuvista poiketen tulossa lisäksi kattoon asennettava 1 tonnin siltanosturi, joka helpottaa korkeajänniteakkujen siirtelyä työtilassa. Lisäksi työtilaan tullaan asentamaan pistorasioita, jatkojohtokeloja sekä paineilmakeloja, mutta näiden tarkempi sijoittelu varmistuu, kun akkukorjaamon varustelu aloitetaan myöhemmin keväällä. Akkukorjaamotyötilaan asennetaan muusta kiinteistön viemäriverkostosta erottuva lattiakaivo keskelle työtilaa. Erillisellä lattiakaivolla voidaan varmistua siitä, että kemikaalionnettomuuksien tapauksessa ympäristölle haitallisia akkukemikaaleja ei pääse kiinteistön muuhun viemäriverkostoon.

7 TULOKSET

Tämän opinnäytetyön pääasiallisena tavoitteena oli korkeajännitekorjaukseen varatun erillisen työtilan vaatimuksien selvittäminen yleisellä tasolla ja autovalmistajakohtaisten vaatimusten osalta. Toisena päätavoitteena oli luoda tulevalle akkukorjaamolle alustava layout -suunnitelma. Oheistavoitteena oli korkeajännitekorjauksiin perehtyminen sekä opinnäytetyön kokonaisuuden pohdinta toimeksiantajan näkökulmasta.

Työn tuloksena on kattava selvitys korkeajännitejärjestelmän korjausten nykytilasta sekä tulevaisuuden näkymistä. Vaikka kaikilta autovalmistajilta ei suoraa ohjeistusta työtilan vaatimusten osalta ollut saatavilla, muutamien autovalmistajien auditointilistojen sekä ohjeistusten perusteella oli mahdollista luoda kokonaiskuva tärkeimmistä avaintekijöistä työtilan osalta.

Vaikka akkukorjaamo on opinnäytetyön kirjoitushetkellä vielä rakennusvaiheessa, tämän opinnäytetyön avulla voidaan lyhentää työtilan varusteluun kuluva aikaa ja näin ollen työtila saadaan toivon mukaan nopeammin käyttöön. Lopulliset laitevalinnat sekä aluerajaukset varmistuvat varustelun alkaessa. Voidaankin todeta, että toimeksiantajayritys kykenee hyödyntämään työssä saavutettuja tuloksia apuna akkukorjaamon jatkosuunnittelussa.

8 POHDINTA

Kuten jo aiemmin työssä on todettu, sähköiset voimalinjat osana autotekniikkaa ovat tulleet jäädäkseen ja vahvistavat markkinaosuuttaan entisestään. Tässä vaiheessa on vielä hankala arvioida, minkälaisia vaikutuksia sillä on tulevaisuudessa ajoneuvoalaan. Nykytilassa on kuitenkin jo havaittu, että myös sähköautot vaativat huoltoa sekä korjaustoimenpiteitä ja niiden tekniikasta opitaan koko ajan lisää. Näin ollen toimeksiantajan sijoitusta erilliseen akkukorjaamotilaan voidaan pitää kannattavana. Investointi ei tunnu niin suurelta kertaiskulta, koska korkeajännitejärjestelmän korjauksia on jo aiemmin suoritettu korjaamalla, ja näin ollen perusvaatimukset täyttyvät jo ennestään esimerkiksi erikoistyökalujen osalta. Erillisellä korkeajänniteakuston korjaustilalla parannetaan työturvallisuutta ja -ergonomiaa.

Työtä rajattiin tarkasteltavien näkökulmien puolesta koskemaan lähinnä työtilaan liittyviä vaatimuksia. Näin ollen esimerkiksi erikoistyökalut sekä työn suorittamiseen vaadittavien koulutusten tarkastelu jäi pienemmälle painotukselle. Lisäksi työssä pyrittiin tuomaan asioita esille yleisellä tasolla menemättä tarkempiin yksityiskohtiin, jotta tulokset olisivat mahdollisimman yleispäteviä. Sidosryhminä työlle toimivat joidenkin autovalmistajien maahantuontiorganisaatiot, joiden pyynnöstä heiltä saatua materiaalia käsiteltiin opinnäytetyössä ainoastaan yleisellä tasolla.

Kun verrataan esimerkkinä annettuja autovalmistajien vaatimuksia sekä alustavaa layout -suunnitelmaa, voidaan havaita, että työtila ei täytä kaikkia vaatimuksia. Tämä johtuu rakennusteknisistä päätöksistä. Esimerkiksi työtilan liukuoven leveys on vain 2,1 metriä, koska saatavilla ei ole työtilan muihin mittoihin sopivaa leveämpää ovea, jotta työtilan paloturvallisuusluokitus säilyy EI120 -tasolla. Tämä sekä muut epäkohdat voidaan myös selittää sillä, että vaatimuslistat ovat osalla autovalmistajista vasta alustavia. Lisäksi auditoinnit ovat yleensä liikekohtaisia, jolloin vaatimuksista voidaan yleensä poiketa riippuen kokonaisuudesta.

