

Raskaan kaluston sähkökonversioiden edistäminen

Tekniset reunaehdot ja turvallisuus

Vesa Linja-aho

Julkaisun nimi Raskaan kaluston sähkökonversioiden edistäminen – tekniset reunaehdot ja turvallisuus				
Tekijät Vesa Linja-aho				
Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 30.3.2022				
Julkaisusarjan nimi ja numero Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 4/2022		ISSN(verkkojulkaisu) 2669-8781 ISBN(verkkojulkaisu) 978-952-311-812-6		
Asiasanat sähkökonversio; sähköturvallisuus; muunnosajoneuvot; rakennemuutosmääräys				
Tiivistelmä Yksi tapa edistää ammattiliikenteen sähköistymistä on muuttaa jo liikennekäytössä olevia polttomoottorihyötyajoneuvoja sähkökäyttöisiksi. Tässä raportissa selvitetään raskaan kaluston sähkökonversioajoneuvojen eli muunnosajoneuvojen turvallisuuteen liittyviä reunaehtoja Fossiilittoman liikenteen tiekartan kirjauksen mukaisesti. Muutettaessa ajoneuvo sähkökäyttöiseksi, polttomoottori korvataan sähkömoottorilla ja ajovoima-akustolla sekä näiden vaatimalla tehoelektroniikalla. Voimassa oleva lainsäädäntö ja sen nojalla annetut määräykset eivät erottele henkilö-, kuorma- ja linja-autojen konversioita tällä hetkellä mitenkään. Mahdollisten sääntelymuutosten pohjaksi selvityksessä on tarkasteltu ajoneuvojen sähkökonvertointiin liittyviä liikenneturvallisuusriskejä ja niihin liittyviä sääntelyn muutostarpeita, keskittyen erityisesti raskaaseen kalustoon. Selvityksessä keskitytään ammattimaisesti järjestettyyn konversiotoimintaan. Selvityksessä tunnistettiin useita raskaan kaluston konversioajoneuvojen turvallisuuteen liittyviä huomioonotettavia seikkoja. Turvallisten sähkökonversioiden ammattimainen suunnittelu ja valmistus edellyttää vaativaa asiantuntijatyötä, jotta ajoneuvon toiminnallinen turvallisuus ja kolariturvallisuus pysyvät hyväksyttävällä tasolla. Myös muunnostyön riittävä dokumentointi on edellytys kunnossapidon työturvallisuudelle. Olemassa oleviin tyyppihyväksytyihin jarru- ja ohjausjärjestelmiin ei tulisi muunnostyössä koskea. Sähkö- ja paloturvallisuuden kannalta on tärkeää, että akkujen suunnittelu ja kiinnitys toteutetaan asianmukaisesti. Tuloksia voidaan hyödyntää lainsäädännön ja viranomaismääräysten valmistelussa sekä konversiotoimintaa aloittelevien yritysten toiminnan suunnittelussa.				
Yhteyshenkilö Outi Ampuja		Raportin kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Kokonaissivumäärä 29
Jakaja		Kustantaja Liikenne- ja viestintävirasto Traficom		

Publikation Främjande av elkonverteringar av tunga fordon – tekniska förutsättningar och säkerhet			
Författare Vesa Linja-aho			
Tillsatt av och datum Transport- och kommunikationsverket Traficom 30.3.2022			
Publikationsseriens namn och nummer Traficoms forskningsrapporter och utredningar 4/2022		ISSN (webbpublikation) 2669-8781 ISBN (webbpublikation) 978-952-311-812-6	
Ämnesord elkonvertering; elsäkerhet; konverterade fordon; bestämmelsen om konstruktionsändringar			
Sammandrag Ett sätt att främja elektrifieringen av yrkestrafiken är att konvertera påställda förbränningsmotordrivna nyttofordon till eldrivna fordon. I denna rapport utreds de tekniska förutsättningarna kring säkerheten av tunga elkonverterade fordon, dvs. konverterade fordon, i enlighet med inskrivningen i Färdplanen för fossilfria transporter. När ett fordon konverteras till ett eldrivet fordon, ersätts förbränningsmotorn med en elmotor och traktionsbatterier samt den kraftelektronik som de kräver. Den gällande lagstiftningen eller bestämmelserna som utfärdats med stöd av den skiljer för tillfället inte på något sätt på konverteringar av personbilar, lastbilar och bussar. Som underlag för eventuella ändringar i regleringen har det i utredningen granskats trafiksäkerhetsrisker kring elkonverteringen av fordon samt de ändringsbehov i regleringen som förknippas med dem, med särskild fokus på tunga fordon. Utredningen fokuserar på yrkesmässig konverteringsverksamhet. I utredningen identifierades det flera saker som bör beaktas kring säkerheten av konverterade tunga fordon. Professionell planering och tillverkning av trygga elkonverteringar förutsätter krävande expertarbete för att fordonets funktionella säkerhet och krocksäkerhet ska hålla sig på en godtagbar nivå. Även en tillräcklig dokumentering av ändringsarbetet är en förutsättning för en trygg arbetsmiljö vid underhåll. Befintliga typgodkända broms- och styrsystem bör inte röras vid ändringsarbetet. Ur ett el- och brandsäkerhetsperspektiv är det viktigt att planeringen och anbringandet av batterierna görs korrekt. Resultaten kan utnyttjas i beredningen av lagstiftningen och myndighetsbestämmelser samt i verksamhetsplaneringen hos företag som planerar att inleda konverteringsverksamhet.			
Kontaktperson Outi Ampuja		Språk finska	Sekretessgrad offentlig
Distribution		Sidoantal 29	
		Förlag Transport- och kommunikationsverket Traficom	

Title of publication The promotion of heavy-duty electric conversion vehicles – technical preconditions and safety			
Author(s) Vesa Linja-aho			
Commissioned by, date Finnish Transport and Communications Agency Traficom 20 March 2022			
Publication series and number Traficom Research Reports 4/2022		ISSN (online) 2669-8781 ISBN (online) 978-952-311-812-6	
Keywords electric conversion; electrical safety; conversion vehicles; conversion regulations			
Abstract One way to promote the electrification of professional transport is to transform the commercial vehicles with internal combustion engines already in traffic use into electric ones. This report examines the preconditions related to the safety of heavy-duty electric conversion vehicles in accordance with the item of the Roadmap to fossil-free transport. The electrification of a vehicle entails the replacement of the internal combustion engine with an electric motor and traction batteries, as well as with the power electronics required by them. The established law and the regulations appointed by its virtue do not differentiate between the conversion of passenger cars, lorries, or buses in any way at present. To provide a basis for potential regulatory changes, this report reviews the road safety risks related to the electric vehicle conversion and the related needs for regulatory changes, with the focus specifically on heavy-duty vehicles. The report focuses on professionally organised conversion operations. The report identifies several significant factors related to the safety of heavy-duty conversion vehicles. The professional planning and preparation of safe electric conversions requires demanding expert work to ensure that the operational safety and collision safety of vehicles remain at an acceptable level. Sufficient documentation of conversion work is also a prerequisite for the occupational safety of maintenance personnel. The existing type-approved brake and steering systems should not be touched in the conversion work. For the purposes of electric and fire safety, it is important that the batteries are designed and installed properly. The results can be used in the preparation of legislation and official regulations, as well as in the planning of new conversion operations of companies.			
Contact person Outi Ampuja		Language Finnish	Confidence status public
		Pages, total 29	
Distributed by		Published by Finnish Transport and Communications Agency Traficom	

ALKUSANAT

Tämä selvitys on tehty Liikenne- ja viestintäministeriön toimeksiannosta ja liikenne- ja viestintävirasto Traficomin tilaamana, tavoitteena tarkastella Fossiilittoman liikenteen tiekartan kirjauksen mukaisesti ja mahdollisten sääntelymuutosten pohjaksi ajoneuvojen sähkökonvertointiin liittyviä liikenneturvallisuusriskejä ja niihin liittyviä sääntelyn muutostarpeita, keskittyen erityisesti raskaaseen kalustoon. Selvityksessä keskitytään ammattimaisesti järjestettyyn konversiotoimintaan.

Selvityksen on toteuttanut DI Vesa Linja-aho. Työn ohjausryhmään kuuluivat Outi Ampuja (Traficom), Aki Tilli (Traficom) ja Saara Jääskeläinen (Liikenne- ja viestintäministeriö).

Helsingissä, 12. elokuuta 2022

Vesa Linja-aho

DI, sähköturvallisuusasiantuntija, Vesa Linja-aho Tmi

FÖRORD

Denna utredning har tagits fram i uppdrag av kommunikationsministeriet och på beställning av transport- och kommunikationsverket Traficom med målet att i enlighet med inskrivningen i Färdplanen för fossilfria transporter och som underlag för eventuella ändringar i regleringen granska trafiksäkerhetsrisker kring elkonverteringen av fordon samt de ändringsbehov i regleringen som förknippas med dem, med särskild fokus på tunga fordon. Utredningen fokuserar på yrkesmässig konverteringsverksamhet.

Utredningen har tagits fram av dipl.ing. Vesa Linja-aho. Arbetets styrgrupp bestod av Outi Ampuja (Traficom), Aki Tilli (Traficom) och Saara Jääskeläinen (kommunikationsministeriet).

Helsingfors, den 12 augusti 2022

Vesa Linja-aho

Dipl.ing., expert inom elsäkerhet, Vesa Linja-aho Tmi

FOREWORD

This report was commissioned by the Ministry of Transport and Communications and ordered by the Finnish Transport and Communications Agency (Traficom) with the objective to review, in accordance with the item of the Roadmap to fossil-free transport and as a basis of potential regulatory changes, the road safety risks related to electric vehicle conversion and the related needs to regulatory changes, with the focus specifically on heavy-duty vehicles. The report focuses on professionally organised conversion operations.

The report was conducted by M.Sc. Vesa Linja-aho. The steering group of the work comprised Outi Ampuja (Traficom), Aki Tilli (Traficom) and Saara Jääskeläinen (Ministry of Transport and Communications).

