

Rino Stenhammar

Sähköajoneuvon vaihtosähkölatausta koskevat vaatimukset ja latausaseman rakenne

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

1.12.2017

Tekijä Otsikko	Rino Stenhammar Sähköajoneuvon vaihtosähkölatausta koskevat vaatimukset ja latausaseman rakenne
Sivumäärä Aika	39 sivua 1.12.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Ajoneuvotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja	Lehtori Vesa Linja-aho
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää sähköajoneuvon lataukseen liittyviä standardeja ja vaatimuksia sekä latausaseman rakennetta Metropolia Ammattikorkeakoululle. Standardit joita työssä käsitellään, ovat Suomessa virallisiksi hyväksytyt SFS-standardit ja osa vaatimuksista ja suosituksista on muita SESKOn antamia sähköajoneuvon lataukseen liittyviä seikkoja. Latausaseman rakennetta käsitellään standardien ja muutaman aseman kytkentäkaavion pohjalta.</p> <p>Työn alussa käydään läpi yleiset sähköajoneuvon lataukseen liittyvät seikat kuten esimerkiksi erilaiset latausliittimet ja niiden sallimat huippuvirratt, lataustavat ja pikalataukseen liittyvät tekniset tiedot. Seuraavana selvitetään itse työn aihetta, jotka koskevat sähköajoneuvon latausta kotitalouspistorasiasta ja vaihtosähkölatausasemaa. Samassa kuvataan myös standardisoinnissa prosessi sekä työn kirjoitushetkellä voimaan tulleita ja tulevia uudistuksia latausasemiin ja niiden asennuksiin liittyvissä standardeissa. Viimeinen varsinainen käsittelyluku koskee vaihtosähkölatausaseman rakennetta eli sen sisältämiä suojalaitteita, ohjainlaitetta ja sen toimintoja sekä kontaktoria ja pistorasiaa.</p> <p>Latausasemien rakenteelle ja suojatoiminnoille on asetettu tiukat vaatimukset Suomessa. Mahdollisuus sähköiskuun ja tulipaloon on minimoitu hyvin pieneksi ja latausaseman on tarkkailtava suojamaadoitusta jatkuvasti. Suko-pistorasiasta ladattaessa virta on rajoitettu riittävän pieneksi pistorasian kestävyys takaamiseksi. Latausasemaa valmistettaessa ja asennettaessa on otettava huomioon muun muassa sähköverkon kunto ja kuormitus, Suomen vaihtelevat sääolosuhteet ja mahdollinen ilkalta.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi kattava kirjallisuuskatsaus vaihtosähkölatauksen vaatimuksista ja latausaseman rakenteesta. Työstä saa hyvän kuvan siitä, mitä vaatimuksia latausasemalle on Suomessa asetettu, mitä asioita on otettava huomioon sellaista asennettaessa ja mistä eri osista se rakentuu. Työ soveltuu opetusmateriaaliksi sähköajoneuvotekniikan opettajille ja opiskelijoille. Myös esimerkiksi itserakentelijat ja sähköurakoitsijat voivat hyödyntää työtä lähdemateriaalina.</p>	
Avainsanat	sähköajoneuvon latausasema, standardi, sähköturvallisuus

Author Title	Rino Stenhammar Requirements applying to Electric Vehicle AC Charging and the Components of the Charging Station
Number of Pages Date	39 pages 1 December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to examine the regulations and the standards that apply to electric vehicle charging and to examine the components and the modules of the EV charging station for Metropolia UAS. The standards discussed in this thesis are official Finnish SFS standards and part of the regulations and recommendations are claims given by SESKO. The components and the structure of the charging station are examined from the standards' aspect and from the wiring diagrams of a few charging stations' aspect.</p> <p>The general EV charging issues as the plugs and the maximum currents of them, the charging modes, fast charging and its technical information are reviewed at the beginning of this thesis. The next part of the thesis deals with the requirements applying to EV charging from a household socket and the requirements applying to electric vehicle a.c. charging station. The standardization process and the new requirements of revised standards applying to charging stations and their installations are also reviewed in the same chapter. In the last main paragraph the components of the electric vehicle a.c. charging station such as electrical protection devices, the charging control unit and its functions, the contactor and the socket are examined.</p> <p>The requirements that apply to EV charging station and its protective functions are very strict in Finland. The risk of electric shock and fire has been minimized and the charging station must observe protective earthing constantly. The charging current is limited low enough to maintain the socket durability when charged from a regular household socket. It is also required to consider the condition and load of the electrical grid, Finnish alternating weather conditions and possible vandalism when manufacturing and installing an EV charging station.</p> <p>As a result of this thesis a comprehensive survey of electric vehicle a.c. charging and the components of charging station was carried out. The thesis gives a good review of the requirements of charging in Finland, the issues that must be considered when installing a station and the components of a station. The thesis is suitable as teaching and learning material for EV engineering students and lecturers. Electrical contractors and do-it-yourself people may find this thesis useful source material as well.</p>	
Keywords	electric vehicle charging station, standard, electrical safety

Sisällys

Lyhenteet

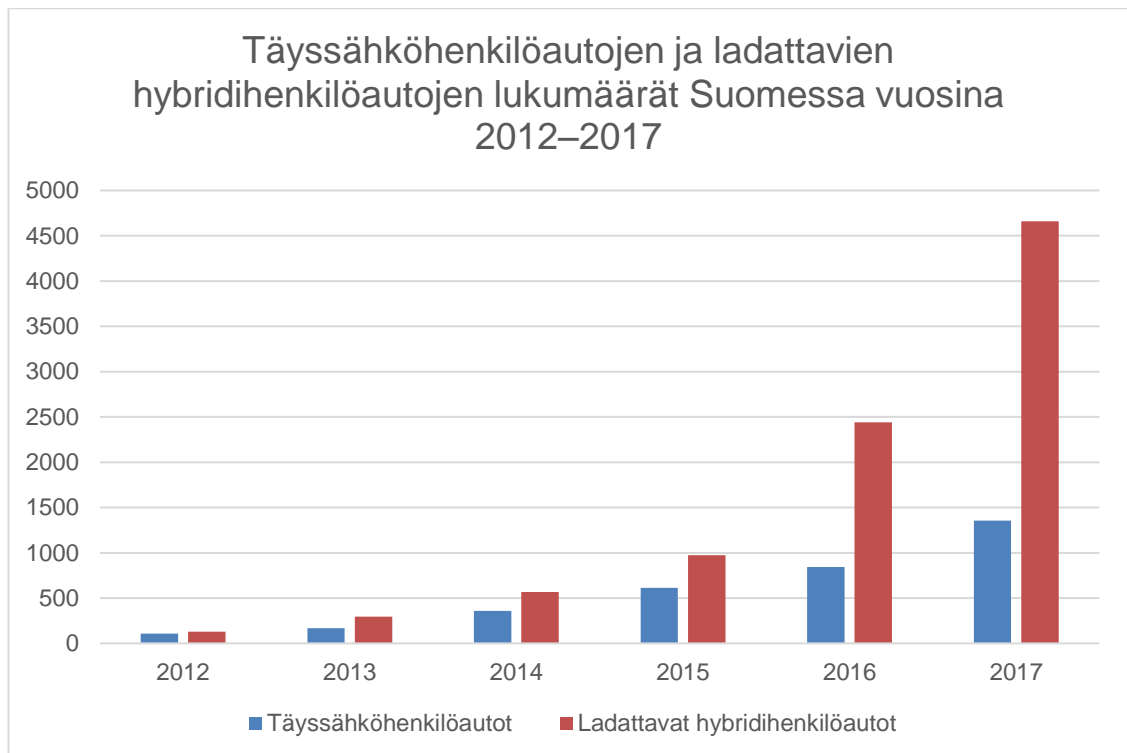
1	Johdanto	1
2	Sähköajoneuvon latausliittimet, lataustavat ja pikalataus	3
2.1	Sähköajoneuvon latauspistokytkimet	3
2.2	Sähköajoneuvon lataustavat	6
2.3	Pikalataus	8
3	Vaatimukset vaihtosähkölataukselle	11
3.1	Standardisoimisprosessi lyhyesti	11
3.2	Vaatimukset lataustavalle 2	11
3.2.1	Virran rajoitus	12
3.2.2	Vikavirtasuojien käyttö	12
3.2.3	Muut vaatimukset	13
3.3	Vaatimukset lataustavalle 3	14
3.3.1	Vaatimukset sähköverkolle	14
3.3.2	Vaatimukset latausasemalle	15
3.4	Vaatimukset latauskaapelille	19
3.5	SFS 6000 -standardin uudistus syksyllä 2017	20
3.6	IEC 61851-1 -standardin uudistus keväällä 2017	21
4	Vaihtosähkölatausaseman rakenne	23
4.1	Latausaseman liitäntä sähköverkkoon, suojalaitteet ja energian mittaus	23
4.2	Latausaseman ohjainlaite	24
4.2.1	Control pilot -signaali	24
4.2.2	Jännitteen, vastuksen ja virran mittaus	26
4.3	Kontaktori, pistorasiat ja muut toiminnot	30
5	Yhteenveto ja pohdinta	33
	Lähteet	36

Lyhenteet

IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähkötekniikan standardisoimisjärjestö.
SAE	Society of Automotive Engineers. Yhdysvaltalainen autoalan standardisoimisjärjestö.
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. Saksalainen sähkötekniinen järjestö.
VVSK	Vikavirtasuojakytkin.
CCS	Combined Charging System. Sähköauton latausliitin, johon on yhdistetty peruslatausliitin ja pikalatausliitin.
CENELEC	European Committee For Electrotechnical Standardization. Euroopan sähköalan standardisoimisjärjestö.
SESKO	Suomen sähköteknillinen standardisoimisyhdistys.
SFS	Suomen standardisoimisliitto.

1 Johdanto

Sähköautoja näkyy katukuvassa koko ajan enemmän ja enemmän. Kesäkuussa 2017 liikennekäytössä oli 1142 täyssähköhenkilöautoa, kun taas kesäkuussa 2015 liikennekäytössä oli vain 488 sähköautoa (1). Kuvassa 1 näkyykin, kuinka täyssähköhenkilöautojen ja ladattavien hybridihenkilöautojen lukumäärät ovat kasvaneet Suomessa vuoden 2012 lopusta vuoden 2017 loppuun (1). Vuoden 2017 loppuvuoden automäärät on arvioitu alkuvuoden ensirekisteröintien mukaan. Sähköautojen kasvavaan kysyntään vaikuttavat ihmisten lisääntynyt huoli ja tietoisuus ympäristöasioista sekä valtion kiristytävä polttomoottoriautoihin kohdistuva verotus. Myös sähköautojen laskevat hinnat innostavat ihmisiä ostamaan niitä. Muita sähköautoiluun kannustavia seikkoja ovat muun muassa vähäinen ajomelu, pieni huoltotarve sekä sähkömoottorin tasainen vääntökäyrä.



Kuva 1. Sähkö- ja hybridihenkilöautojen lukumäärät Suomessa vuosina 2012–2017 (1).

1900-luvun alussa sähköautot olivat varteenotettava kilpailija polttomoottoriautoille. Sähköautojen suosio kuitenkin laski nopeasti. Esimerkiksi vuonna 1912 T-mallin Ford maksoi 650 Yhdysvaltain dollaria, kun taas sähköauto maksoi 1750 dollaria. Samana vuonna keksittiin myös sähköinen käynnistinmoottori polttomoottoriautoon, mikä nosti polttomoottorin suosiota entisestään. Seuraavaksi sähköautoista kiinnostuttiin varsinaisesti

vasta 1990-luvulla, kun ympäristökysymykset nostivat päätään. Muutamia sähköautoja valmistettiin kuitenkin 1910- ja 1990-luvun välillä, kuten esimerkiksi Henney Kilowattia vuosina 1959 ja 1960. (2; 3.)

Nykyään hyvin monella autovalmistajalla on sähköautomalli. Sähköautotekniikan kehitys onkin ollut nopeaa 2000- ja 2010-luvuilla. Nopeasta kehityksestä ja maantieteellisistä eroista johtuen sähköauton lataamista koskevia standardejakin on paljon. Jo latauspistokytкимиä on neljä erilaista, ja pikalatausta koskevat hieman eri standardit kuin normaalia latausta. Nykyään on kuitenkin sovittu yhteiset kansainväliset standardit, joita noudatetaan sähköajoneuvojen lataukseen liittyvissä asioissa.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään sähköajoneuvojen latausasemiin liittyviä vaatimuksia ja niiden rakennetta. Työ on toteutettu kirjallisuusselvityksenä, ja tärkeimmät lähteet ovat standardit ja latausasemien kytkentäkaaviot. Työssä käydään aluksi läpi sähköauton lataamiseen liittyviä yleisiä asioita, seuraavaksi käsitellään latausta koskevia vaatimuksia ja suosituksia ja lopuksi käsitellään latausaseman rakennetta. Työn lopussa on yhteenveto ja pohdintaa käsitellyistä asioista.

Opinnäytetyön on tarkoitus toimia opetus- ja opiskelumateriaalina sähköautotekniikan opettajille ja opiskelijoille. Opinnäytetyöstä on hyötyä myös itserakentelijoille ja tekniikasta kiinnostuneille sekä esimerkiksi sähköurakoitsijoille. Metropolia Ammattikorkeakoulun autoelektroniikan lehtori Vesa Linja-aho tilasi tämän opinnäytetyön syksyllä 2017.

