

Eero Wahlman

Sähköajoneuvon tasasähkölatausta koskevat vaatimukset ja latausaseman rakenne

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

22.5.2019



Tekijä Otsikko	Eero Wahlman Sähköajoneuvon tasasähkölatausta koskevat vaatimukset ja latausaseman rakenne
Sivumäärä Aika	37 sivua 22.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Vesa Linja-aho
<p>Tämän insinööriyön tarkoitus on selvittää kirjallisten lähteiden perusteella sähköautojen pikalatausaseman rakennetta, toimintaperiaatetta sekä latausasemalle asetettuja vaatimuksia. Työ on toteutettu kirjallisuustutkielmana. Lähteinä on käytetty alan standardeja, autovalmistajien julkaisuja ja muita alan julkaisuja.</p> <p>Työn aluksi käydään läpi sähköauton latausta yleisesti. Työssä luodaan katsaus lataustapoihin ja selvitetään, mitä eroa on vaihtosähkö- ja tasasähkölatauksella. Käytössä olevat latauspistokkeet käydään läpi niin vaihtosähkölatauksen kuin tasasähkölatauksenkin osalta. Eri lataustapojen ja tyypitettyjen pistokkeiden hyväksytyt maksimilatausnopeudet on myös selvitetty.</p> <p>Tasasähkölatausaseman rakennetta tarkastellaan alaan liittyvien standardien kautta. Latausaseman ja ladattavan auton välillä käytävä tiedonsiirto selvitetään. Työssä esitellään myös latauslaitteelle asetetut turvallisuuteen liittyvät vaatimukset. Lisäksi selvitetään, min-kälaisia mekaanisen vaurion riskejä latauslaitteeseen voi kohdistua, jos esimerkiksi ajoneuvo törmää siihen, sekä miten näitä riskejä voidaan ehkäistä. Latauskaapelille asetetut vaatimukset eritellään.</p> <p>Työssä vertaillaan standardien mahdollistamia latausnopeuksia ja verrataan niitä niihin latausnopeuksiin, joita tällä hetkellä voidaan saavuttaa käyttäen nykyisiä sähköautoja ja pikalatauslaitteita. Lisäksi selvitetään, mikä vaikuttaa käytännön latausnopeuksiin. Työssä tarkastellaan myös pikalatauksen vaikutuksia sähköautoissa yleisesti käytettyyn litiumioniakustoon sekä kuvataan lyhyesti modernin sähköauton akuston rakenne ja lainalaisuudet.</p> <p>Työ yhdistää pikalatausasemiin liittyvää tietoa useista lähteistä ja näin luo tehokkaan ja monipuolisen katsauksen siitä mihin ja miksi pikalatausasemia tarvitaan ja mikä on niiden tekninen toimintaperiaate.</p>	
Avainsanat	Sähköauto, pikalataus, tasasähkölataus

Author Title	Eero Wahlman Direct Current Charging of an Electric vehicle and the Structure of a Direct Current Electric Vehicle Charger
Number of Pages Date	37 pages May 22, 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructors	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to find out and explore the structure of a modern direct current electric vehicle charging station. Also the operating principle and the requirements of technical standards were studied. The thesis was implemented as a study of literature. Sources varied from international standards to electric vehicle manufacturers' publications.</p> <p>In the beginning of the thesis, charging of an electric vehicle is described and discussed in general. An overview of charging modes and the differences of direct current charging and alternating current charging are presented. Direct current and alternate current charging plugs are presented as well as the maximum charging speeds they can provide.</p> <p>The structure of a direct current charging station is explored via international and domestic standards. The safety features of the charging station are explained. The data transfer methods between electric vehicle and electric vehicle charging station are analyzed. Risks of mechanical impact to charging station and the risk prevention measures available are studied and clarified. The requirements for the charging connectors are described.</p> <p>The direct current charging speeds made possible by the standards are compared to those that can be achieved in real life situations. The reasons that affect the charging speeds are explored. Effects of direct current fast charging to the batteries of electric vehicles are discussed. The fundamentals of EV Lithium-Ion batteries are clarified.</p> <p>This thesis combines information from various sources to create a clear and comprehensive summing up of direct current electric vehicle fast charging. It clarifies the purpose and technical operating principle of a modern electric vehicle fast charger.</p>	
Keywords	Fast Charging, Direct Current Electric Vehicle Charging

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköauton lataustavat	2
2.1	Mode 1, kevyiden sähköajoneuvojen lataaminen	2
2.2	Mode 2, hidas lataus / tilapäislataus	2
2.3	Mode 3, sähköautojen varsinainen kotilataus	3
2.4	Mode 4, pikalataus tasasähkölatauksella	3
3	Sähköauton latauksessa käytettävät latausliittimet	4
3.1	Vaihtosähkölatausliittimet	4
3.1.1	Type 1 -latausliitin	4
3.1.2	Type 2 -latausliitin	5
3.1.3	Type 3 -latausliitin	6
3.2	Tasasähkölatausliittimet	7
3.2.1	Combined Charging System CCS	7
3.2.2	CHAdeMO	8
3.2.3	Tesla Supercharger	9
3.2.4	GB/T	10
4	Vaatimukset tasasähkölataukselle	11
4.1	Standardisointiprosessin perusteet	11
4.2	Vaatimukset tasasähkölatausasemalle	12
4.2.1	Latauslaitteen turvallisuuteen liittyvät toiminnot	12
4.2.2	Latausaseman ja ajoneuvon välinen yhteys	14
4.3	Vaatimukset latauskaapelille ja latauskaapelin liitännöille	14
4.4	Latausaseman ja sen kytkentöjen suojaaminen ulkoisia vaurionaiheuttajia vastaan	17
5	Tasasähkölatausaseman rakenne	19
5.1	Latausaseman liitäntä sähköverkkoon	19
5.2	Sähkön tasasuuntaus ja DC-DC-muunnin	20

5.3	Latausaseman ohjainlaite ja tiedonsiirto latausaseman ja ladattavan ajoneuvon välillä	20
5.4	Latausaseman käyttöliittymä	24
6	Tasasähkölatausasemien käyttäminen käytännössä	24
6.1	Tasasähkölatauksen latausteho ja latausteho käytännössä	25
6.1.1	Käytännön latausnopeuteen vaikuttavat tekijät	25
6.1.2	Käytännön esimerkkejä sähköautojen pikalatausnopeuksista	26
7	Pikalatauksen vaikutus akuston kestoon	29
8	Yhteenveto ja pohdinta	31
	Lähteet	33

Lyhenteet ja käsitteet

CAN-väylä	Controller Area Network, autoissa ja teollisuudessa hyödynnetty tiedonsiirtoprotokolla.
Hybridiauto	Kahta eri energialähdettä hyödyntävä auto. Tavallisimmin nuo kaksi energialähdettä ovat nestemäinen polttoaine (benssiini, diesel, korkeaseosetanoli, maa/biokaasu) ja sähkö.
Plug-in-hybridiauto	Auto, joka sisältää polttomoottorin, sähkömoottorin ja ulkoisesta lähteestä ladattava akuston.
SMPS	Switched Mode Power Supply, hakkuriteholähde
SoC	State-of-charge, akun lataustila
VCCF	Sähköauton toiminto, joka kontrolloi DC-latauslaitteen parametrejä (esim. latausvirtaa).

1 Johdanto

Liikenteen tuottamat päästöt ovat tällä hetkellä suurennuslasin alla. Nämä päästöt on saatava minimoitua sekä paikallisella että globaalilla tasolla. Paikallisella tasolla halutaan optimoida hengitysilman hyvä laatu ja globaalilla tasolla minimoida kasvihuonekaasujen pääsy ilmakehään ja näin hillitä ilmastonmuutosta. Molempiin tarpeisiin vastaa sähköllä kulkeva auto, minkä takia kyseinen voimanlähde on voimakkaassa nousussa ajoneuvojen voimanlähteenä.