Helsinki, 12 August 2022

Vesa Linja-aho
M.Sc., Electrical Safety Specialist, Vesa Linja-aho (private trader)

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	8
1.1	Tausta.....	8
1.2	Tavoitteet	8
1.3	Selvityksen rajaus ja menetelmät	8
2	Nykytilanne	10
2.1	Tutkimuskirjallisuus ja tapausesimerkkejä konversioista	10
3	Raskaan kaluston sähkökonversioiden riskit ja niiden hallinta	14
3.1	Toiminnallinen turvallisuus.....	14
3.1.1	Ohjaustehostin	14
3.1.2	Sähköinen voimalinja	15
3.1.3	Jarrut	16
3.2	Rakenteiden kestävyys ja alleajosuojaus	16
3.3	Turvallisuus onnettomuustilanteessa	17
3.4	Kunnossapidon turvallisuus	19
3.5	Huomioita sähkökonversioiden teknistaloudellisista seikoista	20
3.6	Muita huomioon otettavia seikkoja	20
3.7	Henkilöautojen harrastekonversioista saatuja kokemuksia	21
4	Johtopäätökset ja toimenpidesuosituksset	22
5	Lähdeluettelo.....	23
5.1	Kirjalliset lähteet	23
5.2	Asiantuntijahaastattelut.....	26
Liite 1		27

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tämä selvityksen tavoitteena on Fossiilittoman liikenteen tiekartan¹ kirjauksen mukaisesti ja mahdollisten sääntelymuutosten pohjaksi tarkastella ajoneuvojen sähkökonvertointiin liittyviä liikenneturvallisuusriskejä ja niihin liittyviä sääntelyn muutostarpeita, keskittyen erityisesti raskaaseen kalustoon. Selvityksessä keskitytään ammattimaisesti järjestettyyn konversiotoimintaan.

Jo vuonna 2018 otettiin käyttöön konversiotuki vanhan bensiinihenkilöauton muuttamiseksi etanoli- tai kaasukäyttöiseksi. Konversiotukien tarkoitus on ollut helpottaa myös sellaisten ihmisten ja kotitalouksien, joilla ei ole mahdollisuutta tai halua hankkia uutta, vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivaa autoa, siirtymistä pois fossiilisista polttoaineista.

Fossiilittoman liikenteen tiekarttaan on myös kirjattu toimi: "Selvitetään ja otetaan käyttöön toimia, joilla voidaan edistää konversioiden tekemistä entisestään." Yksityiskohtaisemmat toimet ovat:

- jatkaa konversiotukien myöntämistä myös vuosina 2022–2030
- selvitetään ja otetaan käyttöön toimia, joilla voidaan edistää konversioiden tekemistä entisestään.

Fossiilittoman liikenteen tiekartan kirjauksista tarkennetuiksi toimiksi on etanolikonversioiden osalta tunnistettu konversiotukien mahdollinen laajentaminen koskemaan muitakin ajoneuvoja kuin henkilöautoja ja sähkökonversioiden osalta erityisesti kuorma-autojen sähkökonversioiden mahdollinen tukeminen.

1.2 Tavoitteet

Tämän selvityksen tavoite on selvittää, miten käyttövoimakonversioiden tekemistä ja tukemista voisi edistää niin, että samalla turvataan konvertoitujen ajoneuvojen liikenneturvallisuus ja sitä koskevien vaatimusten täyttyminen. Tavoitteena on myös saada käsitys siitä, miten raskaan liikenteen ajoneuvojen sähkökonversiot ja niiden turvallisuuden varmistaminen on huomioitu muualla Euroopassa.

Selvitys sisältää kartoituksen ja arviot erityisesti ammattimaisesti tehtyjen sähkökonversioiden aiheuttamista turvallisuusriskeistä eri tilanteissa (esim. kolaritilanteessa, tulipalotilanteessa tai vastaavassa yllättävässä tilanteessa), sekä sääntelyn mahdollisten vajavaisuuksien ja pullonkaulojen tunnistamista.

Tarkoituksena on löytää keinoja konversioiden lisäämiseksi, kartoittaa mahdollisuuksia sujuvoittaa prosesseja maksimoiden saatavat hyödyt ja minimoiden haitat (kokonaisvaikutus). Lisäksi hankkeeseen sisältyy toimenpide-ehdotukset riskien ja haittojen minimoimiseksi ja hyötyjen maksimoimiseksi, esimerkiksi sääntelyä koskevien korjausehdotuksien muodossa. Tässä tulee myös hyödyntää myös muiden maiden sääntelyyn liittyviä kokemuksia.

1.3 Selvityksen rajaus ja menetelmät

Selvitys toteutettiin olemassa olevaan tutkimus- ja ammattikirjallisuuteen ja vastaaviin julkisiin lähteisiin perustuen. Koska aiheesta on saatavilla erittäin niukasti kirjallisuutta, keskeinen tietolähde oli 15 suomalaisen asiantuntijan ja

¹ "Fossiilittoman liikenteen tiekartta. Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä".

muun toimijan haastattelemineen. Haastattelut toteutettiin huhti-kesäkuussa 2022 avoimina puhelinhaastatteluina, keskittyen toiminnassa huomioon otettaviin turvallisuusnäkökohtiin ja mieleen tuleviin riskeihin. Selvitystä varten haastatellut henkilöt on lueteltu lähdeluettelon jälkeen.

2 Nykytilanne

Nykyhetkellä raskaan kaluston sähkökonversioille ei ole erityistä sääntelyä. Kaikkia ajoneuvoihin tehtäviä muutoksia koskeva perusperiaate on kirjattu ajoneuvolain 7 §:ään, jonka mukaan

– liikenteessä käytettävää ajoneuvoa ei saa korjata, muuttaa eikä varustaa lisälaitteella siten, ettei ajoneuvo enää täytä vaatimuksia, jotka Suomessa olivat voimassa ajoneuvon ensimmäisen käyttöönoton ajankohtana tai tätä myöhemmin.

Ajoneuvojen teknisiä vaatimuksia Suomessa koskevat Traficomın määräys autojen ja niiden perävaunujen teknisistä vaatimuksista² (automääräys) sekä erityisesti konversioautoja Traficomın määräys auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta³ (rakennemuutosmääräys). Määräyksien sähköistä käyttövoimaa koskevissa osuuksissa ei erotella raskasta kalustoa, vaan ne koskevat kaikkia M-luokan (M1 = henkilöauto, M2 ja M3 = linja-auto) ja N-luokan (N1 = pakettiauto, N2 ja N3 = kuorma-auto) ajoneuvoja.

Automääräyksen kohdan 3.9 mukaan sähkökäyttöisen ajoneuvon on täytettävä E-sääntöä n:o 100 vastaavat vaatimukset. Osoituksena 3.9 kohdan vaatimusten täyttymisestä rekisteröinti- ja muutostarkastuksessa sekä yksittäishyväksynnässä hyväksytään vähintään nimetyn tutkimuslaitoksen, hyväksytyn asiantuntijan tai ilmoitetun laitoksen selvitys.

Automääräyksen mukaan muutostarkastuksessa osoituksena vaatimusten täyttymisestä hyväksytään myös Turvallisuus- ja kemikaaliviraston valtuuttaman tarkastuslaitoksen tai tarkastajan lausunto taikka käyttöönottopöytäkirja siltä, joka täyttää sähköturvallisuuslaissa (1135/2016) sähkötöiden tekemiseen säädetyt vaatimukset ja joka itse on vastannut ajoneuvon muutosten tekemisestä.

Rakennemuutosmääräyksen kohdassa 6.1 määrätään vaatimuksista muutettaessa auton käyttövoimaksi sähkö. Ajoneuvon, joka on otettu käyttöön 21 päivänä elokuuta 2002 tai sen jälkeen, tulee sähkökäyttöiseksi muutettaessa täyttää ajoneuvon käyttöönottoajankohdan mukaiset E-säännön 100 vaatimukset. Kuitenkin sähkömagneettisen yhteensopivuuden osoittamiseksi riittää muutossarjan valmistajan antama todistus soveltuvuudesta muutoksen kohteena olevaan ajoneuvoon, tai kaikista korkeajännitelaitteiden osista osoitus EMC-yhteensopivuudesta. Lisäksi vaaditaan muun muassa, että korkeajänniteakut tulee sijoittaa niin, etteivät ne ole törmäystilanteessa alttiina vaurioitumiselle.

E-sääntö numero 100 on sähköisellä voimalinjalla varustettujen ajoneuvojen turvallisuutta koskeva E-sääntö, joka sisältää vaatimukset ajoneuvon sähköturvallisuudelle, toiminnalliselle turvallisuudelle sekä korkeajänniteakun paloturvallisuudelle. Säännöstä on viimeksi julkaistu tarkistettu versio maaliskuussa 2022 (3. tarkistettu versio). Alkuperäinen sääntö on vuodelta 1997 ja kaksi muuta tarkistettua versiota vuosilta 2011 ja 2013. Vuoden 2013 versiossa sääntöön lisättiin kattavat testivaatimukset ajoakun paloturvallisuudelle.

2.1 Tutkimuskirjallisuus ja tapausesimerkkejä konversioista

Raskaan kaluston sähkökonversioista ei ole juuri julkaistua tutkimuskirjallisuutta. Tieteellisen kirjallisuuden hakupalveluista (Google Scholar, Web of Science, Scopus ja SAE Mobilus) löytyvät⁴ lähteet ovat pääasiassa yksittäisiä toteutuksia koskevia konferenssipapereita, joissa ei paneuduta turvallisuuteen vaan sitä

² Traficom, Autojen ja niiden perävaunujen tekniset vaatimukset.

³ Traficom, Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen.

⁴ Hakusanat "electric [heavy vehicle|bus|truck|commercial vehicle] conversion"

korkeintaan sivutaan.⁵⁶⁷ Yhdessä tutkimusartikkelissa⁸ käsitellään henkilöauton sähkökonversion törmäysturvallisuutta simuloinnin avulla. Kyseisessä tapausesimerkissä (vuosimallin 2010 Toyota Yaris) lopputulos arvioitiin rakenteellisen törmäysturvallisuuden kannalta polttomoottoriversiota turvallisemmaksi. Tulosta ei voi sellaisenaan yleistää konversioihin, mutta artikkelin simulaatio on hyvä esimerkki käytännön kolariturvallisuuden suunnittelusta.

Yksittäisiä papereita löytyy esimerkiksi raskaan kaluston hybridikonversioiden taloudellisesta mielekkyydestä⁹ ja päästövähennyspotentialista¹⁰.