2 Sähköajoneuvon latausliittimet, lataustavat ja pikalataus

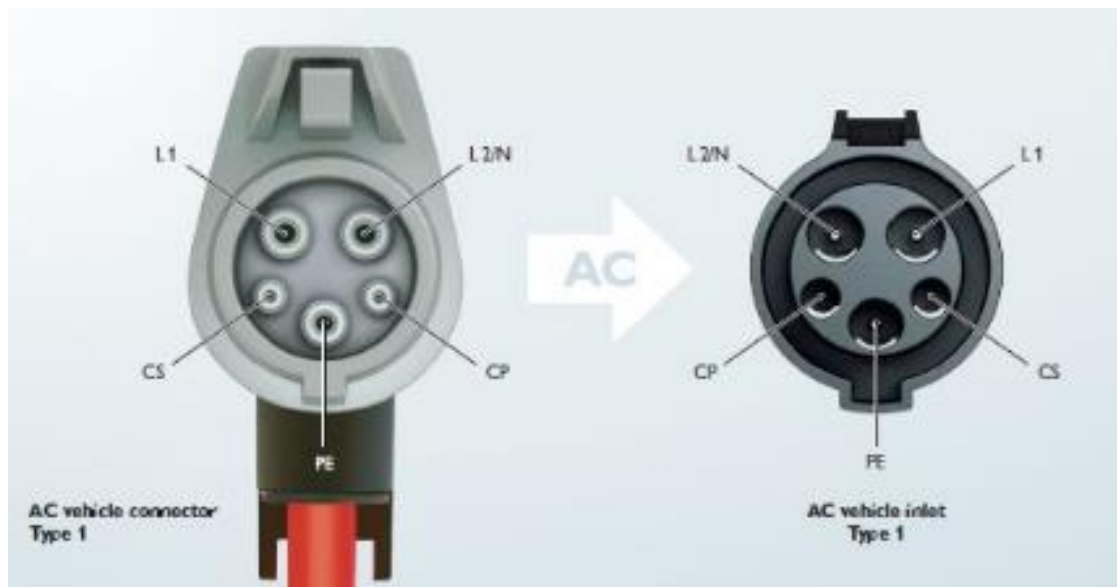
Sähköajoneuvojen latausliittimiä koskevat kansainväliset standardit IEC 62196-1, IEC 62196-2 ja IEC 62196-3 määrittelevät neljä erilaista latauspistokytöntä ja niiden ominaisuuksia. Sähköajoneuvon lataamisen yleisiä turvamääräyksiä koskeva standardi IEC 61851-1 määrittelee taas neljä erilaista lataustapaa. Nämä standardit on myös hyväksytty Euroopassa ja Suomessa käytettäväksi SFS-EN-standardieiksi. Pikalatauksessa käytettävät liittimet ja pikalataukseen liittyvät tekniset tiedot käydään tiiviisti läpi tämän kappaleen lopussa. (4.)

2.1 Sähköajoneuvon latauspistokytkimet

Standardissa SFS-EN 62196-2 määritellään siis kolme erilaista latauspistokytöntä vaihtovirtalataukseen. Yleisesti käytössä on kaksi näistä pistokytkimistä. Tasavirralla toimivaa pikalatausta koskevat pistokytkimet käydään työssä läpi myöhemmin.

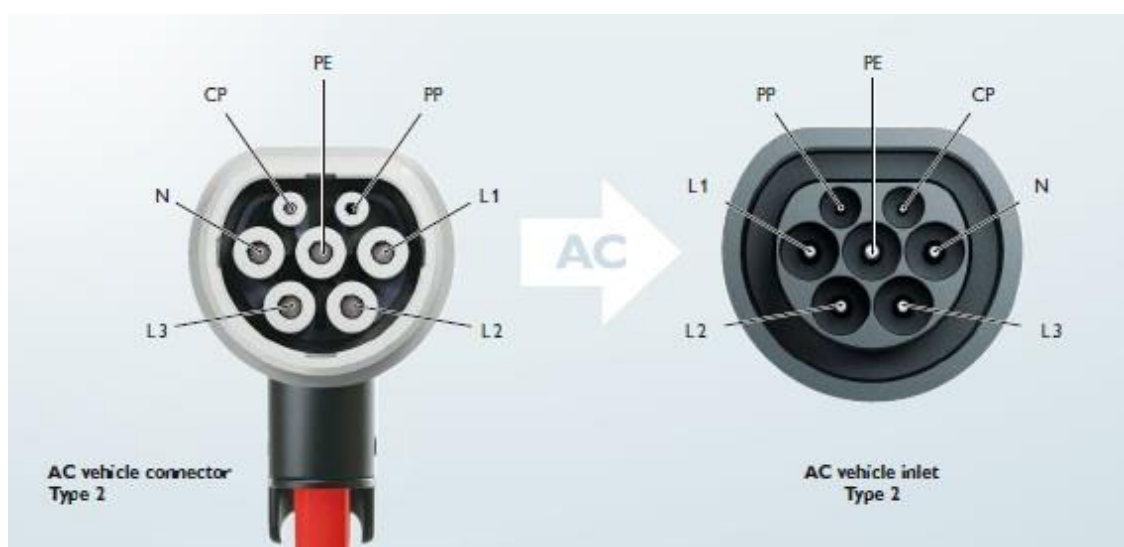
Tyyppin 1 pistokytin (kuva 2) on yhdysvaltalaisen autoalan järjestön SAE:n standardin J1772 mukainen liitin. Standardi J1772 määrittelee myös protokollan, jonka mukaan ajoneuvo ja latausasema viestivät keskenään sekä määrittelee liittimeltä vaadittuja ominaisuuksia. Käytetyt signaalilinjat ovat proximity pilot ja control pilot. Proximity pilot -piiri on ajoneuvon tunnistamista varten; kun ajoneuvo kytketään latausasemaan, proximity pilot -piirissä tapahtuu vastuksen muutos, jonka latausasema tunnistaa. Control pilot -signaali taas määrittää latauksen huippuvirran, jonka latausasema voi antaa. Muut pinnit liittimessä ovat maadoitusjohdin sekä kaksi vaihejohdinta tai yksi vaihejohdin ja nollajohdin. Pistokytkimestä käytetään myös nimeä Yazaki, joka on näiden tunnettu valmistaja. SAE J1772 kuuluu nykyään myös IEC 62196 -standardiin. (5; 6.)

Standardi tukee latausta 240 V:n vaihtojännitteellä (tehollisarvo) ja 80 A:n virralla, jolloin latauksen huipputeho on 19,2 kW. Käytännössä harva auto ja latausasema tukevat näin suurta virtaa, jolloin latauksen huipputeho on yleensä 7,68 kW virran ollessa 32 A. Yhdysvalloissa 240 V:n jännite saadaan kahden vaihejohtimen välisestä jännitteestä, kun taas Euroopassa liittimeen kytketään yksi vaihejohdin ja nollajohdin, jolloin voidaan käyttää 230 V:n vaihejännitettä. Tyyppin 1 liitintä käyttävät muun muassa BMW, Nissan ja Volvo. Vuonna 2018 myyntiin tulevassa Nissan Leafin uudessa mallissa on kuitenkin tyyppin 2 liitin EU:n suositusten mukaisesti. Euroopassa julkaistavissa sähköautoissa tullaan muutenkin suosimaan tyyppin 2 liitintä tulevaisuudessa. (6; 7.)



Kuva 2. Tyypin 1 pistokytin (7).

Tyypin 2 pistokytin (kuva 3) on saksalaisen sähköteknisen järjestön VDE:n standardisoima liitin. Pistokytimen standardi on VDE-AR-E 2623-2-2, mutta nykyään sekin kuuluu kansainväliseen IEC 62196-2 -standardiin. Kommunikointiin se käyttää samoja signaalilinjoihin kuin Tyypin 1 pistokytin. Tyypin 2 pistokytimessä voidaan kuitenkin käyttää kaikkia kolmea vaihetta, jolloin ajoneuvoa voidaan ladata suuremmalla teholla kuin Tyypin 1 liittimellä. Tyypin 2 pistokytimestä käytetään usein nimeä Mennekes tunnetun valmistajan mukaisesti. Tämä on Euroopassa yleisesti suositeltu standardiliitin ja myös Suomi on tehnyt päätöksen suosia tätä pistokytintä. Tyypin 2 pistokytintä käyttää muun muassa Tesla ja Volkswagen. (7; 8.)



Kuva 3. Tyypin 2 pistokytin (7).

Latauksen teoreettinen huipputeho tyypin 2 liittimellä on noin 43,5 kW käyttäen kaikkia kolmea vaihetta ja 63 A:n virtaa. Yleisesti latausasemat pystyvät antamaan kuitenkin vain 32 A:a virtaa, jolloin maksimiteho rajoittuu kolmea vaihetta käyttäen noin 22 kW:iin. Kaikki tyypin 2 liittintä käyttävät sähköautot eivät kuitenkaan pysty ottamaan vastaan 32 A:n virtaa, jolloin todellinen latausteho rajoittuu usein alle 20 kW:iin.

Esitys *tyypin 3 pistokytimestä* (kuva 4) tuli ranskalaisilta sähkötekniikan yrityksiltä Schneider Electriciltä ja Legrandilta sekä italialaiselta Scame-yritykseltä. Yhdessä nämä muodostivat EV Plug Alliance -yhtymän, joka alkoi kehittää uutta pistokytintä. Myöhemmin EV Plug Allianceen liittyi useita muita sähkötekniikan yrityksiä. Kantava ajatus tyypin 3 liittimessä oli sulkimet, jotka estävät tahattoman kosketuksen jännitteisiin osiin. Tyypin 3 pistokytin ei kuitenkaan ottanut tuulta alleen, sillä EU:n suositus käyttää tyypin 2 pistokytintä käytännössä poisti tarpeen tyypin 3 liittimelle. Mennekes esitteli vuonna 2012 myös tyypin 2 liittimelle sulkimet, jotka estävät kosketuksen jännitteisiin osiin ja tämä pienensi jo ennestään tarvetta uudelle liittimelle. Käytännössä tyypin 3 pistokytintä ei ole missään sarjatuotannossa olevassa autossa tällä hetkellä. (8; 9; 10; 11.)



Kuva 4. Tyypin 3 -pistokytin (12).

2.2 Sähköajoneuvon lataustavat

SFS-EN 61851-1 -standardi määrittelee sähköajoneuvon latausjärjestelmän yleiset turvallisuusvaatimukset (13). Tämä standardi myös määrittelee neljä erilaista sähköajoneuvon lataustapaa, jotka käydään seuraavissa kappaleissa läpi (14). Nämä lataustavat soveltuvat erilaisten ajoneuvojen lataamiseen ja erilaisiin lataustilanteisiin.

Lataustapa 1 on tarkoitettu pienten ja kevyiden sähköajoneuvojen lataamiseen, kuten esimerkiksi sähköskootterien ja -mopoautojen lataamiseen. Tässä lataustavassa sähköajoneuvossa olevaa laturia syötetään tavallisesta 230 V:n maadoitetusta kotitalouspistorasiasta (suko). Näin ollen korkein mahdollinen latausvirta 16 A. Pistorasia tulee suojata enintään 30 mA:n vikavirrasta laukeavalla vikavirtasuojakytkimellä (VVSK), koska kevyiden ajoneuvojen omissa latausjohdoissa ei tavallisesti ole omaa vikavirtasuojaa. Tässä opinnäytetyössä ei tulla tarkemmin keskittymään tähän lataustapaan. (14.)

Lataustapa 2 on toiselta nimeltään hidas lataus tai tilapäislataus. Lataustapa onkin tarkoitettu vain tilapäiseksi ratkaisuksi. Sähköajoneuvossa olevaa laturia syötetään tässäkin tavassa vaihtosähköä perinteisestä 230 V:n kotitalouspistorasiasta tai teollisuuspistorasiasta. Erona lataustapaan 1 on se, että ajoneuvon ja pistorasian välisessä liitäntäjohdossa on oltava ohjaus- ja suojalaiteyksikkö (kuva 5). Kuvassa 5 näkyy myös sukopistorasiaan menevä pistokytin. Ohjaus- ja suojalaiteyksikön tarkoitus on ohjata kuormitusta, varmistaa sähköajoneuvon turvallinen kiinnitys ja sisältää VVSK. Syyskuussa 2016 vahvistettu standardi SFS-EN 62752 määrää lataustavan 2 huippuvirraksi 8 A pitkäkestoisessa latauksessa. Näin vanhakin pistorasia kestää kuorman sulamatta. (14; 15, kohta 722.3.4; 16.)



Kuva 5. Tesla Model S -sähköauton lataustavan 2 liitäntäjohdon ohjaus- ja suojalaiteyksikkö.

Lataustapa 3 on sähköajoneuvon varsinainen lataustapa. Tämän takia sitä sanotaankin peruslataukseksi. Peruslataus tapahtuu liittämällä sähköajoneuvo liittäntäjohdolla erityisesti sille tarkoitettuun pistorasiaan. Käytännössä tämä pistorasia on sähköajoneuvon latausasemassa (kuva 6), joka on kytketty vaihtosähköverkkoon. Latausasema sisältää itsessään ohjaus- ja suojalaiteyksikön, joka lataustapa 2:ssa on kiinnitetty liittäntäjohtoon. Lataustavalla 3 ajoneuvoa voidaan ladata jopa 63 A:n virralla, jolloin ajoneuvo latautuu selvästi nopeammin kuin lataustavalla 2. Latausjohto voi periaatteessa olla myös kiinteästi liitettynä latausasemaan, mutta harvoin näin on. (14; 15, kohta 722.3.5.)



Kuva 6. Sähköajoneuvon latausasema Lahden messukeskuksen pysäköintialueella.

Lataustapa 4 on sähköajoneuvon pikalataus eli teholataus. Standardi määrittelee, että ajoneuvo kytketään vaihtosähkösyöttöön käyttämällä ulkopuolista laturia, jossa sijaitsee ohjaus- ja valvontatoiminnot. Näin lataustavan 4 latausasemissa on siis aina kiinteästi liitettynä liittäntäjohdot. Pikalatausta koskevat omat standardinsa ja esimerkiksi tiedonsiirto latausaseman ja ajoneuvon välillä on toteutettu eri tavalla kuin peruslatauksessa. Pikalataus tapahtuu tasasähköllä ja jopa 200 A:n virralla ja 50 kW:n teholla. 100 kW:n teholla lataavat pikalaturit ovat yleistymässä tulevaisuudessa ja esimerkiksi jo markkinoilla oleva Hyundai Ioniq Electric -sähköauto pystyy ottamaan vastaan 100 kW:n lataustehon, kun akku on tyhjä. Myös Teslan Supercharger tukee yli 100 kW:n lataustehoa. Pikalatausta käsitellään vain hyvin pintapuolisesti tässä opinnäytetyössä. (14; 15, kohta 722.3.6.)