Sähköautoissa energiaa varastoidaan akustoissa. Akustojen kapasiteetti on kehittynyt voimakkaasti viime vuosina ja kehitys tulee jatkumaan myös jatkossa. Akkujen kapasiteetin kasvun lisäksi tehokas ja kattava latausinfrastruktuuri on tärkeässä asemassa, jotta sähkö autojen voimanlähteenä voi todella yleistyä. Sähköauton lataamiseen löytyy monta tapaa, joiden hyödynnettävyyteen vaikuttavat esimerkiksi kyseiselle automallille soveltuvat lataustavat, saatavilla oleva liitäntä paikalliseen sähköverkkoon, hinnoitteluun liittyvät ratkaisut, taloyhtiön hyväksyntä, latauslaitteiden saatavuus ja niin edelleen.

Polttomootoriautojen kilpailuetu on aina ollut niiden nopea tankattavuus sekä polttoaineen korkea energiasisältö. Sähköautojen pulmana taas on ollut akkujen hidas ladattavuus ja akustojen vaatimaton kapasiteetti. Tähän ongelmaan vastaa pikalataus. Tasasähkölatausta hyödyntäen sähköauton latausaika saadaan merkittävästi lyhyemmäksi ja näin sähköauto liikkumismuotona merkittävästi kilpailukykyisemmäksi. Tässä insinöörityössä tarkastellaan erityisesti tasasähkölataukseen liittyviä sääntöjä, säädöksiä ja standardeja sekä tasasähkölatausaseman rakennetta. Myös muita lataustapoja sivutaan.

2 Sähköauton lataustavat

2.1 Mode 1, kevyiden sähköajoneuvojen lataaminen

Mode 1 -lataustapa hyödyntää vaihtosähkölatausta ja on tarkoitettu matalan latausvirransa vuoksi lataamaan kevyitä sähköajoneuvoja, kuten esimerkiksi sähkömopedeja. Mode 1 -latauksessa latausaseman ja ajoneuvon välillä ei liiku tietoa, vaan riittää kunhan latausliittimet ovat oikeanlaiset. Mode 1 -lataukselle ei ole standardisoitua latausliitintä. (1)

2.2 Mode 2, hidas lataus / tilapäislataus

Mode 2 -lataustapa on tarkoitettu tilapäisiin olosuhteisiin ja siirtymääjäksi lataamaan sähköautoja normaalista vaihtosähköpistorasiasta. Tätä lataustapaa käytettäessä laturi kytketään normaaliin 230 V:n sukkotitalouspistorasiaan tai teollisuuspistorasiaan. Kotitalouspistorasiaa käytettäessä latausvirta pitää rajoittaa 8 ampeeriin, sillä nämä rasiat on suunniteltu kestämään 16 A:n kuormitusta vain kaksi tuntia kerrallaan. Tämä koskee vain pistorasioita kotitalouskäytössä (2). Mode 2 -latauksessa laturi syöttää autolle vaihtosähköä, jonka auton sisäinen laturi sitten muuttaa tasasähköksi akustojen lataamista varten. Kuvassa 1 esitetään esimerkki Mode 2 -tilapäislatauslaitteesta. Kuvan laturi on mallivuoden 2019 Volkswagen e-Golfista. Latauslaite kytketään verkkoon normaalilla suojamaadoitetulla sukopistokkeella. Johdon keskellä sijaitsee koteloitu elektroniikkayksikkö. Autoon laturi kytketään Type 2 -pistokkeen avulla.



Kuva 1. Volkswagen e-Golf Mode 2 -tilapäislatauslaite

2.3 Mode 3, sähköautojen varsinainen kotilataus

Mode 3 -lataustapa on tarkoitettu sähköautojen varsinaiseksi lataustavaksi. Tällöin käytössä on kiinteästi sähköverkkoon asennettu latauslaite, jota voidaan käyttää jatkuvasti ilman pelkoa pistorasioiden tai johtimien lämpenemisestä (vrt. mode 2). Mode 3 -latauksessa autolle syötetään latausjohdon kautta vaihtovirtaa, jonka autossa oleva laturi sitten muuntaa halutuksi tasavirraksi. Latausjohto sisältää myös tiedonsiirtoväylän, jonka kautta auto ja latauslaite voivat vaihtaa tietoa. Tällaista tietoa on esimerkiksi auton toive latausvirran suuruudesta. Kun lataus on meneillään, ovat johtimet lukittuina sekä autoon että latauslaitteeseen turvallisuussyistä. Mode 3 -latauslaitteissa käytetään joko erillistä latausjohtoa tai latauslaitteeseen integroitua latausjohtoa. Latausvirta voi näissä latauslaitteissa olla maksimissaan 63 A ja latausteho 43 kW. (2)

2.4 Mode 4, pikalataus tasasähkölatauksella

Mode 4 on lataustapa, johon tässä opinnäytetyössä pääasiassa keskitytään. Mode 4 -lataus on kaikista lataustavoista selkeästi nopein ja mahdollistaa latauksen moninkertaisella nopeudella verrattuna muihin lataustapoihin. Mode 4 -latausasema on parhaimmillaan esimerkiksi isojen valtateiden varsilla olevilla levähdyspaikoilla. Pikalatausta

käyttäessä esimerkiksi 30 minuutin latausajassa voidaan akku saada ladattua jopa 80 %:iin sen kapasiteetista. Näin mahdollistetaan sähköautolle huomattavasti pidempi toimintasäde ilman pitkäkestoista latausta. Mode 4 -latauksessa latausjohto on integroitu osa latauslaitetta standardin määrittelemänä. Latausjohdon kautta siirretään tietoa auton ja latauslaitteen välillä. Tällaista tietoa on esimerkiksi auton pyytämä latausjännite sekä -virta. Tällä hetkellä pikalatausstandardit mahdollistavat latauksen n. 400 kW:n teholla. Käytännön latausteho riippuu autosta, laturista ja vallitsevista ympäristöolosuhteista.

3 Sähköauton latauksessa käytettävät latausliittimet

3.1 Vaihtosähkölatausliittimet

Standardisarja IEC 62196 (3) määrittelee kolme erilaista vaihtosähkölatausliitintä. Nämä latausliittimet käydään seuraavassa läpi.

3.1.1 Type 1 -latausliitin

Type 1 -latausliitin on käytössä lähtökohtaisesti Japanilaisissa ja Yhdysvaltalaisissa ajoneuvoissa. Type 1 -latausliitin määritellään IEC 62196 -standardissa, mutta alkujaan se on määritetty yhdysvaltalaisessa SAE J1772 -standardissa (4). Latausliitin mahdollistaa latauksen yhdellä vaiheella, jännitteen ollessa maksimissaan 240 V ja virran ollessa maksimissaan 80 A. Tällöin latausteho voi olla suurimmillaan 19,2 kW. Type 1 -latausliittimestä löytyy kaksi napaa vaihtosähkölle, yksi napa nollajohtimelle ja kaksi napaa signaalijohtimille (proximity ja control pilot). Kuvassa 2 esitetään Type 1 -latausliitin.



Kuva 2. Type 1 -latausliitin (5)

3.1.2 Type 2 -latausliitin

Type 2 -latausliitintä käytetään lähtökohtaisesti eurooppalaisissa ajoneuvoissa. Type 2 -latausliittimen standardoitu maksimijännite on 480V ja maksimi latausvirta 300A kun käytetään kolmea vaihetta. Type 1 -latausliittimeen verrattuna suuri etu onkin mahdollisuus käyttää kolmea vaihetta, joka mahdollistaa suuremman lataustehon. Type 2 -liittimen maksimaalinen latausteho on 43,5 kW. Type 2 -latausliittimestä löytyy navat kolmelle vaiheelle, yksi nollajohdin, yksi napa suojamaadoitukselle ja kaksi napaa signaali-johtimille (proximity ja control pilot).



Kuva 3. Type 2 -latausliitin

3.1.3 Type 3 -latausliitin

Type 3 -latausliitin on selkeästi Type 1 ja Type 2 -liittimien varjoon jäänyt liittintyyppi. Suoritusarvoiltaan (jännite, vaiheet, latausteho, virta) Type 3 vastaa Type 2 -liitintä. Muotoilultaan Type 3 -liitin on omanlaisensa. Type 2 -liittimen tultua valituksi eurooppalaiseksi standardiksi, vaikuttaa Type 3 -liittimen tulevaisuus vaikealta. Type 3 -liittimessä on integroituna sulkimet, jotka peittävät jännitteelliset osat liittimen ollessa irti pistorasiasta. Nykyisellään myös Type 2 -liittimeen on saatavissa samalla idealla toimivat sulkimet.