Siinä missä henkilöautojen sähkökonversiot ovat jo vanha¹¹ ja melko vakiintunut ja määräysten valmistelussa huomioon otettu¹² ilmiö, internet-hakujen perusteella raskaan kaluston konversiotoiminta on marginaalisempi ilmiö. Alan toimijoita on Suomessa yksi, Euroopassa ja muualla maailmassa vain muutamia:

- Suomessa raskaan kaluston sähkökonversiota suunnittelee ja valmistaa Lielahden Autokeskus Keuruulla.¹³¹⁴
- Saksassa raskaan kaluston sähkökonversioita (kuorma-autoja ja busseja) valmistaa E-Cap Mobility GmbH¹⁵. Hollannissa sähkökonversioita on valmistanut jo pitkään Emoss¹⁶, jonka DAF LF 55 -alustalle valmistama sähkökuorma-auto oli Suomen ensimmäinen sähkökuorma-auto.¹⁷
- Ranskassa sähköajoneuvokonversioiden valmistamiselle annettiin viranomaismääräykset vasta 2020, yhtenä viimeisimmistä EU-maista.¹⁸ Toukokuussa 2022 uutisoitiin Ranskan valtion konversiotuesta raskaille ajoneuvoille, jotka kattavat enintään 40 % konversiokustannuksista, enintään 50000 euroon asti.¹⁹ Raskaan kaluston sähkökonversioihin on Ranskassa erikoistunut esimerkiksi Greenmot²⁰.

⁵ Lin ym., "Control System Development for an Advanced-Technology Medium-Duty Hybrid Electric Truck".

⁶ Byun ja Choi, "Effects Analysis of Light-Duty Diesel Truck Hybrid Conversion Depending on Driving Style"; Keoun, "Designing an electric vehicle conversion"; Choi ja Tae, "E-Truck Conversion with a Bi-Directional OBC"; Ukaew, *Model Based System Design for Electric Vehicle Conversion*.

⁷ Sequino, Mancaruso, ja Vaglieco, "Modeling Study of the Battery Pack for the Electric Conversion of a Commercial Vehicle"; Utsumi ym., "EV conversion kit for light truck".

⁸ Navale ym., "Crashworthiness aspects of electric vehicle design".

⁹ Koh, Hur, ja Kang, "Feasibility Study on the Korean Government's Hybrid Conversion Project of Small Diesel Trucks for Parcel Delivery Services".

¹⁰ Kurniawan ja Abadi, "Analysis Green Gases Reduction for Employee Buses in Order to Support Fossil Fuel Conversion to Electric Powered Buses in PT. Vale Indonesia Tbk".

¹¹ Ks. esim. "eCorolla on Suomessa tehty sähköauto".

¹² Linja-aho, "Nyt on helpompi tehdä autosta sähköauto"; Heinonkoski, "Traficom helpottamassa autoharrastajien elämää?"

¹³ "Sähköautot | Ensimmäinen keuruulainen sähkökuorma-auto on kohta valmis – kymmenelle kouluttautujalle työpaikka joulukuussa".

¹⁴ "Vuosi sähkökuorma-autojen konversioitehtaan perustamisesta | Europörssi".

¹⁵ "Electrical Conversion of Commercial Vehicles - ECap Mobility".

¹⁶ "Emoss: Zero-emission power systems for heavy equipment."

¹⁷ "Emoss panostaa sähköautojen kuninkuusluokkaan"

¹⁸ "New rules for electric car conversions revealed".

¹⁹ "France offers €50,000 per-truck grants for conversion to electric".

²⁰ Greenmot, "Retrofit Industrial Vehicles".

- Yhdysvalloissa on useita raskaaseen kalustoon erikoistuneita konversioyrityksiä, esimerkiksi Unique Electric Solutions²¹, Motiv Power Systems²² ja EVgine²³.

Suomessa raskaan kaluston sähkökonversioista on tehty kaksi opinnäytetyötä. Eemeli Katajamäen työssä²⁴ on selvitetty höyryajoneuvon muutostyön vaatimuksia, keskittyen erityisesti raskaan kuorma-auton (N₃-ajoneuvoluokka) vaatimuksiin. Panu Laineen työssä²⁵ puolestaan keskitytään sähköisen ajomootorin tuentaa ja yhdistämistä konversiokuorma-autoon.

Sähkökonversioista ei ole tyypillisesti annettu yksityiskohtaisia määräyksiä. Euroopan talousalueella pääsääntö on, että muunnoksen lopputuloksen on täytettävä sähköturvallisuuden osalta E-sääntöä n:o 100 vastaavat vaatimukset. Se, kuinka tarkasti vaatimusten toteutuminen käytännössä varmistetaan, vaihtelee maittain.

- Britanniassa ajoneuvon sähkökonversioille ei ole erityisiä katsastusvaatimuksia: riittää, että ajoneuvo rekisteröidään uudelleen. Asiakirjat toimitetaan rekisteröintiviranomaiselle postitse. Käyttövoiman muutoksesta on esitettävä todisteena kuitit osista, allekirjoitettu lomake ajoneuvolle suoritetusta tarkastuksesta sekä valokuvat ajoneuvosta.^{26,27,28}
- Sähköajoneuvojen sähköturvallisuusvaatimukset on Yhdysvalloissa kirjattu liittovaltion määräykseen FMVSS 305, joka on olennaisilta osiltaan samanlainen eurooppalaisen E-sääntö numero 100:n kanssa.²⁹ Katsastus- ja rekisteröintilainsäädäntö ja rekisteröintiviranomainen vaihtelee osavaltioittain, samoin konversioiden katsastusvaatimukset. Joissain tapauksissa ajoneuvolta saatetaan vaatia esimerkiksi törmäystestien läpäisemistä.³⁰ Esimerkiksi Yhdysvaltojen Virginian osavaltiossa kaikki sähköautoksi muutetut moottoriajoneuvot (moottoripyöriä lukuun ottamatta) on merkittävä kolmelta eri sivultaan käyttövoimasta kertovalla merkinnällä, ja ne on muutostarkastettava.³¹ Osavaltion laki³² vaatii muunnossähköautoilta muun muassa ylivirtasuojauksen, akuston lämpötilavalvonnan muille kuin lyijyakuille sekä polttoainesäiliön täyttöaukon paikalle hätäkatkaisijan.
- Ranskassa sähkökonversion saa tehdä yli 5-vuotiaisiin autoihin. Tämä koskee myös kuorma-autoja ja busseja. Kaksi- ja kolmipyöräisissä ajoneuvoissa raja on 3 vuotta. Käytettävän muutossarjan on oltava tyyppihyväksytty ja asentajan on oltava ammattilainen. Muutostyön jälkeen työn suorittaja lähettää todistuksen muutostyöstä ajoneuvon valmistajalle, ja valmistaja hyväksyy ja allekirjoittaa sen.³³ Vuonna 2020 voimaan astuneen konversiolain nojalla auton voi muuntaa myös polttokennoautoksi. Laki vaatii, että muutostyön suorittava yritys on ajoneuvon alkuperäisvalmistajan

²¹ "UES - Unique Electric Solutions".

²² "Motiv Power Systems".

²³ "Electric Vehicle Conversion Technology | EVgine | EV Conversions".

²⁴ Katajamäki, "Sähköistetyn höyryajoneuvon muutostyön vaatimukset".

²⁵ Laine, "Muunnossähkökuorma-auton ajomootorin ja voimansiirron yhdistäminen ja tuenta".

²⁶ "Change Vehicle Details on a V5C Registration Certificate (Log Book)".

²⁷ "Vehicle Registration".

²⁸ "Electric Car Conversion".

²⁹ FMVSS 305.

³⁰ "Alternative Fuels Data Center: Conversion and Tampering Regulations".

³¹ "Alternative Fuels Data Center".

³² Virginia, Special equipment required for converted electric vehicles.

³³ "Electric retrofit".

auktorisoima, ja auktorisointi on aina määräaikainen, korkeintaan kaksi vuotta.³⁴

- Saksassa muunnossähköajoneuvojen vaatimukset on kirjattu TÜV-ohjeeseen numero 764.³⁵ 22-sivuinen maksullinen ohje sisältää vaatimukset muutokatsastuksen suorittamiselle. Katsastajan on oltava perehtynyt sähköautoihin ja sähkötyöturvallisuuteen, autosta on esitettävä yksityiskohtaiset piirikaaviot ja käytettyjen komponenttien datalehdet, sekä autoon tehdyt muutokset. Ohje koskee kaikkia sähköajoneuvoja, myös raskaita ajoneuvoja. Ohjeessa viitataan moniin e-sääntöihin ja se on käytännössä tiivistelmä e-sääntöjen tärkeimmistä turvallisuusvaatimuksista sähköturvallisuuden, jarrujen toiminnan ja muun toiminnallisen turvallisuuden osalta.

³⁴ Arrêté du 13 mars 2020 relatif aux conditions de transformation des véhicules à motorisation thermique en motorisation électrique à batterie ou à pile à combustible.

³⁵ TÜV Merkblatt 764.

3 Raskaan kaluston sähkökonversioiden riskit ja niiden hallinta

Polttomoottorikäyttöisen ajoneuvon muuttaminen sähkökäyttöiseksi tapahtuu poistamalla polttomoottori polttoainejärjestelmineen ja asentamalla sen tilalle sähkömoottori. Olemassa oleva vaihteisto voidaan jättää autoon tai poistaa. Lisäksi autoon tulee sijoittaa sähköisen voimajärjestelmän vaatima ajoakku.

Kaupallisissa täyssähköhenkilöautoissa akku on sijoitettu poikkeuksetta auton alustaan: näin auton painopiste saadaan alas. Auton kori suunnitellaan kantamaan akun massa ja auton kolariturvallisuuksuunnittelussa akku otetaan huomioon. Harrastepohjaisissa henkilöautokonversioissa akun sijoittaminen on yleensä haastavin osa konversion mekaanista suunnittelua. Akku voidaan sijoittaa esimerkiksi tavaratilaan tai auton alle.

Kaupallisissa sähkökuorma-autoissa akut on sijoitettu auton alustaan. Henkilöautoihin verrattuna tilaa on käytössä enemmän, ja yhden akkupaketin sijaan kuorma-auton akusto toteutetaan modulaarisesti sijoittamalla useita akkuja auton alustaan. Konversiokuorma-autoissa voidaan käyttää samaa ratkaisua, akut voidaan kiinnittää ajoneuvon alle runkopalkkeihin.

Kaupallisissa sähkölinja-autoissa akut on sijoitettu yleensä auton peräosaan ja katolle.

Muutettaessa raskaan ajoneuvon käyttövoimaksi sähkö, voidaan turvallisuussuunnittelussa huomioon otettavat asiat jakaa toiminnallisen turvallisuuden varmistamiseen, kolariturvallisuuteen sekä kunnossapidon turvallisuuteen.