Jatkotoimenpiteet akkukorjaamon suhteen ovat seuraavanlaiset:

- Laajempi ja tarkempi riskianalyysi
- Työturvallisuuteen liittyvät ohjeistukset mm. tulipaloja ja sähköiskuja varten
- 5S-toimintaohjeistus
- Työtilan kalustaminen ja varustelu
- Käyttöönotto sekä auditoinnit

Suomessa ajoneuvojen korkeajännitejärjestelmän korjauksiin sovelletaan sähkötyöturvallisuuslakia sekä SFS 6002 -standardia. Sen lisäksi autovalmistajilla on omat vaatimuksensa korjauksiin. Autovalmistajien omat vaatimukset eivät korvaa maakohtaisia lakeja, vaan ovat niitä täydentämässä, jotta töiden suorittaminen olisi mahdollisimman turvallista. Aiemmin SFS 6002 -standardissa ei ole puhuttu mitään työtilan vaatimuksista, mutta standardi on uusiutunut vuonna 2024. Alustavassa uudistusehdotuksessa on liitteen kohdassa U.4 mainittu, että 'Akkukorjauksia saa tehdä vain siihen soveltuvissa työtiloissa'. Nähtäväksi jää, tarkentuuiko tämä maininta lopulliseen uudistettuun standardiin. SFS 6002 -standardiin on tulossa myös muita aiempaa tarkentavia ohjeistuksia.

LÄHTEET

- Argonne National Laboratory. (27.9.2010). *How a lithium-ion battery works* [valokuva]. Flickr. <https://flic.kr/p/8Erh2x> CC BY-NC-SA 2.0 DEED
- Autoalan tiedotuskeskus. (1.3.2024) *Ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimatilastot*. https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/henkiloautojen_kayttovoimatilastot
- Battery University. (2023). *BU-205: Types of Lithium-ion*. <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>
- Battery University. (2024). *BU-216: Summary Table of Lithium-based Batteries*. <https://batteryuniversity.com/article/bu-216-summary-table-of-lithium-based-batteries>
- Kiiskinen, J. (2021). *Ford Ecoboost 1,0 MHEV: kevythybriditekniikka tueksi*. Suomen Autoteknillinen Liitto. <https://satl.fi/2021/11/06/ford-ecoboost-10-mhev/>
- Käyttöauto. (2.10.2023) *Tiedote: Käyttöauto vahvistaa huoltotoimintaansa Seinäjoella*. <https://www.kayttoauto.fi/fi/blogi/kayttoauto-vahvistaa-huoltotoimintaansa-seinajoella/>
- Käyttöauto. (i.a.-a). *Yritysesittely*. <https://www.kayttoauto.fi/fi/yritysesittely/>
- Käyttöauto. (i.a.-b) *Käyttöauto Seinäjoki – Pohjankaari 2: Huolto*. <https://www.kayttoauto.fi/fi/autoliikkeet/seinajoki/huolto/>
- Linja-Aho, V. (2021). *Sähkö- ja hybridiajoneuvojen sähkötyöturvallisuus* (3.p.). Suomen Autoteknillinen Liitto.
- Linja-Aho, V. (2022). *Litiumioniakkutekniikka* (2.p.). Suomen Autoteknillinen Liitto.
- Linja-Aho, V., Mäkinen, J., & Orrberg, M. (2022). *Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät* (6. p.). Sähköinfo.
- Presto. (1.10.2019). *Litiumakku sammutetaan jäähdyttämällä*. <https://www.presto.fi/blogi/litiumioniakku-sammutetaan-jaahdyttamalla>
- Skoda Storyboard. (8.10.2020a). *Get to know the MEB platform, the base of the ŠKODA ENYAQ iV*. <https://www.skoda-storyboard.com/en/models/enyaq/get-to-know-the-meb-platform-the-base-of-the-skoda-enyaq-iv/>
- Skoda Storyboard. (14.10.2020b). *The module with the batteries* [valokuva]. https://www.skoda-storyboard.com/en/skoda-world/innovation-and-technology/get-to-know-the-meb-platform-the-base-of-the-skoda-enyaq-iv/attachment/750_20_storyboard_infografika_baterie_en_2/ CC BY-NC-ND

SESKO. (2021). *Sähköautosanasto*. <https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/sahkoautosanasto/>

Volkswagen Newsroom. (19.11.2017). *Modular electric drive matrix (MEB)* [valokuva]. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/modular-electric-drive-matrix-meb-3677> CC BY-NC-ND

Warner, J. (2015). *The handbook of lithium-ion battery pack design: Chemistry, components, types and terminology*. Elsevier Inc.