Kuva 4. Type 3 -latausliitin (6)

3.2 Tasasähkölatausliittimet

Tasasähköä välittävillä pikalatausliittimille on tällä hetkellä olemassa neljä eri standardia: CCS Combo (7), CHAdeMO(7), Tesla Supercharger (8) ja kiinalainen GB/T (9). Nykyisellään standardit ovat melkoisesti sekoittuneet automerkkien kesken niin, että sama valmistaja saattaa käyttää autoissaan erilaisia pikalatausliittimiä riippuen siitä mihin maanosaan myytävä auto on menossa. Koska CCS Combo 2 on valittu eurooppalaiseksi standardiksi, dominoi se eurooppalaisten automerkkien keskuudessa. CHAdeMO puolestaan on johtava standardi japanilaisissa automerkeissä (10), ja suomalaisesta näkökulmasta melko tuntematon GB/T -standardi on määräävä standardi Kiinassa. Pohjois-Amerikassa käytetään pääasiallisesti CCS Combo 1 -pikalatausliitintä.

3.2.1 Combined Charging System CCS

CCS-tyyppin pikalatauspistoke perustuu jo olemassa olevien Type 1 ja Type 2 -latausliittimien hyödyntämiseen. CCS-latauspistokkeessa joko Type 1- tai Type 2 -liittimeen on yhdistetty lisäosa, jonka kahden navan avulla mahdollistetaan tasasähkön siirtäminen laturista autoon. Alkuperäisestä Type 1- tai Type 2 -liittimestä hyödynnetään signaalijoh-

timia, joiden kautta auto ja latausasema vaihtavat tietoa. Vaihe- ja nollajohtimet on poistettu liittimistä turhina. CCS-pistokkeita kutsutaan joko nimellä Combo 1 tai Combo 2 riippuen siitä, hyödyntävätkö ne Type 1- vai Type 2 -pistoketta. Nykyisellään CCS-pistoketta hyödyntää autonvalmistajista esimerkiksi Volkswagen (11), BMW (12) ja Tesla (12). Tuorein CCS 2.0 -standardi mahdollistaa 350 kW:n lataustehon käyttäen maksimissaan 1000 V:n jännitettä ja yli 350 A:n virtaa (13).

Kuvassa 5 esitetään eurooppalaistyyppinen CCS Combo 2 -pikalatauspistoke. Pistokkeen ylemmät navat ovat signaalijohtimia ja suojamaadoitusta varten, ja kaksi isompaa napaa alempana ovat tasasähkön siirtoa varten.



Kuva 5. CCS Combo 2 -pikalatauspistoke

3.2.2 CHAdeMO

CHAdeMO-standardin käyttäjiä ovat pääasiassa japanilaiset autonvalmistajat, esimerkiksi Subaru, Nissan ja Toyota (14). Tuorein CHAdeMO 2.0 -standardi mahdollistaa jopa 400 kW:n lataustehon (400 A, 1 kV) (15). Uusin standardi on yhteensopiva myös vanhempien CHAdeMO-standardien kanssa. Kuvassa Dydenin valmistama CHAdeMO-la-

tausliitin. Latausliittimen kaksi isointa, keskellä sijaitsevaa napaa on tarkoitettu tasasähkön siirtämiseen. Ylhäällä ja alhaalla on kahdeksan pienempää terminaalia tiedonsiirtoa ja suojamaadoitusta varten.



Kuva 6. CHAdeMO-latausliitin (16)

3.2.3 Tesla Supercharger

Tesla Supercharger on autonvalmistaja Teslan rakentama latausverkosto ensisijaisesti Tesla-merkkisen auton omistajia varten. Aiemmin Tesla on käyttänyt Euroopassa Supercharger-laturiansa latauspistokkeena modifioitua Type 2 -latauspistoketta. Jatkossa kuitenkin myös Tesla käyttää Euroopassa myytävissä Model 3 -malleissaan IEC 62196:n mukaista CCS Combo 2 -pistoketta (17).

Tätä kirjoitettaessa (27.4.2019) kaikkien Euroopassa sijaitsevien Supercharger-lataus-
asemien maksimaalinen latausteho on 145 kW. Teslan malleista ainoastaan Model 3 voi
tällä hetkellä hyödyntää yli 120 kW:n lataustehoa. Muissa malleissa maksimaalinen la-
tausteho on 120 kW. (18;19)

Maaliskuussa 2019 Tesla julkaisi Superchargereistaan uuden version, jota kutsutaan ni-
mellä Supercharger V3. V3-versio mahdollistaa maksimissaan 250 kW:n lataustehon.
Käytännössä tämä tarkoittaa Model 3 Long Range -mallia täydellä nopeudella ladatta-
essa sitä, että viidessä minuutissa auton akuston varausta voidaan nostaa niin, että
range kasvaa 75 kilometriä. Eurooppaan V3 -Superchargerit saapuvat nykyisen tiedon
valossa kvartaalilla 4/2019 (20).

Muista mainituista pikalatausstandardeista poiketen Supercharger-asemien maksimilatausarvot ovat toteutuvia arvoja. Kun Tesla-henkilöauto kytketään latausasemaan, mainitut arvot saavutetaan. Muiden standardien osalta mainitut maksimi-arvot ovat mahdollisia, mutta vain aniharva jos yksikään sähköauto voi niitä tällä hetkellä täysin hyödyntää. Käytännön esimerkkejä toteutuvista latausnopeuksista käydään läpi luvussa 5.5. Teslan Supercharger-latausjärjestelmästä ei ole julkisesti tietoja saatavilla, joka rajoittaa sen käsittelyä tässä työssä.



Kuva 7. Tesla Supercharger -latausasema (21)

3.2.4 GB/T

GB/T on kiinalainen, ja ainakin tähän mennessä vain Kiinan kotimaisille markkinoille suunnattu pikalatausstandardi. GB/T:n tämänhetkinen maksimilatausteho on 237,5 kW latausvirran ollessa maksimissaan 250 V ja jännitteen ollessa maksimissaan 950 V (22). Tätä latausstandardia ei käsitellä laajemmin tässä opinnäytetyössä, koska tällä hetkellä GB/T on standardoitu ainoastaan Kiinassa.



Kuva 8. GB/T-latauspistoke (23)

4 Vaatimukset tasasähkölataukselle

4.1 Standardisointiprosessin perusteet

Standardit määrittävät eri aloilla tuotteiden tai toimintojen yhteensopivuuteen ja turvallisuuteen liittyvät vaatimukset. Tuoteturvallisuus ja eri sovellutusten yhteensopivuus on sekä kuluttajan että teollisuuden etu. Standardien noudattaminen ei ole kuitenkaan pakollista. Esimerkiksi sähköautojen latauslaitteiden valmistaja voi suunnitella ja valmistaa standardeista poikkeavan tuotteen, mutta tässä tapauksessa valmistajan tulee jollakin muulla tavalla osoittaa tuoteturvallisuutta valvovalle viranomaiselle (Suomessa Tukes), että tuote täyttää sille sekä laissa että asetuksissa määritellyt turvallisuusvaatimukset.

Sähköalan standardeissa maailmanlaajuinen standardisointijärjestö on IEC (International Electrotechnical Commission). Euroopan tasolla standardeja hallinnoi CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Suomen tasolla sähkötekniikan standardeista vastaa SESKO ry. Sesko osallistuu sekä IEC:n että CENELECin toimintaan. SESKOn toimintaan kuuluu myös maailman- ja euroopanlaajuisten standardien toimittaminen kansallisiksi SFS-standardeiksi (24).

4.2 Vaatimukset tasasähkölatausasemalle

Standardi SFS-EN 61851-23 (7) määrittää ominaisuudet, jotka tasasähkölatauslaitteen pitää sisältää. Standardin määritelmät ovat kattavat niin toimintojen, yhteensopivuuden kuin ominaisuuksienkin suhteen. Edellä mainitun päästandardin lisäksi tasasähkölatausta ja latausta yleensä määrittää muutama muukin standardi. Sähkökäyttöisen ajoneuvon liittämistä ulkoiseen virtalähteeseen käsittelee standardi SFS-EN ISO 17409 (25). Latauslaitteen ja auton välistä kommunikaatiota käsittelee standardi SFS-EN 61851-24 (26). Latauslaitteissa käytettävät latausliittimet määritetään standardissa SFS-EN 62196 (3). Kaikki kyseiset standardit ovat alkujaan eurooppalaisia standardeja jotka on hyväksytty ilman muokkausta myös suomalaisiksi standardiksi. Nimensä mukaisesti SFS-EN ISO 17409 on myös samalla maailmanlaajuinen ISO-standardi. Edellä mainittujen standardien lisäksi suomalainen standardi SFS 6000-7-722 (27) asettaa omat vaatimuksensa sähköautojen latausjärjestelmille ja niiden kytkemiselle rakennuksien sähköjärjestelmiin.