2.3 Pikalataus

Kuten aikaisemmin mainittu, pikalataus tapahtuu aina lataustavalla 4. Pikalataus on hyvä ratkaisu esimerkiksi moottori- ja maanteiden vieressä oleville levähdyspaikoille ja huoltoasemille, joissa akuston varaustilaa on tärkeää nostaa nopeasti. Pikalatauksessa käytettäviä pistokytкимиä on pääasiassa kolmea erilaista: tyyppin 4 pistokytkin, Combined Charging System (CCS) ja Tesla Supercharger. Pikalatausta koskevat omat standardinsa SFS-EN 61851-23 ja -24 sekä pikalataukseen käytettäviä pistokytкимиä koskeva standardi SFS-EN 62196-3. Näin ollen pikalataus on hiukan erilaista kuin tavallinen lataus ja nämä pistokytkin- ja lataustyyppit käydäänkin tässä vain lyhyesti läpi.

Tyyppin 4 pistokytkin (kuva 7) tunnetaan myös nimellä CHAdeMO, joka on lyhenne lauseesta ”charge de move” (suomennettuna liiku käyttäen latausta). Tyyppin 4 pistokytkin käyttää sähköajoneuvon ja latausaseman väliseen kommunikointiin CAN-väylää. Tätä pistokytkimä käyttävät pääasiassa japanilaiset autonvalmistajat kuten Nissan ja Mitsubishi. Sähköajoneuvossa saattaa siis olla sekä pikalatauspistoke että vaihtosähkölatauspistoke (tyyppi 1 tai tyyppi 2). Tyyppin 4 pistokytkimä käyttäen sähköajoneuvoa voidaan ladata 200 kW:n teholla käyttäen 500 V:n tasajännitettä ja 400 A:n virtaa. Vuonna 2020 tarkoitus on nostaa latauksen huipputeho 350–400 kW:iin käyttäen 1 kV:n jännitettä ja 350–400 A:n virtaa. (11; 17; 18.)



Kuva 7. Tyyppin 4 pistokytkin (19).

Combined Charging System (CCS) yhdistää vaihtovirtalatauksessa käytettävän pistokytkimen ja pikalatauksessa käytettävän pistokytkimen. Ajoneuvossa oleva pistorasia on siis tyyppin 1 tai tyyppin 2 pistokytkimelle sopiva ja tämän alapuolella on pikalataukseen sopiva liitin, joka koostuu plus- ja miinusnavoista. Yhdysvalloissa käytetään tyyppin 1 pistokytkimeen yhdistettyä pikalatausliitintä (kuva 8) ja Euroopassa tyyppin 2 pistokytkimeen

yhdistettyä pikalatausliitintä (kuva 9). Euroopassa käytettävässä tyyppin 2 pikalatauksessa liitälaitteiden pistokytimestä on poistettu vaihejohtimien ja nollajohtimen liittimet, mikä näkyy myös kuvassa 9. Euroopassa on sovittu yhteiseksi käytännöksi käyttää tyyppin 2 pistokyttimeen yhdistettyä pikalatausta. (20.)

CCS-pikalataukseen käytettävän pistokytimen kunnollinen kiinnitys ajoneuvon pistorasiaan varmistetaan lukituspultilla ja suurjännitekoskettimien lämpötilaa tarkkaillaan PTC-vastuksilla. Näin lataus voidaan keskeyttää tai lataustehoa pudottaa, jos lämpötila kasvaa liikaa. Latausasema ja sähköajoneuvo kommunikoivat standardin IEC 15118 mukaisesti käyttäen niin sanottua datasähköstandardia. Kommunikointiin käytetään siis pikalatausliittimen johtimia. Latauksen huipputeho on 200 kW ja tulevaisuudessa jopa 350 kW. CCS-pikalatausta käyttävät esimerkiksi Volkswagen E-Up ja Opel Ampera. (20; 21; 22.)



Kuva 8. Tyyppin 1 pistokytin yhdistettynä pikalatausliittimeen (22).



Kuva 9. Tyypin 2 CCS-pistokytin ja ajoneuvossa oleva tyypin 2 CCS-pistorasia (23).

Tesla Supercharger on nimensä mukaisesti vain Tesla-sähköautoille tarkoitettu pikalatausmahdollisuus. Tällöin ajoneuvo on ajettava erilliselle Tesla Supercharger -latausasemalle (kuva 10). Latausasemaan on kiinteästi liitetty tyypin 2 pistokytintä käyttävä liitäntäjohto. Mitään erillistä pikalatausvastaketta ei siis Tesloissa ole. Supercharger-latausasema on suunniteltu antamaan 135 kW:n maksimilatausteho, mutta tällä hetkellä huipputeho on 120 kW. Tarkempia tietoja Tesla Supercharger -pikalatauksesta ei ole julkisesti saatavilla. (24.)



Kuva 10. Tesla Supercharger -pikalatausasema (25).

3 Vaatimukset vaihtosähkölataukselle

3.1 Standardisoimisprosessi lyhyesti

Tässä opinnäytetyössä käsitellään standardeita ja käytetään niihin liittyviä lyhenteitä, joten on hyvä tietää kuinka standardisoimisprosessi etenee. Kuvailtu standardisoimisprosessi koskee vain sähkötekniikan standardeja, mutta prosessi on kaikilla muillakin standardeilla samankaltainen. Prosessi käydään tässä vain lyhyesti läpi, mutta siitä saa hyvän kuvan, kuinka sähköajoneuvon latausta koskevat standardit ja vaatimukset rakentuvat.

Kansainvälinen sähkötekniikan standardisoimisjärjestö IEC huolehtii sähköautojen latausjärjestelmien standardisoimisesta. Euroopassa toimii oma sähköalan standardisoimisjärjestö CENELEC, joka huolehtii Eurooppaan soveltuvista sähköajoneuvojen standardeista. Suurin osa CENELECin standardeista kuitenkin pohjautuu kansainvälisiin IEC-standardeihin. CENELECin standardien yhteydessä käytetään lyhennettä EN. Suomen sähköteknisistä standardeista vastaa taas SESKO ry. SESKO saattaa valmiit sähköalan standardit Suomen standardisoimisliitolle SFS ry:lle ja näin niistä tulee kansallisia SFS-standardeja. SESKolla on IEC:ssä ja CENELECissä omia komiteoita, jotka osallistuvat kansainvälisten ja Eurooppaa koskevien sähkötekniisten standardien laadintaan.

Monet SFS-standardit perustuvat nykyään yleiseurooppalaisiin EN-standardeihin. Tässä työssä käytetäänkin usean standardin kohdalla lyhennettä SFS-EN. Tämä tarkoittaa sitä, että se on hyväksytty sekä eurooppalaiseksi ja suomalaiseksi standardiksi. Lähes kaikki sähköajoneuvoja koskevat standardit pätevät niin Suomessa, Euroopassa kuin kansainvälisestikin. Muutamia pieniä poikkeuksia kuitenkin on. Standardien noudattamista valvoo Suomessa sähköturvallisuusviranomaisen eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes.

3.2 Vaatimukset lataustavalle 2

Kun sähköajoneuvoa ladataan suoraan kotitalouspistorasiasta, täytyy muutama lisäseikka ottaa huomioon. Etenkin jos ajoneuvoa ladataan pitkäaikaisesti tällä tavalla (esimerkiksi yön yli), on syytä olla tarkkana. On hyvä muistaa, että tämä lataustapa on tarkoitettu pääasiassa vain väliaikaiseen lataukseen ja pitkäaikainen lataus tulisi suorittaa

käyttäen varsinaista latausasemaa (lataustapa 3). Standardi SFS-EN 62752 määrittelee omat vaatimuksensa liitäntäjohdossa olevalle ohjaus- ja suojalaiteyksikölle. Näitä vaatimuksia käydään seuraavissa luvuissa läpi.

3.2.1 Virran rajoitus

Tavallisen kotitalouspistorasian pitkäkestoinen virta on tavallisesti rajoitettu 16 ampeeriin joko sulakkeella tai johdonsuojakatkaisimella. Pistorasiaa ei ole kuitenkaan suunniteltu kestäväksi pitkäaikaista rasiutusta näin suurella virralla. Tästä johtuen sähköajoneuvon latausvirtakin täytyy mitoittaa riittävän pieneksi. Koska sähköteho on verrannollinen virran neliöön, kasvaa pistorasiaan kohdistuva lämpökuorma hyvin nopeasti virtaa nostettaessa. Lataustavan 2 huippuvirta on rajoitettu tyypillisesti 10 ampeeriin, mutta esimerkiksi joidenkin valmistajien latausjohdot ottavat 12 tai 13 ampeeria virtaa.

Syksyllä 2016 otettiin käyttöön uusi versio standardista SFS-EN 62752, joka koskee juuri lataustavan 2 ohjaus- ja suojalaiteyksikköä. Tämä standardi määrittelee pitkäaikaisen latauksen maksimivirraksi 8 ampeeria. Lyhytaikaisessa latauksessa virtaa voidaan ottaa enemmänkin käyttäjän harkinnan mukaan. Nämä rajoitukset ovat vain Suomessa käytettäviä kansallisia poikkeuksia, jotka on kirjattu standardiin. Muissa maissa saatetaan käyttää toisenlaisia rajoituksia esimerkiksi maksimivirran suhteen. (16.)

Tavallisesti latauksen huippuvirtaa voidaan säätää ohjaus- ja suojalaiteyksikössä olevista painikkeista. Kuvasta 5 kuitenkin huomataan, että Teslan liitäntäjohdossa olevassa yksikössä ei näitä painikkeita ole, sillä siinä huippuvirtaa voidaan säätää ohjaamon ajo-tietokoneesta. Joidenkin valmistajien liitäntäjohdoissa on lämpötilan tunnistus pistokytkimessä, jolloin se alkaa rajoittaa virtaa lämpötilan kasvaessa. (16.)

3.2.2 Vikavirtasuojien käyttö

Kirchhoffin virtalain mukaan virtapiirin solmukohtaan tulee saman verran virtaa kuin mitä siitä lähtee. Näin virtapiirissä ei synny eikä häviä virtaa, se voi vain haarautua. Jännitelähteeltä lähtee siis saman verran virtaa kuin siihen palaa ja tätä vikavirtasuojaa mittauksin. Vikavirtasuojakytkimessä (VVSK) eli vikavirtasuojaa on summavirtamuuntaja, joka mittaa vaihe- ja nollajohtimien virran summaa (26, s. 244). Ehjässä virtapiirissä vaihe- ja nollajohtimien välinen virtaero on hyvin lähellä nollaa. Vioittuneessa virtapiirissä virtaa

voi vuotaa esimerkiksi sähkölaitteen kuoren kautta ihmiseen ja sitä kautta maahan. Tällöin VVSK havaitsee vaihe- ja nollajohtimen välillä liian suuren virtaeron ja katkaisee näin virran.

VVSK on sähköturvallisuuden kannalta hyvin tärkeä suojalaite ja se vaaditaankin nykyään lähes jokaiselta kotitaloudessa olevalta pistorasialta (15, kohta 411.3.3). Näin ollen myös sähköauton lataamiseen lataustavalla 2 tarkoitettu pistorasia on oltava suojattu vikavirtasuojalla (14). Ennen oli tavallista käyttää AC-tyypin vikavirtasuojaa, joka tunnistaa ainoastaan vaihtovirran. Nykyään sitä ei kuitenkaan saa käyttää, sillä moni nykyaikainen sähkölaite voi myös vuotaa esimerkiksi tasavirtaa tai pulssimaista tasavirtaa. A-tyypin vikavirtasuojat tunnistaa vaihtovirran ja pulssimaisen tasavirran ja B-tyypin VVSK tunnistaa vaihtovirran ja tasoitetun tasavirran. Tyypillinen kotitaloudessa oleva vikavirtasuojat laukeaa 30 mA:n virtaerosta. (26, s. 246.)

Standardi SFS-EN 62752 vaatii ohjaus- ja suojalaiteyksikön sisältävän vikavirtasuojan laukeavan jo 6 mA:n vikavirrasta. Vikavirtasuojan on tunnistettava niin vaihtovirta kuin tasavirtakin. Tasavirran tunnistus vaaditaan, sillä ajoneuvossa oleva laturi muuttaa liitäntäjohtoa pitkin tulevan vaihtovirran tasavirraksi. Sähköajoneuvon akustoa voidaan ladata ainoastaan tasavirralla. Näin myös tasasähköä oleva vikavirta on mahdollinen. (27, kohta 5.1.)

3.2.3 Muut vaatimukset

Liitäntäjohdossa oleva ohjaus- ja suojalaiteyksikkö on tuettava. Muutoin se rasittaa sukopistorasiaa liikaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ohjaus- ja suojalaiteyksikkö on asetettava esimerkiksi pöydälle tai seinässä olevalle telineelle. Pistorasia, josta sähköajoneuvoa ladataan voi sijaita esimerkiksi talon seinällä tai lohkolämmittimelle tarkoitussa tolpassa. (14.)

Jatkojohtoa ei myöskään saa käyttää, vaan liitäntäjohto on asennettava kiinteästi paikallaan olevaan pistorasiaan (27, kohta 6.2.e). Jos jatkojohtoa käytetään, kytkennän silmukkaimpedanssi kasvaa ja se pienentää näin oikosulkuvirtaa. Liian pieni oikosulkuvirta taas johtaa siihen, että kytkentää suojaava sulake tai johdonsuojakatkaisin ei välttämättä laukea vikatilanteessa tarpeeksi nopeasti. Tämä johtaa mahdolliseen tulipaloriskiinkin vikatilanteessa.