3.1 Toiminnallinen turvallisuus

Raskaan ajoneuvon sähkökonversiossa apulaitteet, jotka ovat saaneet käyttövoimansa mekaanisesti suoraan polttomoottorilta, varustetaan erillisellä sähkömoottorilla, joka saa syöttönsä auton korkeajännitejärjestelmästä. Tällaisia ovat esimerkiksi ohjaustehostin ja paineilmajarrujen kompressorit. Konversion toiminnallisen turvallisuuden kannalta on tärkeää, että alkuperäisiin turvallisuuskriittisiin järjestelmiin ei kosketa ollenkaan tai kosketaan mahdollisimman vähän. Esimerkiksi paineilmajarrujen kompressorin voimansyöttö voidaan vaihtaa dieselmoottorilta toteutetusta remmisyötöstä erillisellä sähkömoottorilla toimivaksi tai kompressorit vaihtaa sähkötoimiseksi. Sama koskee ohjaustehostimen syöttöä. Muutokset tulee dokumentoida asianmukaisesti.

3.1.1 Ohjaustehostin

Yksi huomioon otettava näkökohta on ohjaustehostimen toiminta. Henkilöautossa ohjaustehostin on lähinnä mukavuusvaruste, mutta nykyaikaisessa raskaassa ajoneuvossa sillä on keskeinen merkitys ajoneuvon hallinnassa etenkin pienissä nopeuksissa. E-säännössä numero 79³⁶ on esitetty vaatimukset ajoneuvon ohjaamiseen tarvittaville voimille, mikäli ohjauslaitteet ovat epäkunnossa. Esimerkiksi säännön taulukon 2 mukaan M₃-luokan kuorma-autossa tarvittava ohjausvoima saa olla ohjaustehostimen vikatilanteessa enintään 45 N testissä, jossa ajoneuvo pitää saada 6 sekunnissa ohjattua 20 metrin kääntösädettä vastaavaan ohjauksulmaan.

³⁶ Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) sääntö nro 79 – Ajoneuvojen ohjauslaitteiden hyväksyntää koskevat yhdenmukaiset vaatimukset [2018/1947].

Haastateltujen asiantuntijoiden mukaan edellä mainitun testin läpäisevän raskaan ajoneuvon turvallinen hallinta ja pysäyttäminen voi olla vaikeaa, mikäli ohjaustehostin menetetään äkillisesti kesken ajon. Tämä päätee erityisesti, jos kuljettaja ei ole varautunut tilanteeseen tai hänen käsivoimansa ovat heikot. Määräystenmukaisessakin ajoneuvossa vaadittavat ohjausvoimat ovat suuria, ja ajoneuvo vaikeasti hallittavissa, mikä voi johtaa onnettomuustilanteeseen. Useiden haastateltavien mukaan ohjaustehostimen vikatilanne yllättää kuljettajan joka tapauksessa. Vastaava päätelmä nostetaan esille myös aiheesta tehdyssä opinnäytetyössä.³⁷

Kun ohjaustehostin muutetaan saamaan käyttövoimansa alkuperäisen dieselmoottorin sijaan erillisellä sähkömoottorilla, voi sähköjärjestelmän vika johtaa myös ohjaustehostimen menettämiseen. Toisaalta dieselmoottorin pysähtymiseen johtava vika aiheuttaa saman vaaratilanteen ja konversioauton järjestelmiltä riittää, että ne ovat yhtä turvallisia kuin alkuperäisen auton järjestelmät. Dieselmoottorin äkillinen pysähtyminen ei kuitenkaan ole yhtä todennäköinen skenaario kuin sähkönsyötön katkeaminen: jos autossa on vaihde valittuna ja se liikkuu, moottori pyörii auton liikkeessä. Sähkönsyöttö voi katketa useammastakin syystä, esimerkiksi tehonjakoyksikön vian tai kahden yhtäaikaisen eristysvian seurauksena.

Ohjaustehostimen sähkönsyötön äkillinen menettäminen on siis harvinainen muttei mahdoton vikatilanne. Yksi tapa varautua vialta on syöttää ohjaustehostinta pienellä erillisakulla varmennetusta sähköjärjestelmästä, mutta myös tämä järjestelmä voi vikaantua. Olennaista on suunnitella koko korkeajännitesähköjärjestelmä luotettavaksi.

3.1.2 Sähköinen voimalinja

Sähkömoottorin käyttöön liittyy riski, joka voi johtaa etenkin liukkaissa olosuhteissa vaaratilanteeseen. Sähkömoottoria syöttävän muuttajan vikatilanteessa, jossa moottorin syöttö menee oikosulkuun, moottori jarruttaa erittäin voimakkaasti. Tämä vikatila on huomioitava suunnittelussa ja siihen varautuminen on osoitettava esimerkiksi muuttajan valmistajan asiakirjoista. Ajoneuvokäyttöön suunnitelluissa muuttajissa on muuttajan sisäinen vikaantuminen kuten myös sähkönsyötön katkeaminen otettu tavallisesti huomioon. Perinteisellä vaihteistolla varustetussa polttomoottoriajoneuvossa moottorin epätavallinen vikatilanne on hallittavissa painamalla kytkintä, sähköajoneuvosta vastaava mahdollisuus puuttuu, ellei konversioautossa kytkintä jätetä paikalleen.

Voimalinjan suunnittelussa on huomioitava myös automääräyksen vaatimus mäestälähtökyvyille: vetävän ajoneuvon on kyettävä saamaan täyteen kuormattu ajoneuvoyhdistelmä liikkeelle viisi kertaa viiden minuutin aikana ylämäkeen, jonka kaltevuus on vähintään 12 prosenttia.

E-sääntö numero 100 ei vaadi eristysresistanssin jatkuvaa valvontaa muilta kuin polttokennoautoilta. Tästä huolimatta kaikissa kaupallisissa sähköajoneuvoissa on eristysresistanssin valvontajärjestelmä. Ratkaisu on tärkeä toiminnallisen turvallisuuden kannalta, koska tällöin eristysvika voidaan havaita ajoissa ja ajoneuvo pysäyttää turvallisesti. Mikäli jatkuva valvonta puuttuu, autoon voi kehittyä eristysvika, joka voi kahden vian tilanteessa (maasulku sekä positiivisessa että negatiivisessa korkeajänniteväylässä) aiheuttaa äkillisen sähköjärjestelmän menettämisen.

E-sääntö numero 100 sisältää kattavat vaatimukset sähköturvallisuudelle ja sitä noudattamalla ajoneuvon sähkökonvertoinnin lopputulos on riittävän turvallinen. E-säännön numero 100 noudattaminen ja eristysresistanssin valvonta takaa

³⁷ Katajamäki, "Sähköistetyn höytyajoneuvon muutoksastuksen vaatimukset", 29.

käytännössä riittävän sähköturvallisuuden ajoneuvolle sen päivittäisessä käytössä. Huollon ja korjauksen turvallisuutta käsitellään omana otsikkonaan.

Toiminnallisen turvallisuuden takaamiseksi on myös tärkeää, että sähköinen voimalinja on riittävästi suojattu sähkömagneettisilta häiriöiltä (EMC-yhteensopivuus). Ajoneuvojen sähkömagneettista yhteensopivuutta koskee E-sääntö numero 10. Voimassa olevan rakennemuutosmääräyksen osalta sähkömagneettisen yhteensopivuuden osoittamiseksi riittää muutossarjan valmistajan antama todistus soveltuvuudesta muutoksen kohteena olevaan ajoneuvoon, tai kaikista korkeajännitelaitteiden osista osoitus EMC-yhteensopivuudesta. Valmiille konversioajoneuvolle ei siis vaadita sähkömagneettisen yhteensopivuuden testejä, mikäli kaikki korkeajännitelaitteet ovat ajoneuvo-EMC-hyväksytyjä.

3.1.3 Jarrut

Oleellinen asia sähköajoneuvon energiatehokkuuden kannalta on sähköisen moottorijarrutuksen hyödyntäminen. Moottorijarrutuksen toiminta on sovitettava yhteen auton alkuperäisten jarrujen kanssa. Lähtökohtaisesti auton omien jarrujen toimintaan ei tulisi koskea ollenkaan, vaan moottorijarrutus voidaan toteuttaa esimerkiksi erillisellä valintakytkimellä ja kaasupolkimen asennolla. Jarrupolkimeen voidaan lisätä myös toiminnallisuus, jossa pieni jarrupolkimen painallus aloittaa moottorijarrutuksen, kunhan tämä ei sotke alkuperäisen jarrujärjestelmän toimintaa.

Alkuperäiseen jarrujärjestelmään ei tule koskea kuin siltä osin, mikä on välttämätöntä alkuperäisen polttomoottoriauton hidastimen korvaamiseksi sähkömoottorin moottorijarrutuksen ohjauksella.

Toteutuksen suunnitteluun vaikuttaa alkuperäisen jarrujärjestelmän toteutustapa: ABS-jarruissa poljin ohjaa jarrutuspainetta, sähköisessä EBS-järjestelmässä puolestaan polkimen asento kertoo toivotun hidastuvuuden ja tietokone laskee sopivat jarrupaineet ja ohjaa niitä.

Moottorijarrutuksen osalta tulee huomioida suunnittelussa myös tilanne, jossa liukkaalla tiellä liian voimakas moottorijarrutus vaikuttaa ajoneuvon hallittavuuteen.

Paineilmajarruilla varustetussa raskaassa ajoneuvossa jarrujen vaatima paineilma tuotetaan kompressorilla, joka tavallisesti saa käyttövoimansa mekaanisesti suoraan dieselmoottorilta. Sähkökonversiossa käyttövoima tuotetaan erillisellä sähkömoottorilla tai vaihtamalla kompressorin sähkökäyttöiseksi. Molemmissa tapauksissa kompressorin ilmantuoton sekä ilman riittävyyden peräkkäisiin jarrutuksiin tulee olla riittävä ja kokonaisuuden toiminta on testattava E-säännön numero 13 mukaisesti.

3.2 Rakenteiden kestävyys ja alleajosuojaus

Muutettaessa raskas ajoneuvo sähkökäyttöiseksi, autoon tulee uutena rakenteena akkumoduuleja, joiden yhteismassa voi olla useista sadoista kilogrammoista muutamaan tuhanteen kilogrammaan. Kuorma-autossa ainoa käytännöllinen paikka akkujen sijoittamiselle on auton alusta, linja-autossa akkuja voidaan sijoittaa myös katolle.

Käytännössä akkujen kiinnityksen ja sijoittelun turvallisuus varmistuu parhaiten noudattamalla alkuperäisen ajoneuvon valmistajan määrittelemiä päällirakenneohjeistuksia oikeine kiinnityskohtineen ja -tapoineen. Vain ajoneuvon alkuperäisellä valmistajalla on kattavat lähtötiedot rakenteiden kestävyyydestä.