4.2.1 Latauslaitteen turvallisuuteen liittyvät toiminnot

Koska tasasähkölatausasemissa latausjännitteet ja -virrat ovat suuria, pitää latausaseman sisältää toimintoja, jotka takaavat käyttäjän turvallisuuden esimerkiksi latauslaitteen, auton tai latausjohtimen vioituessa. Näitä toimintoja on määritelty standardissa SFS-EN 61851-23 (7). Käydään seuraavassa läpi näitä vaatimuksia.

Latauksen aloitusvaihe

Yksi tärkeimmistä huomioitavista seikoista on se, että minkäänlaisia jatkojohtoja tai sovittimia ei tule käyttää (tasa)sähköllä ladattaessa. Virheellisten tai huonosti eristettyjen sovittimien käyttö saattaa esimerkiksi häiritä vikavirtasuojien toimintaa tai latauslaitteen yhteyttä auton kanssa. Jatkoksien tai sovitteiden käyttäminen voi myös mahdollistaa oikosulun veden päästessä johtojen liitoskohdassa yhdistämään johtimia toisiinsa (7, kohta 6.3.3.).

Latauksen alussa latauslaite suorittaa yhteensopivuuden tarkastuksen latauslaitteeseen liitetyn auton kanssa. Latauslaitteen tiedonsiirron tulee olla yhteensopiva ajoneuvon

kanssa, jotta lataus voidaan aloittaa. Latauslaitteen on myös kyettävä tekemään tarkastus, että latauslaite on oikein kytketty latausasemaan. Näiden tarkastusten lisäksi latauslaite testaa latauspiirin oikosulun varalta ennen latauksen aloittamista. (7, kohta 6.4.) Myös eristysvastusmittaus suoritetaan ennen latauksen aloittamista. Tämä tarkoittaa sitä, että latausaseman tulee mitata vastus tasasähkölatauspiirin ja ajoneuvon koriin menevän suojajohtimen välillä ennen kuin lataus on mahdollista. Jos arvo ei ole sallittujen sisäpuolella, ei latausta voida aloittaa. Tämä myös kerrotaan autolle ohjauspiirin kautta. Eristysvastusmittaus tehdään, jotta voidaan varmistua, että jännitteiset osat eivät ”vuoda” jännitettä sähköjärjestelmän maadoitukseen. (7, kohta 6.4.)

Latausaseman tulee myös olla kykenevä johdon kytkennän lukitsemiseen, lukitsemisen ylläpitoon ja vapauttamiseen. Turvallisuussyistä latauslaitteen tulee pystyä kontrolloimaan, milloin latausjohto on irrotettavissa ajoneuvosta tai latauslaitteesta. Tämä voidaan toteuttaa mekaanisesti tai sähköisesti. Mikäli latausjohdon jännite on yli 60 V, pitää johdon pysyä lukittuna sekä autoon että latauslaitteeseen. Jos latausjärjestelmään tulee vikaa, saa järjestelmässä olla kuitenkin keino latausliittimen turvalliseen irrotukseen. (7, kohta 6.4.)

Latauksen aikana

Tasasähkölatausjärjestelmässä latauslaitteen ja auton välillä on suojajohdin. Latauslaite tarkkailee suojajohtimen johtavuutta jatkuvasti. Eristetyissä järjestelmissä pätee seuraava: Jos yhteys katkeaa, latausasema suorittaa hätäpysäytyksen 10 sekunnin sisällä johtavuuden katkeamisesta. Toiminto on pakollinen järjestelmissä, joissa jännite on yli 60 V. Eristämättömissä järjestelmissä maajohtimen johtavuuden katketessa latauslaite irrotetaan verkkovirrasta. Jos eristämättömän järjestelmän latausaseman ja auton välinen suojajohtimen johtavuus katkeaa, hätäpysäytyksen pitää suorittaa toiminnan pysäytys viiden sekunnin aikana. (7, kohta 6.4.3.2.)

Latauslaitteen tulee seurata ohjauspiirin eheyttä: Jos maavika, oikosulku tai liian korkea virta havaitaan, latauspiiri tulee irrottaa jännitelähteestään, mutta ohjauspiirin virransyötön ei tule katketa, kunhan vika ei johdu verkkovirran puutteesta. Jos latauslaitteessa käytetään enempää kuin yhtä johdinta rinnan latausvirran tuottamiseksi autolle, pitää latauslaitteesta löytyä keino sen varmistamiseksi, että mikään ko. johdoista ei ylikuormitu. (7, kohta 6.4.3.112.)

Latauksen keskeyttäminen

Standardin mukaan käyttäjän tulee voida keskeyttää lataustapahtuma. Mikäli latauslaite havaitsee vian ohjausvirtapiirissä (esim. oikosulku, maavuoto, ohjainlaitteen vika tai lämpötilan nousu), latausaseman tulee lopettaa latausvirran syöttäminen ja irrottaa ohjauspiirin jännitelähde. Tämän lisäksi johdin, jossa maavuoto tai liian korkea virta on havaittu, tulee irrottaa lähteestään. (7, kohta 6.4.3.4.)

Mikäli latausasema havaitsee latausjännitteen nousevan auton pyytämää suuremmaksi, suorittaa se niin kutsutun hätäsammutuksen ja irrottaa laturin jännitelähteestä. Jos vika johtuu auton järjestelmän viasta, ei jännitelähteestä irtautuminen ole pakollista. (7, kohta 6.4.3.107.)

4.2.2 Latausaseman ja ajoneuvon välinen yhteys

Mode 4 -tasasähkölatauksessa latauslaitteen ja ajoneuvon välillä on aina tietoliikenneyhteys. Tällä yhteydellä on eri tehtäviä: sähköturvallisuuden valvominen, erilaisten toimintojen ohjaaminen sekä lataustehon muuttaminen auton pyynnön mukaisesti. Ajoneuvon pyytämä jännite tai virta voi vaihdella latauksen aikana, ja latauslaitteen tulee voida mukautua tämän mukaan. Jotta laite voi kytetä tähän, on sen pystyttävä mittaamaan virran ja jännitteen suuruutta latauksen aikana (7).

4.3 Vaatimukset latauskaapelille ja latauskaapelin liitännöille

Latauskaapelien vaatimuksia on asetettu standardissa SFS-EN 62196. Seuraavassa tarkastellaan, minkälaisia yleisiä vaatimuksia latauskaapeleille ja muille lataukseen liittyville varusteille on standardissa asetettu. Vaatimuksia on asetettu muun muassa sähköturvallisuuteen, materiaaleihin ja yhteensopivuuksiin liittyen.

Latauskaapelien liitokset tulee suunnitella fyysisesti niin, että eri navat yhdistyvät toivottuun järjestyksessä. Turvallisuuden maksimoimiseksi suojamaan liitoksen tulee yhdistyä ensin. Tämän jälkeen yhdistyy järjestyksessä nollajohdin, vaihejohtimet (1–3 riippuen


latausliittimestä) sekä control pilot -johdin. Liitoksien tulee myös erottautua samassa järjestyksessä kuin missä ne yhdistyivät (28, kohta 6.8). Kytkeytymisjärjestyksen lisäksi latausjohtimien ja muiden varusteiden tulee olla niin suunniteltuja, että kytkettynä jännitteisiin osiin ei ole mahdollista koskea (28, kohta 10.1). Latausliittimien suunnittelussa tulee myös varmistaa se, että ei ole mitenkään mahdollista yhdistää vain yhtä latausliittimen napaa kytkemällä liitin väärin. Samaten liittimen suunnittelun tulee olla sellainen, että liitintä ei voi kytkeä väärin niin, että esimerkiksi vaihejohtimet ja signaalihohtimet menevät sekaisin (28, kohta 9.4).