Ohjaus- ja suojalaiteyksikön on myös valvottava suojamaadoituksen jatkuvaa kiinnitystä ajoneuvoon. Tämä valvonta tapahtuu control pilot- ja proximity pilot -signaalihohtimien välityksellä. Proximity pilot -piirissä oleva vastus on liitäntäjohdon ajoneuvon puoleisessa pistokkeessa proximity pilot -johtimen ja suojamaajohtimen välissä. Näin ollen tämä vastus häviää, jos suojamaajohdin vioittuu. Suojamaadoitusjohdin on myös oleellinen osa control pilot -virtapiiriä. Ohjaus- ja suojalaiteyksikön on katkaistava lataus suojamaajohdinyhteyden vaurioituessa. (27, kohta 5.1.)

3.3 Vaatimukset lataustavalle 3

Lataustapa 3 on sähköajoneuvon pääasiallinen lataustapa. Pitkäaikaisessa latauksessa on suositeltavaa käyttää tarkoituksenmukaista latausasemaa. Sähköautojen yleistyessä yleistyvät siis myös varsinaiset latausasemat lataustarpeen kasvaessa. Monessa latausasemassa on mahdollisuus ladata kahta sähköajoneuvoa kerrallaan. Jos oletetaan, että molempia ajoneuvoja ladataan 32 A:n virralla käyttäen kaikkia kolmea vaihetta kasvaa latausaseman käyttämä latausteho yli 44 kW:iin. Näin suuri teho on iso rasite sähköverkolle, joten latausaseman sopivuus sähköverkkoon ja turvallisuus on varmistettava.

Osa lataustavan 3 vaatimuksista koskee myös lataustapaa 2 ja osa vaatimuksista on hyvin lähellä lataustavan 2 vaatimuksia. Esimerkiksi myös lataustavassa 3 latausasemalta vaaditaan jatkuvaa ajoneuvon suojamaadoitusyhteyden tarkkailua, mutta vikavirtasuojien vaatimukset eroavat hieman (28, kohta 6.4.3.2). Jatkojohtoa ei saa käyttää myöskään ladattaessa sähköajoneuvoa latausasemasta (28, kohta 6.3.2). Latausaseman käyttämä suuri teho kuitenkin asettaa enemmän vaatimuksia myös sähköverkolle kuin lataaminen suko-pistorasiasta.

3.3.1 Vaatimukset sähköverkolle

Kun latausjärjestelmän asennusta suunnitellaan, SESKOn lataussuositus suosittelee selvittämään kestäkö verkko latausaseman tuomaa kuormaa. Samassa yhteydessä on hyvä selvittää verkon sen kohdan maadoitukset, vikavirtasuojaukset ja suojamaadoitusjohtimessa kulkevat vuotovirrat. Latausjärjestelmän sähkömagneettinen yhteensopivuus on myös hyvä varmistaa. Jos sähköverkon kuorma on jo valmiiksi tarpeeksi suuri, on sähköliittymää muutettava, jotta latausasema voidaan asentaa. Kun sähköverkon kuormitettavuutta lasketaan, on erityisen tärkeää selvittää, onko johtimia vedetty esimerkiksi

eristekerroksen sisällä tai täydellä kaapelihyllyllä. Tällöin liittymän kuormitettavuus puutoa selvästi ja se estää mahdollisesti asentamasta latausasemaa siihen kohtaan verkkoa. (14.)

Pää- ja ryhmäkeskusten kunnon kartoitus ennen latausaseman asentamista kuuluu SESKOn lataussuositukseen. Kartoitukseen hyvä keino on lämpökuvata keskukset. Keskuksen lämpötilan kasvu voi johtua huonoista tai vanhoista liitoksista. Nämä nostavat impedanssia, joka kasvattaa sen kohdan jännitehäviötä. Jännitehäviön kasvaessa myös lämpökuorma kasvaa. Liiallinen lämpeneminen johtaa edelleen kytkennän resistanssin kasvuun ja mahdolliseen tulipalorisktiin. Lämpökuvauus on yleisestikin hyvä keino selvittää sähköjärjestelmän kunto. (14.)

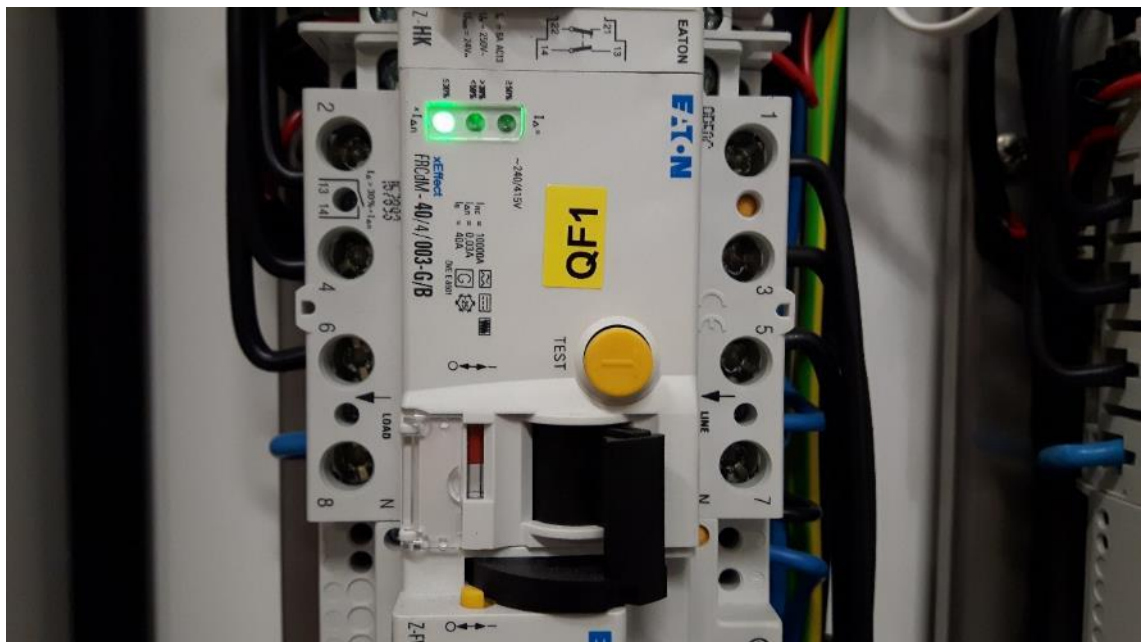
Sähköverkon syöttöjen suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon SESKOn lataussuosituksen mukaisesti etähallinnan mahdollisuus ja etähallittava kuormituksen ohjaus. Näillä toimenpiteillä voidaan pudottaa latausaseman kuormaa, jos sähköverkon muu kuorma kasvaa liikaa ja aiheuttaa näin mahdollisesti kaapelien kuumenemisen. Etähallinnan apuna voidaan käyttää virran ja lämpötilan mittausta. Etähallinnan tärkeys kasvaa, jos samaan liittymään liitetään useampia latausasemia ja verkon kuormitus kasvaa täten hyvin paljon. (14.)

Latausaseman syöttökaapeleissa ei ole sallittua käyttää yhdistettyä nolla- ja suojamaadoitusjohdinta (niin sanottu PEN-johdin). Latausasemaa ei siis voida kytkeä TN-C-tyyppin sähkönsyöttöjärjestelmään. TN-C-järjestelmään ei saa asentaa latausasemaa, sillä tässä syöttötavassa ei saa käyttää myöskään vikavirtasuojaa. Koska vikavirtasuojan käyttö on pakollista, täytyy nolla- ja suojamaadoitusjohtimienkin olla erilliset. Käytännössä uusissa rakennuksissa ja asennuksissa on kuitenkin aina TN-C-S-tyyppin sähkönsyöttöjärjestelmä, jossa on erilliset suojamaadoitus- ja nollajohtimet. (15, kohdat 411.4.5 ja 7-722.312.2.1.)

3.3.2 Vaatimukset latausasemalle

Jokainen latauspiste on suojattava tavallisella enintään 30 mA:n vikavirrasta laukeavalla vikavirtasuojalla. VVSK:n on tarkkailtava kaikkien vaihejohtimien ja nollajohtimen välistä virtaeroa. Latausaseman vikavirtasuojan on tunnistettava vähintään sykkivä tasavirta ja vaihtovirta. Ajoneuvovalmistaja voi vaatia myös tasoitettua tasavirran tunnistuksen. Sa-

moin tasavirran tunnistus vaaditaan myös monivaiheisessa syötössä, jossa kuormituksen tarkoista ominaisuuksista ei olla varmoja. Käytännössä jokaisessa suuremmassa latausasemassa on monivaiheinen syöttö ja ajoneuvon laturi muuttaa vaihtovirran aina tasavirraksi. Näin ollen useimmiten on vaadittua käyttää B-tyyppin vikavirtasuojaa tai A-tyyppin vikavirtasuojaa ja tasasähkövikavirran tunnistinta. Joka tapauksessa vähintään A-tyyppin vikavirtasuojan käyttö on aina pakollista. Kuvassa 11 on B-tyyppin vikavirtasuojaa Enston valmistaman latausaseman sisällä. Kyseinen vikavirtasuojaa on tarkoitettu ulko-käyttöön ja siinä onkin merkintä -25 °C :n pakkasen kestosta. (14; 15, kohta 722.531.2.101.)



Kuva 11. B-tyyppin vikavirtasuojaa latausaseman sisällä.

Koska latausasemat asennetaan usein ulos, SESKOn lataussuositus ohjaa ottamaan sääolosuhteet huomioon. Latausaseman syöttöön käytetty piiri on hyvä mitoittaa kestämään hellekelit täydellä kuormalla. Laskennallisina arvoina käytetään 20 °C :n maan lämpötilaa ja 30 °C :n ilman lämpötilaa. Vastaavasti talviolosuhteet tulisi ottaa huomioon lumen kinostumisessa ja pölyämässä sekä maantiesuolan aiheuttamassa ruostumisessa. Vikavirtasuojan olisi kestävä vähintään -25 °C :n lämpötila ja liitäntäjohtoon olisi kestävä vähintään -35 °C :n lämpötila. Latausaseman koteloitualueen on oltava vähintään IP44, ja pistorasian alimman osan on oltava 0,5–1,5 metrin korkeudella maasta. Näillä kaikilla seikoilla varmistetaan latausaseman turvallinen käyttö ja toiminta ympäri vuoden.

Kuvassa 12 on ulkokäyttöön tarkoitettu sähköajoneuvon 1-vaihelatausasema autoliikkeen sisätiloissa. Latausaseman koteloiluokka IP54, joten sen pölysuojaus on vielä tiiviimpi kuin mitä standardi vaatii. Vaikka latausasema on sisätiloissa, näkyy kuvasta kuinka sen pistorasia on yli metrin korkeudella lattiatasosta estäen ylimääräisen lian menemisen sinne. Latausasema on BMW:n valmistama ja latauksessa oli kuvaushetkellä Mercedes-Benzin valmistama E-sarjan ladattava hybridi-auto. (14; 15, kohdat 722.512.2.101, 722.512.2.102 ja 722.512.2.105.)



Kuva 12. Sähköajoneuvon latausasema Espoon MetroAuton tiloissa.

Latausasema on sijoitettava mahdollisimman lähelle pysäköintipaikkaa, jossa sähköajoneuvoa ladataan. Näin varmistetaan liitäntäjohdon pituuden riittävyys ja ettei kiellettyjä jatkojohtoja käytetä. Julkisille alueille ja pysäköintipaikoille asennettavat latausasemat on myös suojattava mekaaniselta vahingoittumiselta. Suojaus voidaan toteuttaa joko sijoittamalla latausasema sellaiseen paikkaan, jossa vältetään kohtuullisesti ennakoitavien iskujen aiheuttamat vahingot tai käyttämällä yleistä tai paikallista mekaanista suojausta. Näillä tavoilla voidaan ennakoida mahdolliset kolarit ja töytäisyt latausasemiin ja minimoida vahingot kolarin sattuessa. Jos iskulta suojausta ei olisi, kasvaisi vahingoittuneesta latausasemasta saatavan sähköiskun riski. Kuvassa 6 näkyy, kuinka mekaaninen suojaus on toteutettu maahan upotetuilla tolilla latausaseman molemmin puolin. Kuvassa 13 taas on esimerkki latausaseman suojauksesta, joka on toteutettu sijoittamalla asema paikkaan, jossa vältetään todennäköisesti osumat. Molemmissa kuvissa olevat

latausasemat ovat julkisilla pysäköintialueilla, joten niissä on ollut pakko käyttää mekaanista suojausta. Kuvassa 13 suojaus on toteutettu kiinnittämällä latausasema pysäköintihallin betonipilariin lattiapinnan yläpuolelle. Näin mahdollinen töytäisy osuu todennäköisesti pilariin eikä latausasemaan. Kummastakin kuvasta näkyy myös kuinka latausasemat ovat sijoitettu aivan sähköajoneuvon pysäköintipaikkojen viereen varmistaen näin latauskaapelin pituuden riittävyyden. (15, kohdat 722.512.2.103 ja 722.552.101.2.)



Kuva 13. Sähköajoneuvon latauspiste kauppakeskus Jumbon pysäköintihallissa Vantaalla.

Latausasemasta on mitattava sen eristysvastus. Mittaus on suoritettava käyttäen 500 V:n tasajännitettä ja siinä täytyy ottaa huomioon jokainen latausasemaan tuleva ja siitä lähtevä vaihe- ja nollajohdin. Eristysvastuksen on oltava yli yhden MΩ:n suuruinen. Mitauksella varmistetaan, että mikään jännitteinen virta kuljettava johdin ei osu latausaseman runkoon. Jos jännitteinen johdin osuu aseman runkoon, on latausasemassa eristysvika ja se polttaa sulakkeen tai katkaisee virran johdonsuojakatkaisinta käyttäen. Mitauksessa käytetään suurta 500 V:n jännitettä, jotta varmasti saadaan esille mahdolliset eristysviat. (28, kohta 11.5.)