Mikäli näistä poiketaan tai tietoja ei ole käytettävissä, tulisi suunnittelun tueksi esittää uskottava lujuuslaskelma. Alkuperäisen valmistajan kiinnitysohjeiden noudattamisen tulee olla aina ensisijainen tapa. Mikäli käytetään omaa laskelmaa, tulisi sen olla kolmannen osapuolen varmentama, koska tavallisella katsastusasemalla ei lähtökohtaisesti ole eikä voi olla tarvittavaa osaamista lujuuslaskelmien tarkastamiseen. Tällainen kolmas osapuoli voi olla esimerkiksi ajoneuvolain 69 § mukainen hyväksytty asiantuntija tai henkilö, jolla on riittävä kokemus ja koulutus mekaanisesta ajoneuvosuunnittelusta. Koska tässäkin menettelytavassa on riskinä arvioinnin puutteellisuus ja ensisijaisen tavan tulisi aina olla valmistajan päällirakenneohjeistuksen noudattaminen, yksi ratkaisuvaihtoehto on rajata päällirakenneohjeistuksista poikkeaminen poikkeuslupamenettelyn piiriin. Tämä ohjaisi vahvasti noudattamaan valmistajan ohjeistusta.

Akkuja sijoitettaessa on huomioitava myös vaatimukset alleajosuojauksesta³⁸, jotka on annettu Traficomin automääräyksessä³⁹ ja E-säännössä numero 73.

3.3 Turvallisuus onnettomuustilanteessa

Verrattuna henkilöautoihin ja muihin kevyen kaluston ajoneuvoihin, raskaan ajoneuvon onnettomuuspaikan pelastustyössä merkittävin ero on käsiteltävissä massoissa. Esimerkiksi kuorma-auton ovi on raskaampi käsiteltävä kuin henkilöauton. Raskaan kaluston onnettomuuksissa auton purkaminen hydraulisilla pelastusvälineillä on haastavaa, koska autossa on niin vahvoja teräsrakenteita, että autoa on vaikea raivata. Esimerkiksi hyttiin sisään pääseminen rajun onnettomuuden jälkeen on haastavampaa kuin henkilöautossa. Toisaalta vakavia onnettomuuksia tapahtuu harvoin, ja pienemmissä onnettomuuksissa kuorma-auto säilyy ilman vakavia muodonmuutoksia.

Koska autojen korit ovat johtavaa materiaalia, tilanne, jossa törmäysonnettomuus johtaisi vaarallisten potentiaalierojen syntymiseen, on erittäin epätodennäköinen. Suurimmat riskit liittyvät onnettomuustilanteessa akkupaloon. Litiumioniakkupalo on haastava sammutettava ja akkupalossa vapautuu myrkyllisiä kaasuja kuten fluorivetyä.⁴⁰

Kuorma-autossa tilaa on käytettävissä enemmän kuin henkilöautossa, jolloin akut voidaan koteloida useisiin erillisiin koteloihin. Tämä parantaa paloturvallisuutta, kun yhden kotelon palo ei leviä helposti muihin koteloihin.

Linja-auton tapauksessa akut tulee sijoitella ja suunnitella niin, että ajoneuvo on evakuoitavissa riittävän nopeasti myös tilanteessa, jossa litiumioniakut syttyvät palamaan vian tai onnettomuuden seurauksena. Kuorma-auton etu pelastuslaitoksen kannalta on, että sisältä pelastettavia ihmisiä on tyypillisesti vain yksi. Vakavat linja-auto-onnettomuudet puolestaan ovat yleensä monipotilastilanteita.

Tehdasvalmisteisissa sähkölinja-autoissa akkuja sijoitellaan usein myös ajoneuvon katolle. Mikäli näin menetellään konversiolinja-autossa, tulee akkujen paikallaan pysyminen onnettomuustilanteessa varmistaa korin valmistajan ohjeita noudattamalla tai vaihtoehtoisesti uskottavalla lujuuslaskelmalla, joka on riippumattoman kolmannen osapuolen, kuten ajoneuvolain 69 § mukaisen hyväksytyn asiantuntijan arvioima.

Yksi huomioon otettava asia on yhteenkuormauskielto. Litiumioniakut on rahtina varustettava tarralla 9A, ja niiden yhteenkuormaus on kielletty ainoastaan räjähteiden kanssa. Litiumioniakkujen sijainti rahtitilan ulkopuolella ei altista

³⁸ Traficom, Alleajosuojaohe TRAFI/198962/03.04.03.03/2017.

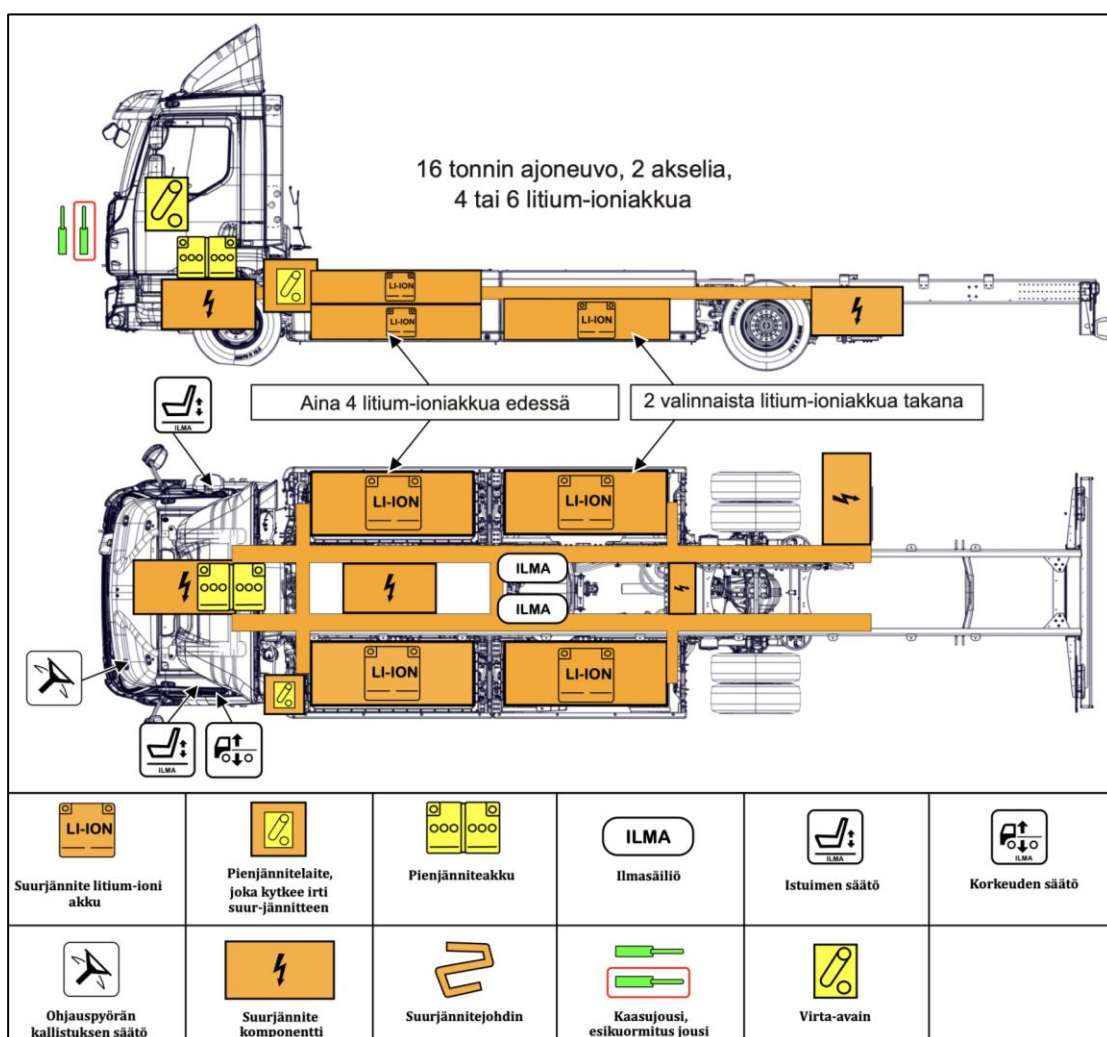
³⁹ Traficom, Autojen ja niiden perävaunujen tekniset vaatimukset.

⁴⁰ Sun ym., "A Review of Battery Fires in Electric Vehicles".

räjähteitä samoille vaaroille kuin yhteenkuormaus rahtitilassa. Räjähteiden kuljettaminen vaatii ajoneuvolta joka tapauksessa erillisen ADR-hyväksynnän.

Oleellinen turvallisuustoimenpide pelastajien toiminnan kannalta on ajoneuvon tunnistettavuus. Ajoneuvo tulisi merkitä selvästi sähköajoneuvoksi esimerkiksi ISO 17840 -standardin mukaisilla näkyvillä tarroilla. Täyssähkökonversioissa tieto sähköisestä käyttövoimasta löytyy myös rekisterinumeron perusteella.

Työturvallisuuden kannalta pelastajien on tärkeä tietää, missä ajoneuvon korkeajännitekaapelit kulkevat ja miten akut on sijoitettu. Nämä tiedot on tyypillisesti kerrottu ajoneuvon pelastuskortissa. Henkilöautojen pelastuskortit löytyvät kootusti maksuttomasta Euro Rescue -sovelluksesta, raskaan kaluston pelastuskortteja ei. Kaupallisista pelastuslaitosten käyttöön tarkoitetuista pelastusohjeistosovelluksista löytyvät myös yleisimpien raskaan kaluston ajoneuvojen pelastuskortit. Kuvassa 1 on esimerkki pelastuskortista löytyvistä tiedoista. Konversioautoille ei vaadita pelastuskortin laatimista, mutta tämä olisi mahdollista lisätä vaatimuksena rakennemuutosmääräykseen. Oma haasteensa on sen varmistaminen, että pelastuskortti on käytettävissä onnettomuuspaikalla.



Kuva 1: Esimerkki raskaan ajoneuvon pelastuskortista. Korttiin on merkitty korkeajänniteakkujen ja -osien sijainti ja muita pelastajille tärkeitä tietoja.⁴¹

⁴¹ Volvo, "Volvo FE/FL-sähkökuorma-autojen pelastuskortti 2020-".

3.4 Kunnossapidon turvallisuus

Olennainen osa tieliikenneajoneuvon turvallisuutta on säännöllinen kunnossapito sekä se, että tämä voidaan suorittaa työturvallisesti. Perinteiseen polttomoottorikuorma-autoon verrattuna korkeajännitejärjestelmä tuo uutena asiana sähkötyöturvallisuuden huomioimisen.