Varusteiden ja johtimien ulkoiset metalliset osat tulee olla luotettavasti kiinnitetty suoja- maadoitukseen, jotta eristysvastusmittaus voidaan luotettavasti suorittaa. Varusteille on myös määritetty tarkat testiarvot eristysvastusmittausten suhteen. Hyväksytyt arvot kulkevat linjassa itse latauslaitteille annettujen arvojen kanssa (liittyen eristysvastusmittauksiin). (28, kohta 12.2.)

Latausjohdoissa ja muissa vastaavissa varusteissa tulee olla merkittynä määritetty maksimivirta sekä jännite. Merkinnöistä tulee myös selvittää sähköisen suojauksen taso, valmistajan/vastuullisen tahon tunnus sekä tuotteen mallimerkintä jonka kautta tuote voidaan jäljittää (28, kohta 8.1). Edellä mainittujen merkintöjen lisäksi latausvarusteista, joihin voidaan vaihtaa johdotus, tulee löytyä selvyyden vuoksi merkinnät. Varuste, johon voidaan vaihtaa johdotus, tarkoittaa tässä yhteydessä esimerkiksi erikseen myytävää latausjohdon liitospäätä (28, kohta 8.5). Merkinnät selvennetään taulukossa 1. Merkintöjen tulee lisäksi olla selvästi luettavissa ja kestää standardissa mainittu kulutustesti, jossa kostutettua merkintää hangataan määritelty aika veteen kastetulla liinalla ja tämän jälkeen vielä uudestaan liuottimeen kastetulla liinalla. Aika ja liuosten pitoisuus on tarkasti määritelty (28, kohta 8.8).

Latausliittimien ja varusteiden tulee olla niin suunniteltu, että jännitteellisiin kohteisiin ei voida vahingossa koskea. Tämän suojauksen testaus suoritetaan käyttämällä niin sanottua standardoitua ”testisormeä”. Testisormi tarkoittaa ihmishormen malliin rakennettua testilaitetta, jossa on kaksi samaan suuntaan taittuvaa niveltä. Testisormella hivelläään testattavia laitteita määritetty aika (muutamia sekunteja per yksittäinen laitteen kohta) määritetyllä voimalla (20 N). Testattavan laitteen tulee olla niin hyvin suojattu, että testisormi ei pääse koskemaan jännitteellisiin osiin. Tämän takia esimerkiksi latausliittimissä on usein oltava sulkeutuva kansi/suojus, joka estää pääsyn jännitteisiin osiin johdon irrottamisen jälkeen. (28, kohta 10.2.)

Taulukko 1. Latausjohdon johdinterminaalien merkinnät (28, kohta 8.5)

Liitäntä	Merkintä johtimessa
1. Vaihe	L1
2. Vaihe	L2
3. Vaihe	L3
Suojamaa (PE)	
Control Pilot	CP
Proximity Pilot	PP
Connection Switch	CS
Tasavirta, +-johdin	D.C. +
Tasavirta, -johdin	D.C. -
Tiedonsiirtoyhteys 1	COM1
Tiedonsiirtoyhteys 2	COM2
Clean Data Earth	CDE

Latausliittimien mekaaniselle kestävyydelle on myös asetettu vaatimuksia. Mikäli johtoterminaalien ruuvi tms. liitokset avautuvat käytön tai muun rasitusten seurauksena, tulee terminaalien olla niin suunniteltu, että avautuva tai irtoava komponentti ei voi aiheuttaa sähkönsuunnittelematonta johtumista (23, kohta 13.1.8). Suunnittelematon johtuminen voi tarkoittaa esimerkiksi vaiheen yhdistymistä nollajohtimeen tai vaiheen yhdistymistä signaalijohtimeen. Kumpi vain aiemmin kuvailluista tilanteista voi aiheuttaa vaaratilanteen tai vaurioita laitteistoille.

Ruuvikiinnitteisten johdinterminaalien vedonkestävyydelle on määritetty minimiarvot. Vedonkestävyys testataan kahdella tavalla. Ensimmäisessä testissä terminaalia kuormitetaan epäsuorasti ja toisessa suoraan. Terminaalin on läpäistävä molemmat testit. Testit simuloivat tosielämän tilanteita, joissa johtimen veto voi tilanteesta riippuen kohdistua johdinterminaaliin eri suunnista. (28, kohta 13.3.)

Ensimmäisessä testissä vedonkestävyyden mittaus suoritetaan kuormittamalla terminaaliin kiinnitettyä johtoa määritellyllä painolla. Paino on riippuvainen johtimen poikkipinta-alasta. Johtimeen kiinnitetty punnus ei vedä johdinta terminaaliin nähden kohtisuorasti, vaan johdin ohjataan erillisen kappaleen läpi. Kappaleessa oleva reikä vaihtelee johtimen poikkipinta-alan mukaisesti. Esimerkkeinä kuormituspainon ja poikkipinta-alan suhteesta mainittakoon seuraavat esimerkit: Poikkipinta-alaltaan 1 mm²:n johtimen terminaalin tulee kestää 0,4 kg:n massa 260 mm:n riiputuskorkeudella. Poikkipinta-alaltaan 300 mm²:n johtimen taas tulee kestää 22,7 kg:n massa 464 mm:n riiputuskorkeudella.

Riiputuskoe kestää 15 minuuttia, ja johtimeen ei saa tulla terminaalin aiheuttamia vaurioita testin aikana. (28, kohta 13.3.1.)

Toisessa testissä terminaalien vedonkestävyyttä testattaessa johdinta vedetään kohtisuoraan poispäin terminaalista. Standardissa on määritetty, kuinka paljon minkäkin poikkipinta-alaisen johdinterminaalin pitää kestää vetoa. Esimerkiksi 1 mm²:n johtoterminaalin tulee kestää 35 N:n vetovoima, kun taas 300 mm² :n johtoterminaalin tulee kestää 578N vetovoima. Testi on hyväksytty, kun johto ei irtoa terminaalista ja terminaali kestää rasituksen ehjänä. Staattinen veto kohdistetaan johdinterminaaliin 1 minuutin ajan. (28, kohta 13.3.2.)

Osa lataussovelluksista vaatii latausjohdon pistokkeen olevan lukittu autoon/latauslaitteeseen, kun lataus on käynnissä. Latausjohdon irrottamisen tulee olla mahdollista siis vain, kun lataus ei ole käynnissä. Latausjohdosta ja johdon liittimistä tulee löytyä yhteensopivuus tarvittavalle lukitusmekanismille. Johdon lukitusmekanismiin liittyvät osat tulee olla tehty sillä tavalla kulutusta kestäväksi, että normaali kuluma ei aiheuta muutoksia lukitusmekanismin toimintaan. (28, kohta 14.1.2.)

Korkeatehoisessa tasasähkölatauksessa latausliittimet ja -johdot lämpenevät voimakkaasti. Korkealle latausteholle suunnitelluissa latausjohdoissa ja -liittimissä hyödynnetäänkin nykyään usein nestejäähdytystä. Nestejäähdytystä käyttämällä voidaan myös alentaa latausjohdon painoa jopa 40 % verrattuna vastaavan suorituskyvyn nestejäähdyttämättömään latausjohtoon. (29)

4.4 Latausaseman ja sen kytkentöjen suojaaminen ulkoisia vaurionaiheuttajia vastaan

Latausaseman kytkentöjä ja latausasemaa suunniteltaessa tulee huomioida vallitsevien lämpötilojen vaikutus materiaalien kestävyysasteeseen. Suunnittelussa tulee huomioida pakkasen aiheuttama vaikutus materiaaleille. Toisaalta Seskon lataus-suosituksen mukaisesti sähköajoneuvon syöttöön tarkoitettu sähköpiiri tulee materiaaleiltaan mitoittaa niin, että se kestää lämpimän vuodenajan aiheuttaman lisärasituksen johtimiin, pistorasioihin ja vikavirtasuojiin. Piiriä suunniteltaessa materiaalit tulee mitoittaa niin, että ne kestävät minimissään 30 °C ilman lämpötilaa ja 20 °C maanperän lämpötilaa. Kun piiriä kuormitetaan, toisin sanoen sähköautoa ladataan latausasemassa, aiheuttaa se luonnollisesti

piirin komponenttien lämpenemistä sähkövirran kasvaessa. Korkeissa ympäristön lämpötiloissa liian pienillä suojakertoimilla suunniteltu piiri voi osoittautua riittämättömäksi ja aiheuttaa esimerkiksi eristeiden vaurioitumista ja näin ollen mahdollisuuden sähkötapaturmalle. (2)