Latausaseman metallisista osista vuotavalle vuotovirrälle on määritelty huippuarvo. Vuotovirta saa olla maksimissaan 3,5 mA:n suuruinen. Tämä virta ei saa kuitenkaan laukaista vikavirtasuojaa. Metallikuorisissa suojamaadoitetuissa laitteissa on lähes aina vähäistä vuotovirtaa metallikuoresta. Vuotovirta johtuu pääasiassa latausaseman virtaläh-

teessä / muuntajassa olevasta suodatuskondensaattorista. Vuotovirtaa voidaan pienentää varmistamalla hyvä maadoitus, jolloin se tarjoaa virralle pieniresistanssisen reitin maahan. Näin virta ei kulje esimerkiksi ihmisen kautta maahan. Joka tapauksessa 3,5 mA:n vuotovirta on sen verran pieni, että se ei voi vahingoittaa ihmistä. (28, kohta 11.7.)

3.4 Vaatimukset latauskaapelille

Sähköajoneuvon vaihtosähkölatauksessa käytettäviä latauskaapeleita koskee Euroopan sähkötekniikan standardoimisjärjestön CENELECin laatima standardi EN 50620. Standardissa määritellään hyvin tarkasti kaikki sähköajoneuvojen latauskaapeleita koskevat vaatimukset, kuten esimerkiksi kaapelissa olevat pakolliset merkinnät (29, kohta 5.4), käytettävät materiaalit (29, kohta 6.1.1) ja johtimien värikoodit (29, kohta 6.3.4.2.2).

Tämän insinööriyön kannalta ehkä olennaisin asia standardissa on suositus siitä, kuinka paksut johtimet latauskaapelissa on oltava erisuuruisia latausvirtoja käytettäessä. Mitoitukset on tehty 30 °C:n ulkolämpötilan mukaan jatkuvalla kuormituksella (100 %:n kuormituskerroin). Taulukossa 1 näkyy johtimilta vaaditut poikkipinta-alat eri latausvirroilla niin yksivaiheisena kuin kolmivaiheisenakin. On kuitenkin huomattava, että lämpötilan kasvaessa kaapelin maksimikuormitettavuus putoaa. Ulkoilman lämmitessä esimerkiksi 10 astetta (°C) kaapelin suurin sallittu kuormitettavuus putoaa 18 %. (29, liite E.)

Taulukko 1. Johtimien poikkipinta-aloja vastaavat huippuvirrat (29, liite E, taulukko E.2).

Poikkipinta-ala (mm ²)	1-vaiheinen huippuvirta (A)	3-vaiheinen huippuvirta (A)
1,5	14	-
2,5	25	20
4	35	30
6	44	38
10	62	54
16	82	71
25	109	94
35	135	117

Taulukossa mainitut arvot ovat vain suosituksia, eli ne eivät ole velvoittavia. Ne ovat kuitenkin erittäin suositeltavia kaapelin kestävyys- ja viileänä pysymisen kannalta.

Suosituksia on annettu myös liitteessä B, johon on koottu esimerkiksi latauskaapelia koskevia rajalämpötiloja ja eri rasisasteita. Tästä liitteestä huomataan erityisesti vaatimus latauskaapelin minimiasennus- ja käsittelylämpötiloille. Latauskaapelilta vaaditaan

–35 °C:n lämpötilan kesto Euroopan joka maassa. Tämä on hieman kyseenalaista, sillä Etelä-Euroopassa ilmasto on hyvin erilainen kuin Pohjoismaissa. Näin kylmän lämpötilan keston vaatimus on hieman turhaa Euroopan joka maalle ja maakohtaiset vaatimukset olisivatkin sopivampia tähän kohtaan.

3.5 SFS 6000 -standardin uudistus syksyllä 2017

Työn kirjoitushetkellä julkaistiin uusi painos SFS 6000 -pienjännitesähköasennusstandardista. Standardiin on päivitetty vaatimuksia myös sähköajoneuvon latausasemille ja lataamiselle. Suurimmat muutokset standardin tässä osassa koskevat latausaseman ulkoista kestävyyttä, suojalaitteiden vaatimuksia ja pistorasiatyypin määrittelyä. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi oleellimmat muutokset vuoden 2012 painokseen verrattuna.

Päivitetty standardi vaatii latausasemalta joko B-tyyppin vikavirtasuojan tai vaihtoehtoisesti A-tyyppin vikavirtasuojan ja tasasähkövikavirtatunnistimen käyttöä. Molemmilla tavoilla voidaan suojautua vaihtosähkövikavirran lisäksi myös sykkivältä ja tasoitetulta tasasähkövikavirralla. Jos käytetään A-tyyppin vikavirtasuojaa ja tasasähkövikavirran tunnistinta, on jälkimmäisen lauettava jo enintään 6 mA:n vikavirrasta. Tämä vaatimus vastaa lataustavan 2 vikavirtasuojavaatimusta. Vuoden 2012 SFS 6000 -painoksessa ei vaadittu lataustavalta 3 vikavirralla suojaavan suojalaitteen laukeamista jo 6 mA:n vikavirrasta. Tämä olikin hieman ristiriitaista, kun se vaadittiin kuitenkin kotitalouspistorasiasta ladattaessa. Käytännössä monessa latausasemassa on sisällä tasasähkövikavirran tunnistin ja latausasemaa syöttävässä keskuksessa on A-tyyppin vikavirtasuoja. Jos latausaseman syöttöpiiri on sähköisesti erotettu, ei vikavirtasuojan käyttöä vaadita. (30, kohta 722.531.3.101.)

Ulkoisen kestävyuden vaatimukset riippuvat siitä mihin latausasema asennetaan. Jos asema asennetaan julkiselle paikalle, kuten kadunvarrelle tai julkiselle pysäköintipaikalle on aseman kestävä luokan IK10 mukainen ulkoinen isku ja mekaaniset testit. Jos asema asennetaan paikkaan, johon pääsy on rajoitettu (esimerkiksi yksityinen pysäköintialue tai yksityiskiinteistön piha) on aseman kestävä luokan IK07 mukainen isku. Suojaukseksi suositellaan kuitenkin kesto luokan IK08 mukaista iskua vastaan. Ulkotiloihin asennettavan aseman IP-luokituksen on oltava vähintään IP44 ja sisätiloihin asennettavan aseman vähintään IP41. (30, kohta 722.512.2.)

Latausaseman pistorasiatyyppien määrittely on tarkentunut. Tavallisissa (alle 22 kW) ja nopeissa (yli 22 kW) vaihtosähkölatausasemissa on käytettävä tyyppin 2 pistorasiaa. Tassähköä antavissa pikalatausasemissa on oltava tyyppin 2 CCS -pistokytkin. Pikalataukseen sallitaan käytettäväksi myös tyyppin 4 pistokytintä CCS-liittimen lisäksi. Vaihtosähkölatausasemassa (lataustapa 3) saa olla myös tavallinen suko-pistorasia. Nämä vaatimukset ovat luontevia, sillä ne noudattavat EU:n linjausta suositeltavista latauspistokytkimistä. Pistorasiat ja latausasemat on myös rakennettava ja sijoitettava siten, että latauskaapeliin ei kohdistu ylimääräistä mekaanista rasitusta esimerkiksi ajamalla sen yli. (30, kohdat 722.55.101.1 ja 722.55.102.04.)

Myös muita uusia vaatimuksia on tullut sähköajoneuvon lataamiselle. Latausaseman syöttämiseen käytettävästä virtapiiristä voidaan ottaa virtaa myös sähköajoneuvon lämmitykseen (30, kohta 722.314.101). Latausaseman ryhmäjohtoja suojaavat ylivirtasuojat (sulakkeet tai johdonsuojakatkaisimet) voivat sijaita sähkökeskuksessa, kiinteässä sähköasennuksessa tai latausasemassa (30, kohta 722.533.101). Suojamaadoitusjohtimessa kulkeva control pilot -signaali ei saa päästä kiinteään asennukseen (30, kohta 722.543.101). Latauspisteen on sijaittava vähintään kymmenen metrin päässä räjähdysvaarallisesta tilasta (30, kohta 722.55.102.01). IT-syöttöjärjestelmään kytketyn latausaseman eristysvastuksen valvonnalle on annettu uudet suositukset esivaroituksineen ja hälytyksineen (30, kohta 722.538.101.1). Lataustavalle 2 on tullut vaatimus, että liitäntäjohdossa oleva ohjaus- ja suojalaitteyksikkö on varustettava laitteilla, joilla se voidaan kiinnittää esimerkiksi seinään (30, kohta 722.55.102.02). Tämä helpottaa yksikön tukeamista ja pienentää näin pistorasiaan kohdistuvaa mekaanista rasitusta.

3.6 IEC 61851-1 -standardin uudistus keväällä 2017

Kansainvälinen sähkötekniikan standardisoimisjärjestö IEC julkaisi keväällä 2017 uuden painoksen standardista IEC 61851-1, joka koskee sähköajoneuvon lataamisen yleisiä turvallisuusmääräyksiä. Standardia on päivitetty aika paljon ja siihen on lisätty uusia asioita. Olennaisimmat muutokset vuoden 2012 painokseen verrattuna käydään seuraavissa kappaleissa läpi. Standardia ei ollut vielä työn kirjoitushetkellä hyväksytty viralliseksi Suomessa käytettäväksi SFS-standardiksi, minkä vuoksi sitä ei ole käytetty lähteenä muissa luvuissa. Virallinen hyväksyntä SFS-standardiksi tehdään todennäköisesti loppuvuodesta 2017 tai alkuvuodesta 2018.

IEC 61851-1 -standardiin on päivitetty sähköturvallisuusvaatimuksia. Nyt myös tämä standardi vaatii tasasähkövikavirroilta suojautumisen joko B-tyyppin vikavirtasuojalla tai A-tyyppin vikavirtasuojalla ja tasasähkövikavirran tunnistimella. Myös tämä standardi vaatii tasasähkövikavirran tunnistimen laukeavan 6 mA:n vikavirrasta. Tulevaisuudessa julkaistavassa IEC 62955 -standardissa tulee olemaan vaatimus tasasähkövikavirran tarkkailulaitteelle. Signaalipiireissä (control pilot ja proximity pilot) on käytettävä SELV- tai PELV-pienoisjännitteitä. (31, kohdat 8.5 ja 8.6; 31, kohta 12.2.7.)

Isoimmat uudistukset standardissa koskevat control pilot -signaalipiiriä. Päivitetty standardi mahdollistaa korkeataajuisen digitaalikommunikaation käytön control pilot -piirissä perinteiseen pulssinleveysmodulaatioon perustuvan kommunikaation lisäksi (31, liite A, kohta A.2.4). Pulssisignaaleille on annettu hyvin tarkat nousu- ja laskuajat, ja vaatimuksia lataustilojen muutoksille ja vikatilojen toiminnoille on täsmennetty (31, liite A, kohta A.3). Control pilot -järjestelmän testaamiseen käytettävät sähköajoneuvoa mallintava simulaattori ja testaustoimenpiteet ovat määritelty tarkasti (31, liite A, kohta A.4). Testaus on suunniteltu korkeataajuisen digitaalikommunikaation ja perinteisen PWM-kommunikaation yhtäaikaisen toiminnan varmistamiseksi.

Kokonaan uutena asiana liitteessä D on määritelty LIN-väylään (Local Interconnection Network) perustuva tiedonsiirto control pilot -piirissä. LIN-väyläteknikkaa käytetään ajoneuvoissa paljon ja se sopii hyvin sähköajoneuvon latausjärjestelmään yhden isännän ja usean orjan väylänä. Näin esimerkiksi latauskaapeli voi toimia myös kommunikoivana solmuna väylässä. LIN-väylään perustuva control pilot -piiri pohjautuu PWM-viestintää käyttävään piiriin, mikä helpottaa suunnittelijoita yhdistämään näitä tekniikoita käyttäviä latausasemia ja sähköajoneuvoja keskenään. LIN-väylän käytöstä sähköajoneuvon latauksessa on useita hyötyjä: molemminpuolinen kommunikaatio latausaseman ja ajoneuvon välillä helpottuu, vaiheiden virtarajoituksia voidaan ohjata yksitellen, lepotilan ohjaus on helppo toteuttaa ja se on lisäksi yksinkertainen, halpa ja riittävän nopea tiedonsiirtotekniikka. Vikadiagnostiikka on myös yksinkertainen toteuttaa väyläteknikan avulla. Edellä mainittujen ominaisuuksien ansiosta sähköajoneuvoa voidaan hyödyntää osana älykästä sähköverkkoa ollessaan kiinnitettynä latausasemaan. (31, liite D.)

Muut uudistukset standardissa koskevat muun muassa CCS-pikalatauksen täsmennystä (31, kohta 6.3.2.4) sekä latausasemassa olevien kytkimien (31, kohta 12.2.2), kontaktorin (31, kohta 12.2.3) ja releiden (31, kohta 12.2.5) tyyppien määrittelyä. Päivitetty standardi määrittelee asiat, jotka on mainittava latausaseman asennus- ja käyttöohjeissa sekä latauskaapelissa (31, kohta 16). Myös muita pieniä uudistuksia on tehty.

4 Vaihtosähkölatausaseman rakenne

Lataustavassa 3 käytettävän latausaseman rakenne on yksinkertaisimmillaan hyvin suoraviivainen. Yksinkertaisimmillaan siihen riittää liitäntä sähköverkkoon, kontaktoria ja signaalilinjoja (control pilot ja proximity pilot) ohjaava ohjainlaite, kontaktori ja pistorasia. Latausasemissa on myös erilaisia suojalaitteita lähes aina. Latausaseman rakennetta ja moduuleita käsitellään seuraavissa luvuissa tarkemmin.