Raskaan kaluston ajoneuvot ovat harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta aina ammattikäytössä ja niiden kunnossapitokin on ammattimaista toimintaa. Huollot ja korjaukset toteutetaan yrityksissä ja ne suorittavat työsuhteessa olevat työntekijät. Työssä noudatetaan työturvallisuuslakia ja sähkökonversion tapauksessa myös sähköturvallisuuslakia.

1.1.2017 voimaan astuneessa sähköturvallisuuslaissa⁴² (STL) on huomioitu sähköajoneuvojen huollon turvallisuuden erityispiirteet. Sähkötöissä on Suomessa 1970-luvulta asti noudatettu lakiin perustuvaa käytäntöä, jossa sähkötöitä itsenäisesti tekeviltä henkilöiltä vaaditaan tietty määrä koulutusta ja työkokemusta. Lisäksi toiminnanharjoittajan on nimettävä sähkötöiden johtaja, jolta työkokemus- ja koulutusvaatimuksen lisäksi vaaditaan sähköturvallisuustutkinto, ja näiden vaatimusten täyttyminen on osoitettava pätevyystodistuksella, jonka antaa lain mukainen pätevyysarviointilaitos. Sähköajoneuvojen osalta lakiin on kirjattu poikkeus (56 §), jonka mukaan sähkötöiden johtajaa, toiminnanharjoittajarekisteriin kuulumista sekä työntekijöiden määrämittaista työkokemusvaatimusta ei vaadita

tieliikennekäyttöön soveltuvan sähköajoneuvon voimajärjestelmän sähkötöissä, jos henkilö on riittävästi perehtynyt tai perehdytetty kyseisen ajoneuvomallin sähköjärjestelmään ja sähkön vaaroihin

Käytännössä ajoneuvomallin sähköjärjestelmään perehtyminen tapahtuu ajoneuvovalmistajan mallikohtaisella koulutuksella ja sähkön vaaroihin perehtyminen SFS 6002 -standardin mukaisella sähkötyöturvallisuuskoulutuksella.

Sähkötyöturvallisuuden vaatimusten (STL 82 §) katsotaan täyttyvän, kun työssä noudatetaan sähköturvallisuusviranomaisen ilmoittamaa standardia (STL 83–85 §), joka on SFS 6002⁴³. Standardin liitteessä U on määritelty turvallisuusvaatimukset sähköajoneuvojen parissa tehtävälle sähkötyölle. Standardin mukaan

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

Suurten ajoneuvovalmistajien tuotteille on valmiit kurssit ja koulutusohjelmat ja kuvitetut yksityiskohtaiset huolto- ja korjausohjeet. Ammattimaisesti valmistetuissa sähkökonversioissa tulisi huolehtia, että kalustosta on saatavilla riittävän laadukkaita ja korjausohjeita.

Asiantuntijahaastatteluissa tunnistettiin seuraavat huomioon otettavat riskitekijät kunnossapitoon liittyen:

- Korjausohjeiden olemassaolo ja niiden riittävä laatu.
- Kunnossapidon toteutuminen ja turvallisuus: työturvallisesti johdetulla korjaamalla ajoneuvoa ei oteta vastaan, mikäli siihen ei ole tarjolla mallikohtaisia ohjeita. Tällöin korjauksen suorittajaksi voi valikoitua

⁴² Hallituksen esitys eduskunnalle 116/2016 sähköturvallisuuslaiksi ja laiksi eräitä tuoteryhmiä koskevista ilmoitetuista laitoksista annetun lain muuttamisesta.

⁴³ Luettelo S10.

korjaamo, jossa työturvallisuusnäkökohtia ei ole huomioitu lain ja sähkötyöturvallisuusstandardin mukaisella tavalla.

- Varaosien saatavuuden varmistaminen.

Yksi tapa varmistaa ohjeiden saatavissa oleminen olisi vaatia niiden esittäminen muutostarkastuksen yhteydessä. Rakennemuutosmääräyksen kehittämisessä tulisi huomioida tämä näkökohta.

Laadukkaiden korjausohjeiden laatiminen edellyttää, että samaan ajoneuvomalliin tehdyt konversiot toteutetaan systemaattisesti samalla tavalla ja mikäli tästä poiketaan, se dokumentoidaan myös korjausohjeeseen niin, että esimerkiksi virheellinen sähkökaavio ei aiheuta vaaraa mekaanikon työturvallisuudelle eikä johda toiminnallisen turvallisuuden vaarantavaan virheelliseen korjaukseen.

3.5 Huomioita sähkökonversioiden teknistaloudellisista seikoista

Selvityksen ensisijainen tavoite on arvioida ammattimaisen konversioituotannon turvallisuusedellytyksiä. Joissain haastatteluissa nousi esille konversioiden kokonaistaloudellisuusnäkökulma: kannattaako vanhan kuorma-auton elinikää jatkaa konvertoimalla, vai mieluummin panostaa uusiin sähkökuorma-autoihin? Uusissa sähkökuorma-autoissa on ajantasainen turvatekniikka ja kokonaisuus on alusta alkaen läpikäynyt suuren ajoneuvovalmistajan suunnitteluprosessin.

Käytetyn kuorma-auton konvertointi sähkökäyttöiseksi poistaa kyseisen ajoneuvoyksilön pakoputkipäästöt kokonaan, mutta toisaalta sama tukiraha kohdennettuna uusiin kalustohankintoihin voi olla vaikuttavampaa hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Keskeistä mahdollisen konversiotuen valmistelussa on sen huomioiminen, että liiketoimintaa ei synny pelkän tukien saamisen takia eikä tuki vääristä markkinoita, esimerkiksi suosimalla konversioita uusien autojen kustannuksella.

Yksi merkittävä tekijä on, että pieni konversiotoimija joutuu maksamaan akkukapasiteetista moninkertaisen hinnan verrattuna kansainväliseen autoteollisuuskonserniin, jolla on neuvotteluvoimaa ja volyyymiä suurten valmistusmäärien takia. Ajoneuvoteollisuus maksaa akkukapasiteetista suuruusluokaltaan 100–150 € / kWh⁴⁴, pienelle toimijalle hinta voi olla 3–5-kertainen.

Toinen kustannuksiin vaikuttava tekijä on ammattimainen huolto-, korjaus- ja muu vastaava dokumentaatio. Mikäli konversio tehdään aina samanlaisena tiettyyn kuorma-automalliin, tämä kustannus on kertaluontoinen.

Suuruusluokaltaan sähkökuorma-autokonversion ammattimainen toteuttaminen maksaa reilut 100 000 € (alv 0 %). Kallein yksittäinen osa on ajoakusto, joka maksaa kymmeniä tuhansia euroja.

3.6 Muita huomioon otettavia seikkoja

Konversioauton kestävyys ja luotettavuus varmistamisessa merkitystä on muutostarkastushetkellä tutkitun määräysten mukaisuuden lisäksi työn yleisellä laadulla. Esimerkiksi kaapelivedot ja erityisesti liitokset on tehtävä niin, että ne kestävät vaihtuvia olosuhteita luotettavasti vuosikausia. Sähkönsyötön katkeaminen turvallisuuskriittiseltä järjestelmältä, kuten ohjaustehostimelta, on aina vaarallinen vika.

⁴⁴ Lambert, "Electric Vehicle Battery Cost Falls to \$132 per kWh, but It Might Go up from There".

Määräysten tulee olla helppolukuisia ja katsastajalla tulee olla riittävät mahdollisuudet puuttua tilanteeseen, jossa herää perusteltu epäily ajoneuvon tosiasiallisen turvallisuuden toteutumisesta.

3.7 Henkilöautojen harrastekonversioista saatuja kokemuksia

Suomessa henkilöautojen sähkökonversioiden valmistaminen on ollut pääasiassa yksittäisten ihmisten harrastustoimintaa sekä oppilaitosprojekteja. Raskaan kaluston ammattimaisten sähkökonversioiden kunnossapidon turvallisuus eroaa harrastepohjalta rakennettujen sähköhenkilöautokonversioiden huollon turvallisuudesta merkittäväällä tavalla sekä käytännössä että juridisesti. Harrasteena konvertoidun sähköhenkilöauton ylläpidosta huolehtii harrastaja itse, ja hän tuntee auton suunnitteluratkaisuineen. Yksilöharrastustoiminnassa vastuu omasta turvallisuudesta on harrastajalla itsellään. Vakavia onnettomuuksia ei ole toistaiseksi Suomessa sähköajoneuvojen huollossa ja korjauksessa tapahtunut, ja dokumentoidut läheltä piti -tilanteet ovat tapahtuneet oppilaitoksissa.⁴⁵

Harrastajien sähköhenkilöautokonversioissa tunnetaan alalla muutamia tapauksia, joissa ajoneuvo, joka ei ole tosiasiallisesti turvallinen eikä välttämättä edes määräystenmukainen, on hyväksytty muutoksatsastuksessa. Puutteita on ollut esimerkiksi akun sijoittelussa ja kiinnityksessä tai korkeajännitejärjestelmän kosketussuojauksessa, ja sähköturvallisuuteen liittyvä dokumentointi on ollut puutteellinen. Yksittäisissä harrastehenkilöautoissa tämänkaltaiset puutteet ovat aina riski, mutta kokonaisvaikutus jää pieneksi ajoneuvoyksilöiden vähäisen määrän sekä harrasteajoneuvojen todennäköisesti pienen ajokilometrimäärän takia. Raskaan ajoneuvon massa ja ajokilometrimäärä ovat suurempia, joten vastaavaa riskiä puutteellisesti suunniteltujen ja rakennettujen ajoneuvojen päätyemisestä tieliikennekäyttöön ei tulisi ottaa. Harrasteauton korjaaminen suoritetaan tyypillisesti itse, kun taas raskas ammattikäytössä oleva ajoneuvo korjataan työsuhteessa korjaamolla. Raskaan konversion tulee olla turvallinen niin sen kuljettajalle, muille tielläliikkuville kuin huoltomekaniikoillekin.

⁴⁵ Linja-aho, "Electrical accident risks in electric vehicle service and repair - accidents in Finland and a review on research".