LIITTEET

Liite 1. SFS 6002 Liite U

Liite 2. Liite Y.7 Pienoisjännitelaitteistot

Liite 1. SFS 6002 Liite U

U.1 Yleistä

Tässä liitteessä tarkoitetaan sähköajoneuvolla sähkö- tai hybridiajoneuvoa tai työkonetta, jossa on akusta tai vastaavasta energialähteestä syötettävä sähköinen ajovoimajärjestelmä, jonka nimellisjännite on yli 120 V tasajännitettä tai 50 voltia vaihtojännitettä. Sähköajoneuvoissa käytetään yleisesti termiä matalajännite (en low voltage) tarkoittamaan alle 60 V tasajännitettä ja 30 V vaihtojännitettä eli tavallisesti ajoneuvojen 12 V ja 24 V akkujännitteitä. Ajovoimajärjestelmissä käytettäviä suurempia jännitteitä kutsutaan ajoneuvo-tekniikassa korkeajännitteiksi (en high voltage). Raja on määritelty Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) säännössä nro 100 *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train* (versio 2, elokuu 2013) kohdassa 2.17.

Tämä liite sisältää sähköajoneuvokorjaamoja koskevia erityispiirteitä. Sähköajoneuvokorjaamot poikkeavat tavallisista sähkölaitekorjaamoista mm. siten, että ajoneuvokorjaamolla korjattavista autoista vain pieni osa on sähköajoneuvoja ja samoissa korjaamotiloissa työskentelee mekaanikkoja, joilla ei ole sähköalan koulutusta tai kokemusta.

Sähköturvallisuuslain mukaan tieliikennekäyttöön soveltuvan sähköajoneuvon voimajärjestelmän sähkötöissä ei vaadita sähkötöiden johtajaa, jos työn suorittaja on riittävästi perehtynyt tai perehdytetty kyseisen ajoneuvomallin sähköjärjestelmään ja sähkön vaaroihin. Työn tekijän on tällöin huolehdittava työnaikaisesta sähköturvallisuudesta, ks. asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä (1435/2016)

U.2 Kilvet ja ohjeet

Mikäli sähköajoneuvossa tehdään sähkötyötä, on ajoneuvo merkittävä selkeästi esimerkiksi lippusiimalla ja vaarallisesta jännitteestä kertovalla varoituskilvellä, joka sijoitetaan näkyvään paikkaan esimerkiksi ajoneuvon katolle.

Korjaamotila ja työntekijöiden sosiaalitila on varustettava ensiapuohjetaululla. Korjaamotilan kaikki henkilökulkutiet on varustettava vaarallisesta jännitteestä varoittavilla kilvillä sekä pääsy asiattomilta kielletty -maininnalla.

Sähkö- tai hybridi ajoneuvoja huollettaessa ja korjattaessa on työntekijällä aina oltava käytävissä ajoneuvomallikohtaiset huolto/korjausohjeet, jotka sisältävät ohjeet ajoneuvon jännitteettömäksi tekemiseksi.

U.3 Henkilöstön koulutus

Hybridi- ja sähköajoneuvoja korjattaessa tämän standardin mukainen sähkötyöturvallisuuskoulutus soveltuvin osin ja tarvittava ajoneuvomallia koskeva koulutus, on annettava kaikille ajoneuvon huolto- ja korjaustoimenpiteitä tekeville.

Ne korjaamohallissa työskentelevät, jotka eivät osallistu sähköajoneuvojen huolto- ja korjaustöihin, eivät tarvitse varsinaista sähkötyöturvallisuuskoulutusta. Heille riittää perehdytys sähkön vaaroihin ja toimintaan onnettomuustilanteessa.

Ajoakuston jännitetöihin sovelletaan kohdan Y.7 vaatimuksia jänniterajoista riippumatta.

Liite 2. Liite Y.7 Pienoisjännitelaitteistot

SELV- ja PELV-pienoisjännitteisissä laitteistoissa jännitteisenä tehtävissä töissä käytetään jännitetyövälineitä, ja niissä noudatetaan niitä koskevia ohjeita. Jos laitteistossa on suurivirtaisen oikosulun vaara, esim. suuret akustot, pitää työn tekijän olla sähköalan ammattihenkilö tai työtä tekeväälle opastetulle henkilölle on annettava yleinen sähkötyöturvallisuuskoulutus ja työtä koskeva jännitetyökoulutus, katso kohta Y.2. FELV-järjestelmien jännitteissä sovelletaan pienjännitelaitteistoja koskevia vaatimuksia, katso kohta Y.8.