4.1 Latausaseman liitäntä sähköverkkoon, suojalaitteet ja energian mittaus

Latausasema liitetään käytännössä aina sähköverkkoon, jossa on kaikki kolme vaihejohtinta (L1, L2 ja L3), nollajohdin (N) ja suojamaajohdin (PE). Liitäntä tapahtuu usein liitännällä sähköverkon paljaat johtimet latausaseman riviliittimeen. Joissain tapauksissa latausasema voidaan liittää sähköverkkoon myös käyttämällä kolmivaihepistorasiaa eli niin sanottua voimavirtapistorasiaa. Tällaista kytkentää voidaan käyttää esimerkiksi, jos latausasema on opetuskäytössä ja sitä tarvitsee siirtää. Näin latausasema voidaan myös irrottaa sähköverkosta helposti.

Kun johtimet ovat tulleet latausasemaan, on niihin kytketty yleensä heti kytkimiä, erilaisia suojalaitteita ja mittareita. Latausaseman pääkytkin on usein ensimmäinen elektroninen komponentti latausasemaan tulleissa johtimissa. Tämän jälkeen voi olla muita lisäsuojalaitteita kuten salaman iskun aiheuttamalta virtapiikiltä suojaava laite. Usein tässä on myös sulake tai sulakkeita suojaamassa latausaseman ohjainlaitetta. Tämän jälkeen voi olla energiamittari, joka mittaa kuinka monta kilowattituntia (kWh) energiaa latausasema on siirtänyt sähköverkosta sähköajoneuvoon. Euroopan unioni tulee todennäköisesti edellyttämään älykästä sähköenergian mittausta julkisilta sähköajoneuvojen latauspisteiltä (14). Suojalaitteisiin kuuluu myös lakisääteinen vikavirtasuojaja ja/tai tasasähkövika- virralta suojaava tunnistin. Vikavirtasuojaja on tarkemmin käsitelty luvuissa 3.3.2 ja 3.4. Vikavirtasuojassa voi olla myös etäohjattu testaus ja kuittaus, jotka on toteutettu sähkömoottorin avulla (32, s. 25). Vikavirtasuojan yhteyteen kytketty sähkömoottori näkyy osittain kuvan 11 alareunassa. Suuria virtoja kuljettavia johtimia suojaavat ylivirtasuojat (yleensä johdonsuojakatkaisijat) voivat sijaita joko latausasemassa tai sähkökeskuksessa.

4.2 Latausaseman ohjainlaite

Seuraavana virtapiirissä on latausaseman ohjainlaite, joka on aseman tärkein osa. Ohjainlaitteella on useita tehtäviä; se mittaa eri suureita, lähettää dataa, ohjaa kontaktoria ja niin edelleen. Ohjainlaitteella voi olla myös valinnaisia toimintoja kuten esimerkiksi näytön ohjaaminen tai latauksen tilaa näyttävien LED-valojen ohjaaminen. Ohjainlaitteeseen voi olla myös kytkettynä antenni, mikä mahdollistaa latausaseman etäohjauksen puhelinverkon tai langattoman verkkoyhteyden välityksellä (32, s. 25). Ohjainlaitteen toimintoja käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

4.2.1 Control pilot -signaali

Sähköajoneuvon latauksen kannalta tärkein data, jota ohjainlaite lähettää on control pilot -signaali. Control pilot -signaalin avulla latausasema viestittää sähköajoneuvolle mikä on huippuvirta, jolla sähköajoneuvoa voidaan ladata latausasemasta / jonka latausasema voi antaa. Viestintä tapahtuu pulssinleveysmodulaatiota (pulse-width modulation, PWM) hyödyntävällä signaalilla. PWM-kytkentäteknikassa käyttöjännite kytketään kokonaan kuormaan päälle ja pois toistaen tietyllä taajuudella. ON- ja OFF-tilojen välinen suhde määrittelee tiedon tyyppin. Tätä suhdetta sanotaan pulssisuhteeksi. Latausaseman ohjainlaite määrittää control pilot -signaalin pulssisuhteen yhtälön 1 mukaisesti, kun latauksen maksimivirta on 6 A:n ja 51 A:n välillä (28, liite A, taulukko A.5):

$$D = I/0,6 \quad (1)$$

jossa

D on pulssisuhde (%)

I on latauksen huippuvirta (6 A...51 A)

Yhtälöstä 1 saadaan laskettua esimerkiksi 32 A:n huippuvirtaa vastaava pulssisuhde:

$$D = \frac{32}{0,6} \% = 53,333 \dots \% \approx 53 \%$$

Yhtälöstä 1 myös huomataan, että pulssisuhde on aina suurempi tai yhtä suuri kuin 10 %, mutta pienempi tai yhtä suuri kuin 85 %, kun maksimivirta on 6 A:n ja 51 A:n välillä (28, liite A, taulukko A.5)

Kun latauksen maksimivirta on 51 A:n ja 80 A:n välillä, määrittää ohjainlaite pulssisuhteen yhtälön 2 mukaisesti (28, liite A, kohta A.5):

$$D = \left(\frac{I}{2,5} \right) + 64 \quad (2)$$

jossa

D on pulssisuhde (%)

I on latauksen huippuvirta (51 A...80 A)

Yhtälöstä 2 voidaan laskea esimerkiksi 63 A:n maksimilatausvirtaa vastaava pulssisuhde:

$$D = \left(\left(\frac{63}{2,5} \right) + 64 \right) \% = 89,2 \% \approx 89 \%$$

Kun latauksen huippuvirta on 51 A:n ja 80 A:n välillä, on pulssisuhde aina suurempi kuin 85 %, mutta pienempi tai yhtä suuri kuin 96 % (28, liite A, taulukko A.5).

Control pilot -signaalin pulssisuhteen tuottaa ohjainlaitteessa oleva oskillaattori. Oskillaattorin tuottaman signaalin positiivinen huippujännite on 12 V ja negatiivinen huippujännite on -12 V. Signaalin taajuus on yksi kilohertsi, jolloin yhden ON-OFF-kytkennän jaksonaika on yksi millisekunti. Pulssisuhteen toleranssi on ± 1 prosenttiyksikkö. Pulssisuhde voi olla myös 3 %...7 %, jolloin kyseessä on pikalataus (lataustapa 4) ja latausasema viestittää tästä. Pulssisuhde voi olla myös 8 %...10 %, jolloin latausasema viestittää, että maksimilatausvirta on 6 A. Vastaavasti 80 A:n maksimilatausvirran latausasema viestittää 96 %:n...97 %:n pulssisuhdeella. (28, liite A, kuva A.1, taulukko A.5 ja taulukko A.6.)

Kuten aikaisemmin mainittu, pienjännitesähköasennusstandardi SFS 6000 vaatii, että control pilot -signaali ei saa päästä syöttöjärjestelmän suojamaadoitusjohtimeen. Control pilot -järjestelmässä suojamaadoitusjohdin toimii signaalin paluujohtimena takaisin latausasemaan, joten virran kulkeutuminen syötön PE-johtimeen on mahdollista. Signaalin kulkeutuminen sähkönsyötön PE-johtimeen estetään käyttämällä ohjainlaitteessa galvaanista erotusta suojamaadoitusten välillä. Tällä tavalla suojamaadoitusjohdin eristetään eri potentiaaliin ohjainlaitteessa ja estetään näin virran kulkeutuminen ohjainlaitteesta syöttöjohtimiin päin.

4.2.2 Jännitteen, vastuksen ja virran mittaus

Latausaseman ohjainlaitteella on oltava mittaavia ominaisuuksia. Siinä on oltava mitausmahdollisuudet tavallisille sähkötekniikan suureille. Yksi näistä mitattavista suureista on control pilot -signaalipiirin *huippujännite*. Ohjainlaitteen on mitattava tätä jännitettä, sillä sen avulla sähköajoneuvo viestii latausasemalle mikä on latauksen tila. Latausaseman ohjainlaite lukee siis signaalin positiivista huippujännitettä, jota signaalipiirissä oleva sähköajoneuvon puoleinen laturin ohjainlaite muokkaa vastuskytkentöjä käyttämällä. Taulukosta 2 näkyy, mikä on latauksen tila tietyillä jännitearvoilla. Latausaseman ohjainlaite mittaa jännitettä control pilot -johtimen ja suojamaadoitusjohtimen väliltä. (28, liite A, taulukko A.3.)

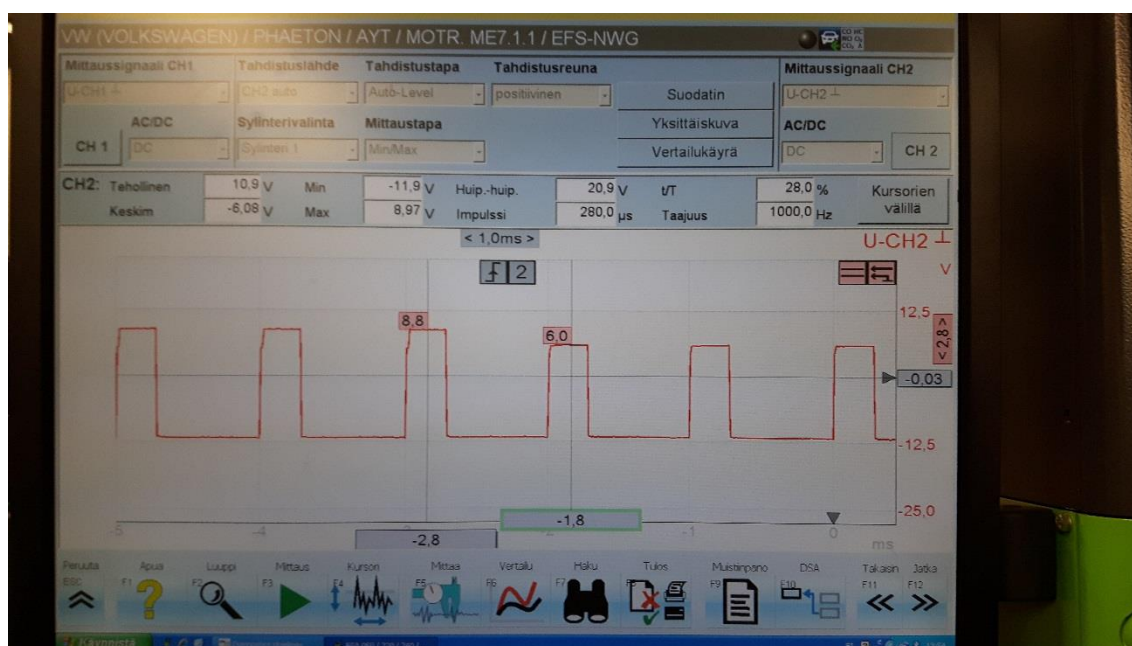
Taulukko 2. Sähköajoneuvon latauksen tila tietyillä jännitearvoilla (28, liite A, taulukko A.3).

Tila	Latauksen tila	Jännite (V)
A	Valmiustila	12
B	Ajoneuvo kiinnitetty	9 (± 1)
C	Lataustila	6 (± 1)
D	Lataus tuuletuksella	3 (± 1)
E	Latausasema sammutettu	0
F	Vikatila	-12

Hyvin harva nykyaikainen sähköajoneuvo vaatii taulukossa 1 näkyvää latausta tuuletuksella (tila D). Osa niin sanotuista avoimista akkutyypeistä päästää ladattaessa vaarallista vetykaasua. Suljetussa tilassa vetykaasu aiheuttaa räjähdysvaaran, kun sen tilavuusprosentti ilmaan suhteutettuna on yhden ja 25:n välillä. Käytännössä kaikissa sähköajoneuvoissa on nykyään suljettu litiumioniakku tai litiumkemialla hyödyntävä akku, jotka eivät päästä vaarallista vetykaasua. Vaikka sähköajoneuvossa olisi vetykaasua päästävä akusto kuten esimerkiksi avoin lyijy- tai sinkki-ilma-akusto, vaatii se latausasemaan kytketyn tuuletusjärjestelmän (ilman tulo- ja poistopuhallin) käyttöä vain sisätiloissa ladattaessa. Tällainen latausyhdistelmä on nykypäivänä hyvin harvinainen. Sisätiloissa olevalle latausasemalle vaaditaan tuuletusjärjestelmän käyttöä vain Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Sisätiloissa olevan latausaseman on mentävä vikatilaan, jos sähköajoneuvo pyytää latausta tuuletuksella ja latausasemaan ei ole kytketty tuuletusjärjestelmää. (33, s. 17; 28, kohta 11.2.)

Kuva 14 havainnollistaa hyvin taulukon 2 tietoja sähköajoneuvon latauksen tilasta jännitetason suhteen. Kuvaajasta näkyy selvästi, kuinka control pilot -signaalin positiivinen huippujännite putoaa 8,8 voltista 6 volttiin. Näin latauksen tila muuttuu B:stä C:hen taulukon 2 mukaisesti. Tässä kohdassa ajoneuvo siis aluksi viestittää latausasemalle, että

se on kiinnitetty asemaan kunnolla ja pudottaa sitten signaalin huippujännitettä vastuskytkennällä pyytäen näin latausasemalta latauksen aloittamista. Jännite ei ole aluksi tasan 9 voltia, sillä sille on annettu toleranssi ± 1 voltti, mikä näkyy myös taulukosta 2. Kuva 14 havainnollistaa myös kappaleen 4.2.1 tietoa PWM-kytkentätekniiikan pulssisuhteen käytöstä latausaseman ja auton välisessä viestinnässä. Latausaseman lähettämän signaalin pulssisuhde kuvassa on 28 %. Tästä voidaan laskea yhtälöä 1 käyttäen, että suurin sallittu latausvirta oli sillä hetkellä vajaa 17 A. Kuvaajan piirtämiseen on käytetty Bosch FSA 740 -ajoneuvoanalyysilaitteen oskilloskooppityökalua. Jännitettä mitattiin Ensto Chago Pro EVF200 -latausaseman sisältä control pilot -johtimen ja suojamaadoitusjohtimen väliltä, kun asemaan oli kiinnitetty Tesla Model S -sähköauto.