4 Johtopäätökset ja toimenpidesuosituks

Selvityksen perusteella raskaan kaluston sähkökonversioiden turvallisuuden kannalta kriittisin osa-alue on akuston törmäysturvallisuus. Akkujen tulee olla kiinnitettynä asianmukaisesti ja auton tulisi kestää taajamanopeuksissa tapahtuvat kolarit ilman tuleen syttymistä. Varsinainen sähköturvallisuus on haasteena erityisesti korjaustöissä

Selvityksen asiantuntijahaastattelussa esiin nousseet turvallisuuskohdat on lueteltu liitteessä 1. Liitteessä näkökohtia ei ole arvioitu kvantitatiivisesti, vaan listaa voi käyttää tarkistuslistamaisesti asioiden huomioon ottamisessa niin säädösvalmistelussa kuin ajoneuvokonversiota suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Nykytilanteessa katsastusmääräykset eivät kohtelee muutoksastuksessa raskasta kalustoa eri tavalla kuten henkilöautoja. Ammattimaisesti toteutettu tehdaskonversio on riittävän turvallinen nykysäädösten puitteissa, mutta koska raskas ajoneuvo on sekä suuren massansa että hankalan raivattavuutensa seurauksena suuririskisempi onnettomuustilanteessa, seuraavien toimenpiteiden varmistamista tulisi harkita rakennemuutosmääräyksen osalta raskaan kaluston sähkökonversioissa:

- Alkuperäisen ajoneuvon päällirakenneohjeistusten noudattaminen akkuja kiinnitettäessä tai vaihtoehtoisesti uskottava, kolmannen osapuolen varmentama laskelma akkujen kiinnityksestä ja sen kestävydestä törmäystilanteessa. Kolmas osapuoli voi olla esimerkiksi ajoneuvolaissa mainittu hyväksytty asiantuntija tai kokenut ajoneuvosuunnittelun ammattilainen.
- Apulaitteiden, kuten ohjaustehostimen ja jarrujen kompressorin energiansyötön toiminnan riittävä varmistaminen vikatilanteessa. Ajoneuvon tulee olla turvallisesti pysäytettävissä, vaikka energiansyöttö ajoakulta menetetään.
- Käytettävältä akkurakenteelta tulisi vaatia E-säännön numero 100 mukaiset testit myös ajoneuvoissa, jotka on käyttöön otettu niin aikaisin, että käyttöönottovuoden perusteella ei kyseisiä testejä vaadita.
- Ajoneuvolle on oltava laadittuna riittävä huolto- ja korjausohjeisto sekä pelastusopas ja pelastuskortti.
- Autossa tulee olla erottuvat merkinnät käyttövoimasta, toteutettuna esimerkiksi ISO 17840 -standardin mukaisilla käyttövoimatarroilla.
- Muutoksastuksessa tulisi edellyttää kolmannen osapuolen, esimerkiksi kokeneen ajoneuvosuunnittelualan ammattilaisen, lausuntoa kokonaisuuden turvallisuudesta ja muutosten dokumentoinnin riittävydestä. Katsastajan mahdollisuudet arvioida koko kokonaisuuden turvallinen toteutus on rajoitettua: katsastaja ei voi olla lujuuslaskennan, sähköturvallisuuden ja monen muun osa-alueen erikoisasiantuntija ja kaikkiin asiakirjoihin perehtyminen syvällisesti on aikaa vievää.

5 Lähdeluettelo

5.1 Kirjalliset lähteet

"Alternative Fuels Data Center: Aftermarket Electric Vehicle (EV) Conversion Regulations". <https://afdc.energy.gov/laws/9852>.

"Alternative Fuels Data Center: Conversion and Tampering Regulations". https://afdc.energy.gov/vehicles/conversions_regulations.html.

Arrêté du 13 mars 2020 relatif aux conditions de transformation des véhicules à motorisation thermique en motorisation électrique à batterie ou à pile à combustible (2020).

Byun, Jihye ja Kyunghwan Choi. "Effects Analysis of Light-Duty Diesel Truck Hybrid Conversion Depending on Driving Style". *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 97 (1. elokuuta 2021): 102958. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102958>.

GOV.UK. "Change Vehicle Details on a V5C Registration Certificate (Log Book)". <https://www.gov.uk/change-vehicle-details-registration-certificate/what-evidence-to-give>.

Choi, Woongchul ja Heedong Tae. "E-Truck Conversion with a Bi-Directional OBC". Teoksessa 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 1–5, 2019. <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2019.8903697>.

Ilta-Sanomat. "eCorolla on Suomessa tehty sähköauto", 10. joulukuuta 2010, osa Autot. <https://www.is.fi/autot/art-2000001087044.html>.

"Electric Car Conversion: How to Convert a Car to Electric | RAC Drive". <https://www.rac.co.uk/drive/electric-cars/choosing/electric-car-conversion-how-to-convert-a-car-to-electric/>.

"Electric retrofit: what legal framework? what premium for conversion?" <https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A14108>.

Emoss. "Emoss: Zero-emission power systems for heavy equipment." <https://www.emoss.nl/en>

EVgine. "Electric Vehicle Conversion Technology | EVgine | EV Conversions". <https://evgine.com/>.

"Electrical Conversion of Commercial Vehicles - ECap Mobility". <https://ecap-mobility.com/en/products/electrical-conversion-of-commercial-vehicles.html>.

FMVSS 305. 2021. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2017-09-27/pdf/2017-20350.pdf>.

"Fossiilittoman liikenteen tiekartta. Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä". Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021.

Trans.INFO. "France offers €50,000 per-truck grants for conversion to electric". <https://trans.info/en/electric-conversion-287775>.

Greenmot. "Retrofit Industrial Vehicles". GREENMOT. <https://www.greenmot.com/en/retrofit-industrial-vehicles/>.

Hallituksen esitys eduskunnalle 116/2016 sähköturvallisuuslaiksi ja laiksi eritä

tuoteryhmiä koskevista ilmoitetuista laitoksista annetun lain muuttamisesta (2017).
<https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2016/20160116>.

Heinonkoski, Mikko. "Traficom helpottamassa autoharrastajien elämää? - GTI Magazine", 2020. <https://gti.fi/artikkelit/traficom-helpottamassa-autoharrastajien-elamaa>.

Katajamäki, Eemeli. "Sähköistetyn höytyajoneuvon muutostöiden vaatimukset". Tampereen ammattikorkeakoulu, 2022.

Keoun, B.C. "Designing an electric vehicle conversion". Teoksessa *Proceedings of Southcon '95*, 303–8, 1995. <https://doi.org/10.1109/SOUTHCON.1995.516121>.

Koh, Sae Ran, Sung Ho Hur, ja Namwoo Kang. "Feasibility Study on the Korean Government's Hybrid Conversion Project of Small Diesel Trucks for Parcel Delivery Services". *Journal of Cleaner Production* 232 (20. syyskuuta 2019): 559–74. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.316>.

Kuljetusnet. "Emoss panostaa sähköautojen kuninkuusluokkaan". 2015. <https://kuljetusnet.fi/emoss-panostaa-sahkoautojen-kuninkuusluokkaan.html>

Kurniawan, Andrie, ja Imam Abadi. "Analysis Green Gases Reduction for Employee Buses in Order to Support Fossil Fuel Conversion to Electric Powered Buses in PT. Vale Indonesia Tbk", 020008. Surabaya, Indonesia, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5095260>.

Laine, Panu. "Muunnossähkökuorma-auton ajomoottorin ja voimansiirron yhdistäminen ja tuenta". Insinööritoimisto, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2022.

Lambert, Fred. "Electric Vehicle Battery Cost Falls to \$132 per KWh, but It Might Go up from There". *Electrek* (blog), 30. marraskuuta 2021. <https://electrek.co/2021/11/30/electric-vehicle-battery-cost-falls-132-per-kwh-might-go-up/>.

Lin, Chan-Chiao, Huei Peng, Jessy W. Grizzle, Jason Liu, ja Matt Busdiecker. "Control System Development for an Advanced-Technology Medium-Duty Hybrid Electric Truck", 2003-01-3369, 2003. <https://doi.org/10.4271/2003-01-3369>.

Linja-aho, Vesa. "Electrical accident risks in electric vehicle service and repair - accidents in Finland and a review on research", 2020. https://www.researchgate.net/publication/339875411_Electrical_accident_risks_in_electric_vehicle_service_and_repair_-_accidents_in_Finland_and_a_review_on_research.

———. "Nyt on helpompi tehdä autosta sähköauto". *ETN-lehti*, 2017. <https://etn.fi/index.php/13-news/6730-nyt-on-helpompi-tehdä-autosta-sahkoauto>.

Luettelo S10 (2019). <https://tukes.fi/teollisuus/standardit>.

Motiv Power Systems. "Motiv Power Systems". <https://www.motivps.com/>.

Navale, A. B., S. P. Chippa, D. A. Chougule, ja P. M. Raut. "Crashworthiness aspects of electric vehicle design". *International Journal of Crashworthiness* 26, nro 4 (4. heinäkuuta 2021): 368–87. <https://doi.org/10.1080/13588265.2020.1718462>.

<https://www.connexionfrance.com>. "New rules for electric car conversions revealed", 25. huhtikuuta 2022. <https://www.connexionfrance.com/article/Practical/Transport/French-government-reveals-new-rules-for-electric-conversion-of-petrol-and-diesel-cars>.

Sequino, Luigi, Ezio Mancaruso, ja Bianca Maria Vaglieco. "Modeling Study of the Battery Pack for the Electric Conversion of a Commercial Vehicle", 2021-24-0112, 2021. <https://doi.org/10.4271/2021-24-0112>.

Sun, Peiyi, Roeland Bisschop, Huichang Niu, ja Xinyan Huang. "A Review of Battery Fires in Electric Vehicles". *Fire Technology* 56, nro 4 (heinäkuuta 2020): 1361–1410. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>.

Suur-Keuruu. "Sähköautot | Ensimmäinen keuruulainen sähkökuorma-auto on kohta valmis – kymmenelle kouluttautujalle työpaikka joulukuussa", 24. marraskuuta 2021. <https://www.suurkeuruu.fi/uutiset/art-2000008425769.html>.

Traficom. Alleajosuojaohje TRAFI/198962/03.04.03.03/2017 (2017). <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Alleajosuojaohje.pdf>.

— — —. Autojen ja niiden perävaunujen tekniset vaatimukset (2020). <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/454001/46016>.

— — —. Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen (2021). <https://finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/454001/46612>.

TüV Merkblatt 764 (2021).

UES. "UES - Unique Electric Solutions". <https://www.uesmfg.com/>.

Ukaew, Ananchai. *Model Based System Design for Electric Vehicle Conversion*. *New Trends in Electrical Vehicle Powertrains*. IntechOpen, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77265>.

Utsumi, Hiroshi, Gen Komiya, Masatoshi Fukuda, Hidetaka Ohta, Hiroshi Hasuike, ja Yasushi Hoshiba. "EV conversion kit for light truck". Teoksessa *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 1–4, 2013. <https://doi.org/10.1109/EVS.2013.6914895>.