Latauslaitteet kuluvat käytössä. Latausliittimet, johdot ja eristykset rasittuvat ympäristöolosuhteiden ja mekaanisen rasituksen sekä ikääntymisen takia. Tämän takia on tärkeää, että latausasemat tarkastetaan latausaseman valmistajan ohjeistuksen mukaisesti. Latausasemien vikavirtasuojat tulee tarkastaa säännöllisesti latausaseman valmistajan testilaitteiston avulla. (2)

Latauslaitteet sijaitsevat ajoneuvojen pysäköintialueilla. Jotta latausjohdosta ei tarvitse tehdä kohtuuttoman pitkää, on latauslaite sijoitettava mahdollisimman lähelle ajoneuvon oletettua pysäköimispaikkaa. Tulee myös muistaa, että jatkojohtojen käyttäminen tassa sähkölatauksessa (ja muussakin sähköauton latauksessa) on kiellettyä. Edellä kuvailtujen ehtojen takia latausasema siis useimmiten sijaitsee alueella, jossa on mahdollisuus siihen, että inhimillisen virheen tai mekaanisen vian sattuessa ajoneuvo voi törmätä latauslaitteeseen. Tämä mahdollisuus tulee huomioida latauslaitetta sijoittaessa ja suunniteltaessa. Mikäli mahdollista, latauslaite voidaan sijoittaa paikkaan, jossa siihen osuminen on tavallisissa tilanteissa epätavallista tai liki mahdotonta. Jos näin ei kuitenkaan ole, voidaan latauslaitetta suojata asentamalla se esimerkiksi korokkeelle tai suojaamalla se erityisin suojapaaluin. Julkiselle paikalle (esim. julkinen pysäköintipaikka) sijoitetun latauslaitteen tulee kestää IK10-luokan ulkoinen isku. Rajoitetun pääsyn sijainneissa vaatimukset iskun kestolle ovat vähäisemmät (27, kohta 722.512.2). Kuvassa 9 näemme esimerkin, miten latauslaitteen suojaus voidaan toteuttaa. Tässä tapauksessa laite on nostettu kiveyksellä ylemmälle tasolle kuin autoilla ajetaan ja tämän lisäksi laitteen eteen on asennettu erityiset suojatolpat, jotka suojaavat latausasemaa ulkoisilta iskuilta ja törmäyksiltä.



Kuva 9. ABB Terra 53CT -latausasema

5 Tasasähkölatausaseman rakenne

5.1 Latausaseman liitântä sähköverkkoon

Tasasähkölatausasema liitetään toimiakseen tavanomaiseen kolmivaiheiseen pienjännitesähköverkkoon. Tasasähkölatausasemat kytketään useimmiten kiinteästi sähköverkkoon, joskaan standardi ei kiellä pistorasian kautta kytkettäviä laitteita. Tavallisesti itsenäinen tasasähkölatausasema on reilusti vaihtosähkölatausasemaa suurempi, joten koon takia laitteet ovat useimmiten kiinteästi asennettuja. Kytkennässä kolme vaihetta kytketään latauslaitteen sisäänmenoihin. Lisäksi kytketään nollajohdin ja suojamaa (PE).

Laitteen sisällä jännite johdetaan latauslaitteen ohjainlaitteelle sekä itse latausjännitteen tasasuuntaus/säätölaitteistolle.

5.2 Sähkön tasasuuntaus ja DC-DC-muunnin

Vaihtosähkölatausasemissa (Mode 3) autolle syötetään vaihtosähköä ja autossa oleva latausjärjestelmä tasasuuntaa sen ja näin lataa sähköauton akustoa. Tasasähkölatausasema nimensä mukaisesti syöttää autolle suoraan tasasähköä. Mode 4 -pikalatausaseman tulee siis muuntaa sähköverkosta tuleva vaihtovirta tasavirraksi. Tasasähkölatausaseman kaltaisissa korkeatehoisissa laitteissa tasasuuntaus tapahtuu tavallisesti kuumipulssitasasuuntauksen avulla tyristoreja hyödyntäen. (30)

Tasasuuntauksen jälkeen jännite tulee voida säätää oikealle tasolle ladattavan auton antaman toiveen perusteella. Tämä tapahtuu SMPS-periaatteen eli hakkurin avulla. Oikea hakkurityyppi tähän tarkoitukseen on ns. Buck hakkuri. Buck-hakkurin avulla jännitettä voidaan laskea ja silti säilyttää hyvä hyötysuhde toisin kuin lineaarisella jänniteregulaattorilla. (31)

Kun jännite on säädetty oikeaksi, se johdetaan kohti latauskaapelia. Tehonsäätölaitteiston jälkeen järjestelmässä tulee olla vikatapauksessa virtaa rajoittava laite. Myös virtaa ja jännitettä mittaavat laitteet edellytetään. Näiden mittalaitteiden perusteella laite myös säätää latausvirran toivotun arvon mukaan. Jotta virta kulkee varmasti oikeaan suuntaan, on järjestelmään asennettu puolijohde estämään virran väärä kulkusuunta. Latauspiirin miinusjohtimen ja latauslaitteen rungon välille on asennettu laite suorittamaan eristysvastusmittaus. Näiden laitteiden jälkeen järjestelmästä löytyy latauskaapeli, joka johdtaa virran ladattavaan ajoneuvoon. Latauskaapeli on kiinteä osa latauslaitetta. Latauskaapeliin sisältyy johtimet tasasähkön siirtämistä varten sekä tarvittavat signaalihohtimet. Signaalihohtimien määrä riippuu käytettävästä latausstandardista.

5.3 Latausaseman ohjainlaite ja tiedonsiirto latausaseman ja ladattavan ajoneuvon välillä

Sähköajoneuvoissa käytetään tekniikaltaan erilaisia akkuja. Akustojen materiaalit, kapasiteetit ja jännitetasot vaihtelevat ajoneuvomallikohtaisesti. Jotta autojen akustoja voidaan ladata ulkoisen laturin (tasasähköpikalaturi) avulla, on latauslaitteen ja ladattavan

ajoneuvon pystyttävä keskustelemaan keskenään. Tiedonvaihtoa auton ja latauslaitteen välillä vaativat myös turvallisuuteen liittyvät toiminnot, kuten latauspistokkeen lukitseminen kiinni autoon latauksen ajaksi.

Auton ja latauslaitteen välillä käytävä tiedonsiirto voidaan toteuttaa useilla tavoilla. Länsimaisilta markkinoilta löytyy kolme pikalatausstandardia (Tesla Supercharger, CHAdeMO ja CCS Combo), joiden kaikkien välillä on eroja tiedonsiirtomenetelmissä. Koska CCS Combo on valittu eurooppalaiseksi standardiksi, perehdytään siihen hieman tarkemmin.

5.3.1 Tiedonsiirto CCS-latausstandardissa

Combined Charging System -standardissa auton ja latauslaitteen välillä käytävä tiedonsiirto voidaan jakaa kahteen eri ryhmään. Nämä ryhmät ovat matalan ja korkean tason tiedonsiirto. Matalan tason tiedonsiirto käydään PWM:n (Pulse Width Modulation) avulla ja korkean tason tiedonsiirto käydään PLC:n (Powerline Communication) avulla, käyttäen Homeplug Green Phy v1.1.1 -tiedonsiirtoprotokollaa. (26; 32)

Matalan tason tiedonsiirtoa käytetään Control Pilot- sekä Proximity Pilot -toiminnon toteuttamiseen. Control Pilot -toiminto määrittää Mode 3 -latauksessa millä maksimivirralla sähköajoneuvoa voidaan ladata latausasemasta. Mode 4 -pikalatauksessa Control Pilot -toiminto välittää tiedon pikalatauksen käyttämisestä, minkä jälkeen varsinainen tiedonsiirto latausparametreihin liittyen toteutetaan korkean tason kommunikationa.