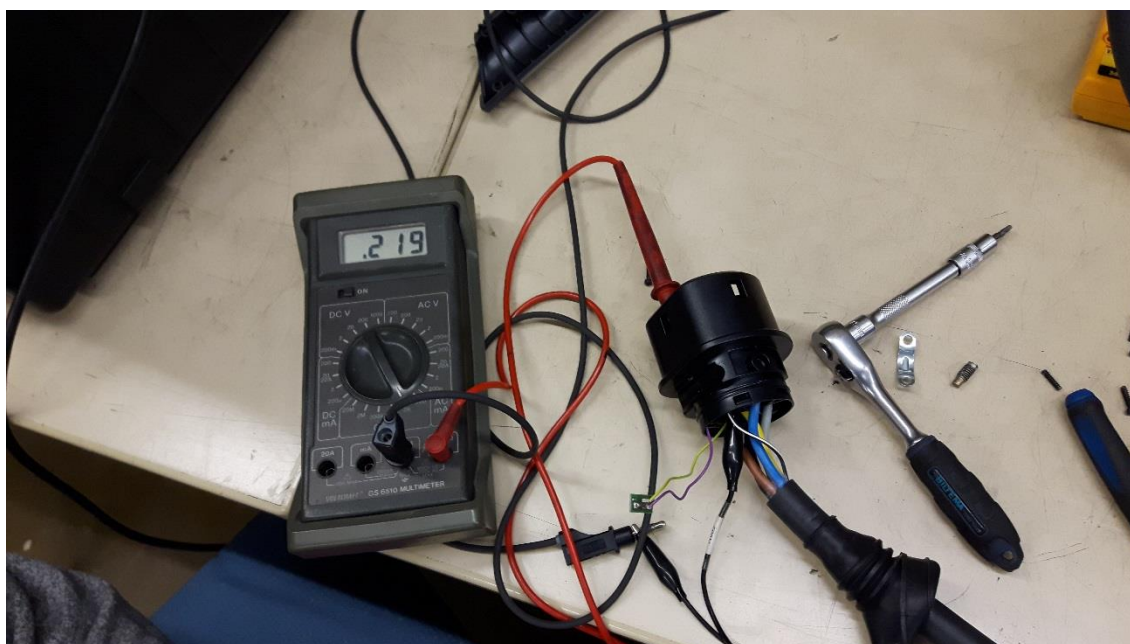
Kuva 14. Oskilloskoopilla mitattu control pilot -signaali sähköajoneuvon latausasemasta.

Latausaseman ohjainlaitteen on myös mitattava proximity pilot -piirissä olevaa *vastusta* proximity pilot -johtimen ja suojamaadoitusjohtimen väliltä. Kuten aikaisemmin mainittu, vastuksen arvo määrittelee liitäntäjohdon maksimivirran. Vastus sijaitseekin usein liitäntäjohdon sähköauton puoleisen pistokytken sisällä proximity pilot -johtimen ja suojamaadoitusjohtimen välillä. Vastuksella on myös toinen tehtävä piirissä: sen avulla latausasema tunnistaa, että latauskaapeli on kiinnitetty kunnolla ja viestintä sähköajoneuvon ja latausaseman välillä voi alkaa control pilot -piiriä käyttäen. Taulukossa 3 näkyy vastusarvoja vastaavat liitäntäjohdon maksimikuormitettavuudet.

Taulukko 3. Latauskaapelin maksimivirta tietyillä vastusarvoilla (28, liite B, taulukko B.3).

Latauskaapelin maksimivirta (A)	Vastus (Ω)
13	1500
20	680
32	220
63 (3 vaihetta) / 70 (1 vaihe)	100

Vastusarvolle on annettu toleranssi $\pm 3\%$ ja vastuksella vaikuttava teho ei saa myöskään olla yli 0,5 W (28, liite B, taulukko B.3). Jos liitäntäjohton mitoitusvirta on pienempi kuin mitä latausasema voi antaa, täytyy latausaseman muuttaa control pilot -signaalipiirin pulssisuhdetta vastaamaan latauskaapelin maksimivirtaa (34). Näin ollen esimerkiksi 20 A:n virrälle mitoitetulla kaapelilla ei voida ladata esimerkiksi 32 A:n virralla. Kuvassa 15 näkyy selvästi puretusta liitäntäkaapelin pistokytimestä mitattu vastus proximity pilot -johtimen ja suojamaadoitusjohtimen väliltä. Puretun pistokytimen latauskaapelin maksimivirta on 32 A ja sitä vastaava vastusarvo on siis 220 Ω taulukon 2 mukaisesti. Mittalaitteena käytetty yleismittari näyttää kuitenkin vastukseksi 219 Ω , mutta se menee vielä hyvin vastukselle sallittuun $\pm 3\%$:n toleranssiin. Mittauksessa käytetty yleismittari on Voltcraft GS 6510 ja liitäntäjohto on Phoenix Contactin valmistama EV-T2G3PC-3AC32A.



Kuva 15. Vastusmittaus proximity pilot -piiristä.

Latausaseman ohjainlaitteen on kyettävä mittamaan *sähkövirtaa* tai -virtoja. Tärkein virta, jota sen on mitattava, on sähköajoneuvon latausvirta. Aseman ohjainlaitteen on

tarkkailtava, että ajoneuvo noudattaa control pilot -signaalin pulssisuhteen avulla viestittyä latauksen maksimivirtaa. Jos sähköajoneuvo ottaa latausasemasta ja sähköverkosta enemmän virtaa kuin mitä latausasema sallii, on latausaseman katkaistava virran kulku pistorasiaan. Latausvirran mittauksen vuoksi ohjainlaitteelle menee tieto latauksessa mahdollisesti tapahtuneesta oikosulusta. Näin ohjainlaitteesta voidaan lukea esimerkiksi milloin latauksessa on ollut oikosulun aiheuttamaa huomattavaa ylivirtaa. Latausvirran mittaamisessa käytetyt pihtivirtamittarit näkyvät kuvassa 16. Pihtivirtamittarit ovat ruskean, mustan ja harmaan vaihejohtimen ympärillä (L1, L2 ja L3), ja kuvassa niiden oikealla puolella näkyy liitäntä pistorasiaan. Sähkömagneettiseen induktioon perustuvat pihtivirtamittarit ovat juuri sopivat latausvirran mittaukseen, sillä tavallista virtamittausta käyttäessä vaihejohtimet pitäisivät katkaista ja laittaa väliin virtamittarit. Pihtivirtamittareita käyttämällä vältetään siis virtapiirin katkaisu ja ylimääräiset liitokset, jolloin piriin resistanssi pysyy mahdollisimman pienenä.



Kuva 16. Latausaseman latausvirran pihtivirtamittarit.

Ohjainlaite hyödyntää latausvirran tietoa myös energian kulutuksen laskemisessa. Sähköenergian määrä lasketaan jännitteen, virran ja käytetyn ajan tulona, joten ohjainlaite saa laskettua näiden suureiden avulla sähköverkosta sähköajoneuvoon siirretyt kilowattitunnit. Energian mittauksessa ohjainlaite tekee yhteistyötä asemassa olevan erillisen energiamittarin kanssa. Jotkut latausasemat voivat mitata myös muita ohjausjärjestelmän virtoja kuten esimerkiksi control pilot -signaalin virtaa.

4.3 Kontaktori, pistorasiat ja muut toiminnot

Kun latausvirtaa kuljettavat kaapelit menneet suojalaitteiden ja mittareiden läpi, on edessä *kontaktori*. Kontaktori on käytännössä rele, jolla ohjataan suuria virtoja ja jännitteitä. Toimintaperiaate on siis sama kuin releellä: pienellä ohjausvirralla voidaan kytkeä päälle ja katkaista suurempia virtoja ja jännitteitä. Sähköajoneuvon latausasemassa ohjausvirta kontaktorille tulee latausaseman ohjainlaitteelta. Ohjainlaite kytkee kontaktorille ohjausvirran, kun kaikki latauksen ehdot täyttyvät. Vaikka ohjainlaite olisi kytkenyt kontaktorille ohjausvirran mahdollistaen näin latauksen alkamisen, niin lataus ei luonnollisesti voi alkaa, jos esimerkiksi vikavirtasuojan tai ylivirtasuojan laukeaminen on katkaisut latausvirran kulun kontaktorille asti. Näin ollen jokaisen turvallisuustekijän ja latauksen ehdon on oltava kunnossa ennen kuin virtaa päästetään kontaktorilta eteenpäin. Kuvassa 17 näkyy Ensto Chago Pro -latausaseman sisällä oleva kontaktori, joka on merkitty K1-tarralla. Kontaktorin keskimmäiset liittimet (A1 ja A2) ovat ohjausvirtaa kuljettaville johtimille ja loput liittimet ovat latausvirtaa kuljettaville johtimille.



Kuva 17. Kontaktori Enston valmistaman latausaseman sisällä.

Kontaktorilta latausvirta menee *pistorasialle*. Euroopassa pistorasia on tavallisesti tyyppiä 2 ja Yhdysvalloissa tavallisesti tyyppiä 1. Joissain latausasemissa voi olla myös perinteisiä suko-pistorasioita (32, s. 3). Tyyppin 2 pistorasiassa on oltava standardien SFS-EN 62196-1 ja SFS-EN 62196-2 mukaisesti lukitussalpa, joka estää pistokytkimen irrottamisen latausasemasta, kun latauskaapelissa kulkee virtaa (35, kohta 14.1.1; 36, kohta

7.4). Lukitussalvan ohjaus on toteutettu sähkömoottorilla, jota latausaseman ohjainlaite ohjaa. Tarkastellun latausaseman lukitussalvan ohjauksessa on lisäksi toiminto, joka mahdollistaa latauskaapelin irrottamisen asemasta, vaikka sähkösyöttö katkeaisi sähköverkon puolelta. Lukitussalvaa ohjaavassa virtapiirissä on kondensaattori, johon on varastoitunut varavirtaa sen verran, että se riittää avaamaan salvan, jolloin sähköauton käyttäjä saa latauskaapelin irti asemasta.

Pistorasiaa koskee myös vaatimus, että sen virtaa johtaviin osiin pitäisi olla varastoituneena alle 20 joulea sähköenergiaa ja alle 42,4 voltia vaihtojännitettä (huippuarvo) tai alle 60 voltia tasajännitettä yksi sekunti latauskaapelin irrottamisen jälkeen (28, kohta 7.2.3.1). Latausasemassa on oltava varoitusteksti, jos nämä arvot eivät toteudu. Kun latausasemaa ei käytetä, pistorasiaa voi suojata esimerkiksi saranoitu suojakansi. Kuvasssa 18 näkyy tyypin 2 pistorasian päältä nostettu saranoitu suojakansi.



Kuva 18. Tyypin 2 pistorasia latausasemassa.

Latausasemassa voi olla *muuta vaihtoehtoisia toimintoja*. Nämä toiminnot vaihtelevat hyvin paljon aseman valmistajasta riippuen. Julkisissa latausasemissa on usein RFID-tunnistus (radio frequency identification, radiotaajuinen etätunnistus). Näin latausasemaa voi käyttää vain aktivoituilla tunnistilla ja sähkönkulutus voidaan yksilöidä tietyille tunnistelle helpottaen esimerkiksi laskutusta aseman käytöstä. Lähes aina myös latauksen

lopettamiseksi vaaditaan tunnisteen käyttöä, jolloin kuka tahansa ei voi irrottaa pistokytintä latausasemasta. Kuvassa 19 on Enston valmistaman latausaseman RFID-lukutaso ja sen yläpuolella suojakannella peitetty pistorasia.



Kuva 19. Sähköajoneuvon latausaseman RFID-lukutaso ja pistorasia.

Julkisia latausasemia on usein mahdollista hallinnoida etänä esimerkiksi mobiilidatayhteyden tai langattoman verkkoyhteyden välityksellä. Mobiiliyhteydessä tarvittava SIM-kortti näkyykin kuvan 17 alareunassa kontaktorin alapuolella. Etähallinnan avulla latausasema voidaan käynnistää uusiksi, voidaan aloittaa ja lopettaa lataus sekä testata moottoroitu vikavirtasuojajärjestelmä etäohjattuna. Monissa latausasemissa on mahdollista pienentää latauksen huippuvirtaa syöttöjohtimien mitoituksen mukaan. Pistorasiassa olevan pistokytimen lukitussalvan hätäavausjärjestelmä on mahdollinen. Tällä tavalla latauskaapeli ei jää asemaan jumiin, jos tulee sähkökatko. Muina lisäominaisuuksina asemassa voi olla esimerkiksi LED-valoja ja näyttöjä, jotka näyttävät lataukseen ja asemaan liittyviä tietoja sekä RFID-tunnistuksen tilalla kytkin, jota painamalla lataus voidaan aloittaa ja lopettaa. Kaikki tässä kappaleessa mainitut toiminnot ovat latausaseman ohjainlaitteen ohjaamia.

5 Yhteenveto ja pohdinta

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää mitkä eri standardit ja vaatimukset koskevat sähköajoneuvon vaihtosähkölatausasemia ja mistä eri osista asema rakentuu. Työn tavoitteena oli tuottaa lähdemateriaalia niin opettajille, opiskelijoille, sähköurakoitsijoille kuin itserakentelijoillekin. Sähköajoneuvoihin liittyvä tekniikka on kohtuullisen tuoretta, joten siihen liittyvää tietoa on vain vähän saatavilla. Polttomoottoriautojen tekniikkaan liittyviä asioita löytyy internetistä hyvinkin paljon, mutta sähköautotekniikasta on selvästi vähemmän tietoa. Sähköautotekniikasta on myös liikkeellä paljon väärää tietoa ja luotettavia lähteitä voi olla hankala erottaa epäluotettavista. Tätä työtä voidaanakin käyttää hyvänä materiaalina, kun halutaan esimerkiksi itse rakentaa latausasema ja selvittää mitä kaikkia asioita siinä on otettava huomioon.