GOV.UK. "Vehicle Registration". <https://www.gov.uk/vehicle-registration/radically-altered-vehicles>.

Virginia. *Special equipment required for converted electric vehicles*, § 46.2-1001.1. §. <https://law.lis.virginia.gov/vacode/title46.2/chapter10/section46.2-1001.1/>.

Volvo. "Volvo FE/FL-sähkökuorma-autojen pelastuskortti 2020-", 2020.

"Vuosi sähkökuorma-autojen konversiotehtaan perustamisesta | Europörssi", 12. toukokuuta 2022. <https://europorssi.com/fi/vuosi-sahkokuorma-autojen-konversiotehtaan-perustamisesta/>.

Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) sääntö nro 79 – Ajoneuvojen ohjauslaitteitten hyväksyntää koskevat yhdenmukaiset vaatimukset [2018/1947], 318 OJ L § (2018). <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/1947/oj/fin>.

Kaikki verkkoviitteet tarkistettu 11.8.2022.

5.2 Asiantuntijahaastattelut

Selvitystä varten on haastateltu seuraavia asiantuntijoita

Marko Hassinen	yliopistonlehtori, Itä-Suomen yliopisto
Pekka Hautala	osaamisaluepäällikkö, Metropolia-ammattikorkeakoulu
Ville Eskelinen	toimitusjohtaja, Hevtec Oy
Mikko Leppälahti	toimitusjohtaja, Lielahden Autokeskus Oy
Heikki Parviainen	tutkintovastaava, Metropolia-ammattikorkeakoulu
Sami Ruotsalainen	toimitusjohtaja, SR Automotive Oy
Otto Lahti	johtava asiantuntija, Traficom
Tatu Siivonen	tarkastaja, Traficom
Juhani Puurunen	erityisasiantuntija, Traficom
Jukka Pellinen	projektipäällikkö, Keulink Oy
Turo Tiililä	hallituksen puheenjohtaja, Testmill Oy
Teemu S Lindfors	toimitusjohtaja, Testmill Oy
Akseli Mylläri	operatiivinen johtaja, Oy Sisu Auto Ab
Robert Sandström	pääsuunnittelija, Oy Sisu Auto Ab
Tuomo Leppäkoski	projektityöntekijä, Tampereen ammattikorkeakoulu

Liite 1

Haastatteluissa esiin nousseet huomioon otettavat näkökohdat raskaan kaluston sähkökonversioissa:

- Rakenteiden lujuus ja akun kiinnitysten lujuus, kun akut kiinnitetään auton runkopalkkeihin. Turvallisin tapa on noudattaa alkuperäisen rungon valmistajan ohjeistusta. Mikäli tätä ei ole käytettävissä, uskottava lujuuslaskelma akkujen kiinnitykselle.
- Linja-autossa matkustajien turvallisuus ja evakuointi. Kuorma-auton hyvä puoli onnettomuustilanteessa (verrattuna henkilö- ja linja-autoon) on, että henkilöitä autossa on tyypillisesti yksi.
- Mitä on auton kyydissä? VAK-määräysten yhteenkuormauskiellot, voiko rahtina olla jotain, joka reagoi litiumioniakkujen kanssa? Esimerkiksi räjähteiden kuormaaminen litiumioniakkujen kanssa on kielletty.
- Busseissa akkuja usein sijoitettu katolle: paloturvallisuuden kannalta hyvä asia (ei liekkejä matkustamoon), mutta kiinnityksen kestävä törmäys.
- Akkujen on kestävä syttymättä ja irtoamatta vähintään taajamanopeudessa tapahtuva törmäys.
- Kaupunkibusseissa suojauduttava erityisesti peräänajolta, se on tyypillinen onnettomuustyyppi. Akkuja ja korkeajännitejohtoja ei tulisi sijoittaa auton perään niin, että ne vaurioituvat heti pienessäkin peräänajossa.
- Ajoneuvon käyttövoima oltava tunnistettavissa selvästi, tärkeää pelastajien turvallisuudelle.
- Ohjaustehostin ja jarrut saatava toimimaan varmasti, myös tilanteessa, jossa sähköinen ajovoimajärjestelmä menetetään.
- Turvallisuus tilanteessa, jossa muuttajaan tulee vika: esimerkiksi pääteasteen oikosulku voi aiheuttaa rajun moottorijarrutuksen, jos tilanteen hallinta suunnitteluvaiheessa laiminlyöty. Raju moottorijarrutus alamäessä kuormaa vetäessä voi aiheuttaa mahdollisen perävaunun päätyamisen vastaan tulevien kaistalle.
- E-sääntö numero 100 on erittäin kattava sähköturvallisuuden varmistamisessa: vaaditaan riittävä potentiaalintaus ja kosketussuojaus. Eristysresistanssin valvontajärjestelmä ei ole pakollinen, mutta vaaditaan käytännössä toiminnallisen turvallisuuden takaamiseksi, jotta vikatilanne havaitaan ajoissa ennen kuin se johtaa sähköjärjestelmän poiskytkentää vaativaan vikatilanteeseen.
- Toiminnallisen turvallisuuden takaamiseksi kokonaisuus on suunniteltava niin, että auto suojaa itse itsensä niissä vika- ja törmäystilanteissa, jotka ovat odotettavissa.
- Fyysisten jarrujen ja moottorijarrutuksen luotettava yhteistoiminta varmistettava. Alkuperäiseen, tyyppihyväksytyyn jarrujärjestelmään ei tule koskea kuin siltä osin, mikä on välttämätöntä alkuperäisen polttomoottoriauton hidastimen korvaamiseksi sähkömoottorin moottorijarrutuksen ohjauksella.
- Korkeajännitekaapelit on sijoitettava niin, että ne eivät vaurioidu ensimmäisenä törmäyksessä.

- Sähkötyöt on suoritettava niin että työn jälki takaa kaapelivetojen ja liitosten kestävyys koko ajoneuvon elinkaarella.
- Alkuperäisen ajoneuvon kunnon on oltava riittävän hyvä. Konversiota ei kannata tehdä huonolaatuiseen aihioon.
- Modulaarisuus helpottaa paloturvallisuutta, kun palo ei leviä akkumoduulista toiseen.
- Ylläpito- ja korjausturvallisuus on varmistettava. Ajoneuvosta on laadittava kunnolliset piirustukset muut asiakirjat, joilla varmistetaan myös korjaajan sähkötyöturvallisuus. Ajoneuvosta on löydyttävä huoltoerotin helposti.
- Varaosien saatavuus on varmistettava ja soveltuvat varaosat ominaisuuksineen dokumentoitava riittävästi.
- Vuodesta 2013 alkaen E-sääntö nro 100:ssa on vaadittu akkupaketeilta useita turvallisuustestejä, kuten palonkestävyydesti. Samanlaisten, E-sääntö nro 100 mukaan testattujen akkupakettien käyttö eri konversioissa on mielekästä sekä kustannusten että turvallisuuden kannalta.
- Käytettävien komponenttien tulee olla ajoneuvokäyttöön suunniteltuja tai niiden soveltuvuus on varmistettava muuten.
- Muunnossähköautolta ei ole kohtuullista vaatia uusia tyyppihyväksyntätestejä, mutta vähintään toiminnalliset testit tulee tehdä ja dokumentoida, kuten ajo täyskaasulla ja jarrutus- ja ohjattavuustestit.
- Muutostarkastuksen suorittavalla katsastajalla on rajalliset mahdollisuudet arvioida ajoneuvon suunnittelun ja toteutuksen tosiasiallista turvallisuutta. Jonkun ulkopuolisen tahon tulisi arvioida työn kelvollisuus ennen muutostarkastusta: esimerkiksi kokenut ja riippumaton alan ammattilainen.
- Ammattimaisessa toiminnassa tuotannolla tulisi olla laatujärjestelmä, jolla varmistetaan, että kaikki konvertoidut autot ovat turvallisia. Työn laadulla on merkitystä, ei vain suunnittelulla.
- Tehoja ja massoja ei saisi muuttaa radikaalisti.
- Pelastajille oltava kunnon ohjeet (pelastuskortti ja pelastusopas). Pelastuskortin tosiasiallinen saatavilla olevuus onnettomuustilanteessa on haastavaa yksittäisille konversioille.
- Kuorma-auton ja linja-auton olennainen ero turvallisuussuunnittelussa on se, että ensimmäisessä on sisällä lähes aina pelkästään ammattikuljettaja, jälkimmäisessä voi olla kuljettajan lisäksi kymmeniä matkustajia, joista osan liikkumiskyky voi olla rajoittunut esimerkiksi sairauden tai muiden syiden johdosta, ja kaikki on voitava evakuoida turvallisesti. Linja-auto on suunniteltava niin, että mahdollinen akkupalo ei vaaranna evakuointia.
- Korkeajännitekaapelit suojattava törmäykseltä rakenteellisesti, eivät saa puristua tai leikkautua rikki taajamanopeuden törmäyksessä.

Haastatteluissa esiin nousseet keskeisimmät riskit raskaan kaluston sähkökonversioissa:

- Muutostarkastuksessa hyväksytään ajoneuvo, joka ei ole tosiasiallisesti turvallinen, koska katsastajalla ei ole aikaa tai osaamista kokonaisuuden turvallisuuden varmistamiseen.

- Ajoneuvon korjausohjeet ovat puutteelliset, mikä johtaa suoraan (virheellinen toiminta) tai välillisesti (ajoneuvo päätyy korjattavaksi sinne missä siihen suostutaan koskemaan) mekaanikon työtapaturmaan.
- Jarru- tai ohjausjärjestelmän toiminnallinen turvallisuus vaarantuu suunnitteluvirheen seurauksena, esimerkiksi
 - sähköisen moottorijarrutuksen ja ajoneuvon oman ABS-jarrujärjestelmän yhteentoimimattomuus johtaa tilanteeseen, jossa raskas ajoneuvo ajautuu liukkaalla tiellä vastaantulijan kaistalle tai
 - ohjaustehostimen tehonsyöttö vikaantuu haastavassa ajotilanteessa ja yllättää kuljettajan.
- Taajamanopeudessa tapahtuva törmäys johtaa litiumioniakkupaloon akuston suojauksen puutteellisen suunnittelun takia.
- Akuston tai sen osan puutteellinen kiinnitys johtaa onnettomuuteen, jossa esimerkiksi satoja kilogrammoja painava akkukotelo irtoaa ja päätyy henkilöauton sisään.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

PL 320, 00059 TRAFICOM
p. 029 534 5000

traficom.fi

ISBN 978-952-311-812-6
ISSN 2669-8781 (verkkajulkaisu)