Control Pilot -piirissä tietoa välitetään pulssinleveysmodulaation avulla. Kun pulssin leveys on 3–7 %, tarkoittaa tämä että kyseessä on pikalataus. Jos lataus olisi Mode 3 -vaihtosähkölatausta, pulssinleveyksillä 8–97% määritettäisiin latausvirran suuruus, joka olisi 6–80 A, ja esimerkiksi 6 A:n latausvirtapyyntöä kuvaisi 8–10 :n% pulssisuhde. Jos pulssisuhde on jotakin muuta kuin 3–97 %, lataus ei ole sallittu. Pulssisuhteen tarkkuus on +-1 prosenttiyksikkö. Control Pilot -signaalin perustaajuus on 1 kHz, ja se toteutetaan Control Pilotin ja suojamaadoitusjohtimien avulla. (32)

Edellä mainitun lisäksi Control Pilot-signaalin tarkoitus on ilmaista latausliittimen lukitusta ladattavaan ajoneuvoon sekä latauksen tilaa. Toimintoa ohjataan säätämällä Control Pilot -piirin jännitteen tasoa. Taulukko 2 ilmaisee, mitä mikäkin jännitetaso tarkoittaa.

Taulukko 2. Control Pilot -signaalin jännitetasojen merkitykset

Tila	Jännite	Merkitys
A	+12V	Latauspistoketta ei kytketty
B	+9V	Latauspistoke kytketty, ajoneuvo ei valmis ladattavaksi, latauslaite ei syötä virtaa
C	+6V	Ajoneuvo valmis latausta varten, latauslaite syöttää virtaa
D	+3V	Ajoneuvo valmis latausta varten, latauslaite syöttää virtaa, akuston tuuletus vaaditaan
E	+0V	Control Pilot oikosulussa suojamaadoitukseen, ei yhteyttä
F	-12V	Latauslaite ei käytettävissä, vikatila.

Control pilot -signaalin pulssisuhdetta ohjaa latauslaite latauslaitteen sisäänrakennetun oskillaattorin avulla. Signaalin jännitetasoa ohjaa ajoneuvon latauselektroniikka.

Proximity Pilot -toiminnon tehtävä vaihtosähkölatauksessa on määrittää latausjohdon suurin sallittu latausvirta ja vahvistaa yhteys latauslaitteen ja auton välillä. Latausjohtoon on asennettu vastus proximity pilot sekä suojamaajohtimen välille ja tämän vastuksen suuruus määrittää johdon suurimman sallitun latausvirran. Vastukset vaihtelevat välillä 100–1500 Ω latausvirran vaihdellessa välillä 20–63 A (Type 2 -latauspistoke). Vaihtosähkölatauksesta eroten tasasähkölatauksessa Proximity Pilot -toiminto määrittää käytettävän suurimman sallitun latausjännitteen. Vastuksen ollessa 100 Ω , 220 Ω tai 680 Ω suurin sallittu latausjännite on 500 V ja vastuksen ollessa 1500 Ω suurin latausjännite on 1000 V. (7, kohta CC.1 ja CC.2.)

Korkean tason kommunikointi välittää tietoa Homeplug Green Phy v1.1.1 -protokollan avulla (26, kohta 5). Korkean tason kommunikointi välittää tiedot, jotka on selvennetty taulukossa numero 3. Korkean tason kommunikointi välitetään protokollalla, jota käytetään yleisemmin PLC-sovelluksissa (Power Line Communication, sähköverkossa tapahtuva tiedonsiirto). Fyysisesti tieto välitetään control pilot -johtimen ja suojamaan välillä. Homeplug Green Phy -yhteys perustuu OFDM-moduloituun tiedonsiirtoon 2–28 MHz taajuusalueella, joten taajuus on niin korkea että latauslaitteen hakkuriteholähteen aiheuttamien häiriöiden ei pitäisi häiritä tiedonsiirtoa (33). Tämä on merkittävää vakaan tiedonsiirron aikaansaamiseksi. Käytännössä CCS-latauksen toteutuksessa on havaittu ilmeisesti juuri sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen liittyviä ongelmia, jotka ilmenevät muun muassa latauksen katkeamisena yllättäen. Havaituista ongelmista on keskusteltu muun muassa sähköalan standardointijärjestö Seskon sähköajoneuvojen ja latausjärjestelmien komiteassa. Lisäksi tietyn mallinen auto on saattanut kieltäytyä latautumasta tietyn valmistajan latausasemassa. Tarkempien tietojen saaminen on haastavaa,

koska valmistajat suhtautuvat ongelmien juurisyihin liikesalaisuuksina (34). Homeplug Green Phy v1.1.1 täyttää IEEE 1901 standardin (33).

Taulukko 3. Korkean tason kommunikaation välittämät tiedot (26, taulukko C.1)

Järj.nro	Välitettävä tieto
1	Ajoneuvon pyytämä latausvirran suuruus (CCC)
2	Ajoneuvon pyytämä latausjännitteen suuruus (CVC)
3	Latausaseman määritelty maksimilatausjännite
4	Latausaseman määritelty maksimilatausvirta
5	Käytettävän tiedonsiirtoprotokollan vahvistus
6	Korkein ajoneuvon hyväksymä latausjännite
7	Korkein ajoneuvon hyväksymä latausvirta
8	Eristysvastusmittauksen testitulos
9	Latausta ennen oikosulun varalta suoritettavan testin tulos
10	Tieto mikäli käyttäjä on pysäyttänyt latauksen
11	Latausaseman tarjoama reaaliaikainen latausvirta
12	Digitaalisen kommunikaation keskeytyminen
13	Tieto latauksen loppumisesta (latausvirran mittauksen perusteella)
14	Kontaktorien hitsautumista estävän toiminnon tiedonvaihto

5.3.2 Tiedonsiirto muissa pikalatausstandardeissa

CHAdEMO-standardissa korkean tason tiedonsiirto auton ja latauslaitteen välillä käydään CAN-protokollan avulla (26, kohta 5). Tämän lisäksi tietoa siirretään analogisten kommunikaatiomenetelmien avulla. GB/T-standardissa korkean tason tiedonsiirto käydään CHAdEMOn tapaan CAN-protokollan avulla (35, kohta 1).

Teslan Supercharger-laturien tiedonsiirtoprotokolla ei ole julkista tietoa. Kuitenkin kuten aiemmin jo todettu, on Tesla siirtymässä käyttämään CCS-latausstandardia Euroopan markkinoilla.

5.4 Latausaseman käyttöliittymä

Pikalatausasemista löytyy käyttöliittymä, josta käyttäjä saa tietoa latauksen alkamisesta, loppumisesta ja latauksen edistymisestä. Lataus myös käynnistetään tämän käyttöliittymän kautta, sen jälkeen kun latausliitin on kiinnitetty. Käyttäjällä tulee olla mahdollisuus latauksen keskeyttämiseen, joten tämäkin mahdollisuus useimmiten toteutetaan saman käyttöliittymän avulla. Käyttöliittymä on usein toteutettu esimerkiksi kosketusnäytön avulla. Käyttöliittymää voidaan tarvittaessa hyödyntää latauksen veloittamiseen tai muihin vastaaviin toimintoihin. Latauslaitteista löytyy usein myös verkkoyhteys, jota kautta tietoja latauksesta ja esimerkiksi veloituksista voidaan jakaa reaaliaikaisesti.

6 Tasasähkölatausasemien käyttäminen käytännössä

Tasasähkölatausasemat tarjoavat nopeimman mahdollisen vaihtoehdon sähköauton lataamiseen. Tämän takia tasasähkölatausasemia löytyykin lähinnä huoltoasemilta, auto-liikkeistä ja liikenteen solmukohtissa olevilta latausasemilta. Tasasähkölatausaseman hinta on myös verrattain korkea, ja korkean lataustehon asema vaatii hyvät yhteydet sähköverkkoon, minkä takia tasasähkölatausasema hyvin harvoin on yksityishenkilön valinta kotiin hankittavaksi latauslaitteeksi. Tasasähkölatauksen standardit mahdollistavat jopa useiden satojen kilowattien lataustehot, mutta nykyisellään useimmat pikalatausasemat (pois lukien Tesla Supercharger) tarjoavat vain n. 50 kW:n lataustehon, esimerkkinä ABC-liikenneasemien pikalatauspisteet (36). Autojen pikalatausvalmiuksien kehittyessä markkina tulee kuitenkin seuraamaan mukana, ja tulemme näkemään yhä enemmän korkeatehoisia tasasähkölatausasemia. Tasasähköllä toimivia pikalatausasemia löytyy nykyisellään kaikkien suurten toimijoiden latausverkostoista.