Työstä syntyi kattava kirjallisuustutkielma, jossa käydään selvästi läpi latausasemiin liittyvät standardit ja latausasemien rakenne. Työn kirjoitushetkellä julkaistiin uusi painos SFS 6000 -standardista, jossa on huomattavasti enemmän vaatimuksia latausasemalle kuin vuonna 2012 julkaistussa painoksessa. Tästä voidaan päätellä, että latausasemia koskevat vaatimukset hakevat vielä muotoaan ja tulevaisuudessa julkaistavassa pienjännitestandardissa on todennäköisesti vielä tarkemmat vaatimukset sähköajoneuvon lataamisella ja latausasemille. Latausasemien rakenteeseen ja ominaisuuksiin voi tulla tulevaisuudessa myös pieniä muutoksia. Nämä asiat on hyvä ottaa huomioon käytettäessä työtä lähdemateriaalina muutaman vuoden päästä.

Työn yhteyteen olisi luontevasti sopinut valmistaa itse latausasema, kun kaikki siihen liittyvät seikat on selvitetty. Ajankäytöllisistä syistä latausasemaa ei valmistettu. Latausaseman rakentaminen olisi kuitenkin ollut hyvin mielenkiintoinen projekti. Kuten käsitteilykappaleissa on mainittu, kovin erikoisesta sähkölaitteesta ei ole kysymys. Suojalaitteilla, ohjainlaitteella, kontaktorilla ja pistorasialla pääsee jo hyvin pitkälle. Latausaseman rakentaminen voisikin olla tulevaisuudessa jatkokehityskohde tälle työlle. Samalla voisi edelleen kartoittaa mitä päivitettyjä standardeja ja vaatimuksia sähköajoneuvon lataamiselle on mahdollisesti tullut. Tässä työssä ei myöskään käsitelty tasasähköllä toimivaan pikalataukseen, langattomaan lataukseen (induktiivinen lataus) ja akkujen vaihtoon liittyviä standardeja, joita olisi hyvä selvittää. Sähköauton lataaminen älykkäässä sähköverkossa olisi myös mielenkiintoinen selvityskohde.

Työtä tehdessä havaittiin, että standardeissa on muutamia tulkinnanvaraisuuksia ja epäselvyyksiä. Etenkin päivitetyn SFS 6000:n vikavirtasuojavaatimus latausasemalle on silmiinpistävä. B-tyyppin vikavirtasuojan vähittäismyyntihinta on noin tuhat euroa, joten käytännössä sitä ei todennäköisesti moni urakoitsija asenna. Sekään ei ole selvää kuinka monessa latausasemassa oikeasti on 6 mA:n tasasähkövikavirran tunnistin. Yleensäkin tasavikavirran tunnistuksen vaatiminen on hieman kyseenalaista. Tasasähköä oleva vikavirta voi esiintyä vain jos sähköajoneuvon akustoa lataava laturi vioittuu ja vuotaa tasasähköä auton runkoon tai jos korkeajänniteakusto alkaa purkaa itseään ajoneuvon runkoon. Nämä tapaukset ovat hyvin epätodennäköisiä ja latauskaapelissa on joka tapauksessa oltava suojamaadoitusjohdin, joten sähköiskun saaminen ajoneuvon runkoa koskettaessa on käytännössä jo muutenkin mahdotonta.

Sähköajoneuvon lataamiseen käytettäviä pistorasioita koskee muutama askarruttava vaatimus. Pienjänniteasennusstandardi SFS 6000 vaatii ulos sijoitetun sähköajoneuvon lataamiseen tarkoitetun pistorasian kotelointiluokaksi IP44 ja iskunkestävyysluokaksi vähintään IK07, kun rasia on yksityiskäytössä. Monen ulos asennetun niin sanotun piharasian kotelointiluokka on IP34, joten niitä ei saisi tämän tulkinnan mukaan käyttää sähköauton lataamiseen. Iskunkestävyysluokan vaatimuksen mukaan alemmaa luokkaa olevan ulkopistorasian käyttäminen sähköajoneuvon lataamiseen on kiellettyä. On epäselvää saako tällaista pistorasiaa edes asentaa, jos on tiedossa, että sitä käytetään sähköauton lataamiseen.

Edellä mainittuja epäselvyyksiä kysyttiin myös Suomen sähkötekniikan standardoinnista vastaavalta SESKO ry:ltä. Vikavirtasuojan sijaintiin heidän kantansa oli se, että sen olisi hyvä sijaita mahdollisimman lähellä kuormaa (ladattavaa sähköautoa), jolloin sähkökeskukseen ei vaadita omaa vikavirtasuojaa. Tämäkin oli hieman epäselvää, sillä yleensä vikavirtasuojan on sijaittava sähkökeskuksessa. Vikavirtasuojien tyyppivaatimuksiin he vastasivat, että ne koskevat lähinnä latausasemien valmistajia. Sähköurakoitsijan täytyy toki selvittää millaiset suojalaitteet eri latausasemat vaativat ja tilata vaatimuksia vastavia tuotteita. Pistorasian kotelointiluokituksen vaatimus on täysin yksiselitteinen: ulos asennettavan sähköajoneuvon lataamiseen käytettävän rasian on oltava vähintään IP44-luokkaa ja sisälle asennettavan rasian vähintään IP41-luokkaa. Alle IK07-iskunkestävyysluokkaa olevaa pistorasiaa taas voi käyttää tilapäiseen sähköauton lataamiseen. Mikään ei myöskään estä asentamasta ulkopistorasioita normaalin käytännön mukaan ja kukaan ei erityisesti valvo näiden pistorasioiden käyttöä. (37.)

Lopputulena sähköautojen lataamiseen liittyvät standardit ovat ajan tasalla. Sähköturvallisuutta lisäävät suojalaitteet ja vaatimukset ovat vain ja ainoastaan hyvä asia, kun kyseessä ovat hengenvaaralliset virrat ja jännitteet. Sähköautojen yleistyessä standardeihin ja latausasemien rakenteisiin tulee ainakin muutamia muutoksia ja lisäyksiä. Suomessa avattiin syksyllä 2017 ensimmäinen niin sanottu kaksisuuntainen latausasema, jossa sähköauto toimii energiavarastona ja osana sähköverkkoa tasaten ja ehkäisten verkon häiriötiloja (38). Sähköverkon kuormituksen mukainen lataus tulee myös yleistymään. Tällöin sähköajoneuvon käyttäjä voi pyytää latausasemalta akuston lataamista silloin, kun verkon kuormitus on pienimillään ja sähkön hinta alhaisimmillaan. Nämä älykkäeseen sähköverkkoon liittyvät sähköautojen latausasiat tulevat todennäköisesti muuttamaan standardeja ja latausasemia ainakin jonkin verran.

Lähteet

- 1 Sähkökäyttöiset henkilöautot merkeittäin, malleittain, käyttölajeittain ja maakunnittain. 2017. Verkkodokumentti. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. <https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokannan_kayttovoimatilastot>. Luettu 20.8.2017.
- 2 Timeline: History of the Electric Car. 2014. Verkkodokumentti. United States Department of Energy. <<https://energy.gov/articles/history-electric-car>>. Luettu 21.8.2017.
- 3 Pusula, Ismo & Vento, Antti. 2017. Henney Kilowatt -sähköauton lataus- ja sähköjärjestelmän kunnostus. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 A step forward for global EV roll-out. 2011. Verkkodokumentti. International Electrotechnical Commission IEC. <<http://www.iec.ch/newslog/2011/nr0411.htm>>. Luettu 21.8.2017.
- 5 Marucci, Todd. 2013. How the J1772 charging standard for plug-in vehicles works. Verkkodokumentti. EDN. <<http://www.edn.com/electronics-blogs/automotive-currents/4421241/How-the-J1772-charging-standard-for-plug-in-vehicles-works>>. Luettu 21.8.2017.
- 6 Tuite, Don. 2012. Understanding U.S. And European Standards For Electric-Vehicle Charging. Verkkodokumentti. ElectronicDesign. <<http://www.electronic-design.com/power/understanding-us-and-european-standards-electric-vehicle-charging>>. Luettu 21.8.2017.
- 7 EV Connectors & EV Charging Cables. Verkkodokumentti. Electric Vehicle Charging Solutions and Accessories Across Australia & New Zealand. <<https://www.evse.com.au/ev-charging-cables-leads/>>. Luettu 21.8.2017.
- 8 The solution for Europe: Type 2 charging socket with or without shutter. Verkkodokumentti. Mennekes Solutions. <http://www.mennekes.de/uploads/media/Type2_with_Shutter_01.pdf>. Luettu 21.8.2017.
- 9 Schneider Electric, Legrand and Scame Create EV Plug Alliance. 2010. Verkkodokumentti. Green Car Congress. <<http://www.greencar-congress.com/2010/03/evplug-20100328.html>>. Luettu 21.8.2017.
- 10 EV Plug Alliance announces availability of products and new members. 2010. Verkkodokumentti. Schneider Electric. <http://www2.schneider-electric.com/corporate/en/press/press-releases/viewer-press-releases.page?c_filepath=/templatedata/Content/Press_Release/data/en/shared/2010/09/20100920_ev_plug_alliance_announces_availability_of_products_and_new_members.xml>. Luettu 21.8.2017.

- 11 Latausasemat. 2013. Verkkodokumentti. Garo. <http://www.garo.fi/fileadmin/garofi/Kataloger/AU/Latausasemat_05-13.pdf>. Luettu 21.8.2017.
- 12 How it works. Verkkodokumentti. evChargeking. <<https://www.evchargeking.com/en/t/charginginfo>>. Luettu 21.8.2017.
- 13 Sähköautot ja latausjärjestelmät. Verkkodokumentti. SESKO ry. <http://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat>. Luettu 22.8.2017.
- 14 Lataussuositus 2014. Verkkodokumentti. SESKO ry. <http://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/lataussuositus_2014>. Luettu 22.8.2017.
- 15 SFS 6000. Pienjännitesähköasennusstandardi. 2012. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 16 Linja-aho, Vesa. 2016. Sähköautoon kotipistorasiasta jatkossa vain 8 ampeerin virtaa. Verkkodokumentti. Elektroniikkalehti. <http://etn.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=5562>. Luettu 22.8.2017.
- 17 High Power. Verkkodokumentti. CHAdeMO. <<https://www.chademo.com/technology/high-power/>>. Luettu 22.8.2017.
- 18 Technology Overview. Verkkodokumentti. CHAdeMO. <<https://www.chademo.com/technology/technology-overview/>>. Luettu 22.8.2017.
- 19 CHAdeMO - Electric Vehicle Chargers. Verkkodokumentti. SolvingEV. <<http://solvingev.com/charger-type/chademo>>. Luettu 22.8.2017.
- 20 Combined Charging System (CCS). Verkkodokumentti. Phoenix Contact. <https://www.phoenixcontact.com/online/porta/fi?1dmy&urile=wcm:path:/fifi/web/main/products/subcategory_pages/Pre_assembled_charging_cable_P-29-03/3f34965c-f842-4adc-a9f6-28126dc0a51a/3f34965c-f842-4adc-a9f6-28126dc0a51a>. Luettu 23.8.2017.
- 21 What is the Combined Charging System (CCS)? Verkkodokumentti. CharIN e. V. <<http://www.charinev.org/ccs-at-a-glance/what-is-the-ccs/>>. Luettu 23.8.2017.
- 22 SAE Combo Charging System (CCS). Verkkodokumentti. Green Transportation. <<https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-super-charger-etc.html>>. Luettu 23.8.2017.

- 23 CCS - Combined Charging System. Verkkodokumentti. DIY Electric Car. <<http://www.diyelectriccar.com/forums/showthread.php/ccs-combined-charging-system-165129.html>>. Luettu 23.8.2017.
- 24 Teslan huippunopeat latauspisteet myös Suomeen. Verkkodokumentti. Plugit Finland. <<https://plugit.fi/fi-fi/article/infrastrukturi/teslan-huippunopeat-latauspisteet-myos-suomeen/208/>>. Luettu 23.8.2017.
- 25 Supercharger. Verkkodokumentti. Tesla Suomi. <https://www.tesla.com/fi_FI/supercharger>. Luettu 23.8.2017.
- 26 D1-2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2012. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 27 SFS-EN 62752. In-cable control and protection device for mode 2 charging of electric road vehicles (IC-CPD). 2016. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 28 SFS-EN 61851-1. Electric vehicle conductive charging system - part 1: general requirements. 2012. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 29 EN 50620. Electric cables - Charging cables for electric vehicles. 2017. Bryssel (Belgia): CENELEC.
- 30 SFS 6000. Pienjännitesähköasennusstandardi. Osa 7-722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. 2017. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 31 IEC 61851-1. Electric vehicle conductive charging system - part 1: general requirements. 2017. Geneve (Sveitsi): IEC.
- 32 Chago Pro -latausaseman asennus- ja käyttöohje. 2016. Porvoo: Ensto Chago Oy.
- 33 Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines. Verkkodokumentti. Electric Transportation Engineering Corporation. <<http://vancouver.ca/files/cov/EV-deployment-guidelines.pdf>>. Luettu 19.9.2017.
- 34 EV-T2G3PC-3AC32A-latauskaapelin turvallisuus- ja käyttöohje. 2016. Blomberg (Saksa): Phoenix Contact GmbH.
- 35 SFS-EN 62196-1. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 1: General requirements. 2015. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 36 SFS-EN 62196-2. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories. 2017. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

- 37 Nurmi, Tapani. 2017. Tekninen johtaja, SESKO ry, Helsinki. Vastaus sähköpostitiedusteluun. 23.11.2017.
- 38 Galkin-Aalto Marina. 2017. Suomen ensimmäinen kaksisuuntainen latauspiste Helsinkiin. Verkkodokumentti. HELEN. <<https://www.helen.fi/uutiset/2017/V2G/>>. Luettu 30.11.2017.