Tavallisesti latausasemilla tunnistaudutaan joko RFID-tunnisteen perusteella tai mobiilisovelluksella. Pikalatausasemat eivät yleisellä tasolla yleensä ole sen kalliimpia käyttää käyttäjälle kuin muutkaan latausasemat. Usein latauksesta maksetaan ladattujen kilowattituntien mukaan, jolloin lataus on sinänsä samanhintaista kuin hitaamminkin ladatessa. Hintaesimerkkinä Tesla veloittaa Supercharger-asemiensa lataussähköstä 0,24 e/kWh (37).

Latausasemien määrä on ollut viime vuosina voimakkaassa kasvussa. Vuosina 2014–2018 julkisten latausasemien määrä likimain nelinkertaistui (38). Tämän trendin mukana myös pikalatausasemien määrä tulee kasvamaan lähivuosina.

6.1 Tasasähkölatauksen latausteho ja latausteho käytännössä

Tasasähkölatauksen standardit mahdollistavat jo n. 400 kW:n latausteholla lataamisen. Tällä hetkellä rajoittavana tekijänä toimii sekä sähköautojen valmius ottaa vastaan pikalatausta että uusien, nopeiden latausasemien puute. Uusien automallien pikalatausnopeus on jatkuvasti parempi, mutta markkinoilla on vielä useita sähköautoja, joiden latausnopeus on vain murto-osa siitä mitä standardit mahdollistaisivat. Esimerkkinä tästä Volkswagen e-Golf, jota voidaan ladata maksimissaan 40 kW:n latausteholla (39). Lähivuosina tosin monet autonvalmistajat ovat julkaisemassa uusia sähköautojen tuoteperheitä, joissa myös pikalatausnopeudet tulevat olemaan merkittävästi nopeampia kuin nykyisissä sähköautoissa. Esimerkiksi Volkswagen on julkaisemassa pian kokonaisen tuoteperheen uusia I.D.-sähköautoja (40).

Täyssähköautojen lisäksi myös useista Plug-In-hybridiautoista löytyy pikalatausmahdollisuus. Esimerkkinä pikaladattavasta Plug-In-hybridistä käy tällä hetkellä myynnissä oleva Mitsubishi Outlander phev -lataushybridi. Mitsubishi Outlanderin 2018-mallivuoden 12 kWh:n korkeajänniteakusto voidaan ladata pikalatauksella tyhjästä 80 % varausasteeseen n. 25 minuutissa. Vertailun vuoksi Mode 2 -tilapäislaturilla lataus täyteen (120 V / 8 A) kestää n. 13 h ja lataus Mode 3 -kotilatausasemalla (240 V / 30 A) kestää n. 3,5 h. (41; 42)

6.1.1 Käytännön latausnopeuteen vaikuttavat tekijät

Akkujen fysikaaliset ominaisuudet, varauskapasiteetti, käyttöjännite, akuston ja ulkoilman vallitseva lämpötila sekä latausaseman virranantokapasiteetti vaikuttavat sähköauton todelliseen toteutuvaan latausnopeuteen. Ajoneuvon akun hallintajärjestelmä seuraa akun lataustilannetta ja ympäristöolosuhteita ja niiden avulla määrittää latauslaitteelta pyydettävän latausvirran ja -jännitteen. Tavallisesti vain 50–80 %:n varausasteeseen saakka ajoneuvon akustoa voidaan ladata maksimaalisella nopeudella.

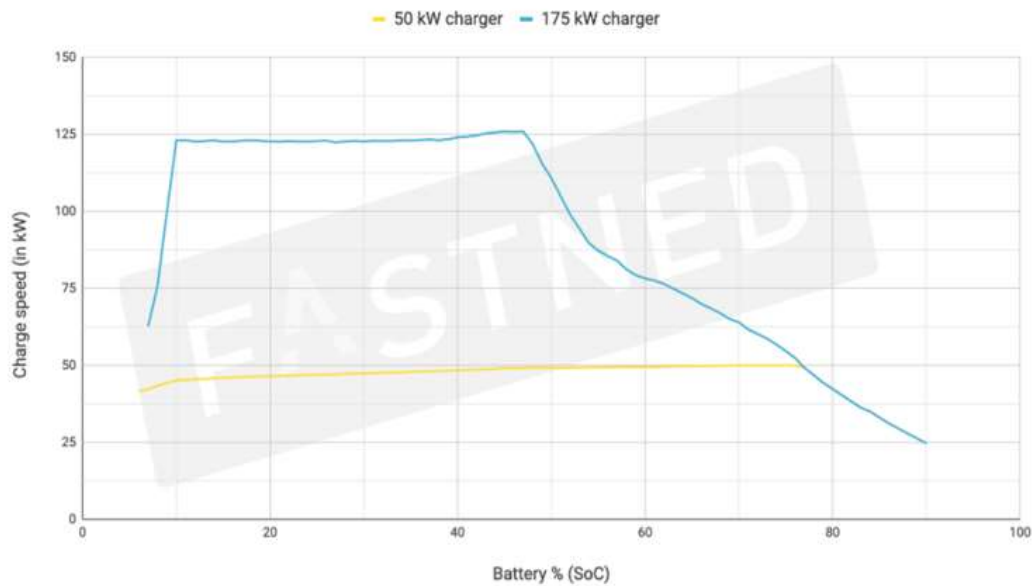
Akuston lämpötilan noustessa latausvirtaa joudutaan rajoittamaan. Akusto lämpenee sekä ladattaessa että purettaessa latausta. Reippaan ajon jäljiltä akuston lämpötila voi olla sen verran noussut, että akustoa ei voida ladata maksimaalisella nopeudella. Litiumioniakusto kärsii vahinkoja mikäli sen lämpötila nousee yli 45 °C:n. Toisaalta jos akuston lämpötila on matala, 5 °C tai alle, vaikuttaa se hyvin negatiivisesti akun latausnopeuteen tai jopa estää lataamisen. Myös korkea tai matala ulkoilman lämpötila vaikuttaa luonnollisesti akuston lämpötilaan. Osasta sähköautoja löytyy mahdollisuus akun lämpötilan kontrollointiin. Akkupakettia voi olla mahdollista lämmitellä sähkövastuksin. Akun kylmennys voidaan toteuttaa johtamalla ilmaa luonnollisesti tai pakotetusti akuston ohi. Tehokkaampia tapoja ovat jäähdytysnestejäähdytys tai dielektrisen öljyn käyttäminen akkujen jäähdytysnesteinä (43). Akustojen lämmitys/jäähdytys mahdollistaa akkujen lataamisen pitkäaikaisesti optimaalisella latausvirralla.

Akuston kapasiteetti ja käyttöjännite vaikuttavat myös osaltaan latausnopeuteen. Laturin latausteho lasketaan normaalin tehon laskukaavan mukaan ($P = UI$), joten mitä suuremmalla virralla ja jännitteellä akkua voidaan ladata, sitä suurempi on latausteho.

Usean auton lataaminen samanaikaisesti samassa latauspaikassa voi hidastaa latausta. Tämä voi johtua rajoitetusta liitännästä sähköverkkoon tai siitä, että yksi laturi tarjoaa samanaikaisesti sähköä kahdelle ladattavalle ajoneuvolle. Tällainen tilanne on ollut mahdollinen esimerkiksi Teslan Supercharger -asemilla, joissa yksi laturi on tarjonnut sähköä kahdelle latauspisteelle. Tällöin järjestyksessä toisena kytketty auto saa vähemmän lataustehoa kunnes ensimmäisenä kytketyn auton latausteho alkaa alentua akun täyttymisen takia. Teslan osalta tilanne on kuitenkin poistumassa uusien V3-Superchargereiden saavuttua markkinoille. (44; 20)

6.1.2 Käytännön esimerkkejä sähköautojen pikalatausnopeuksista

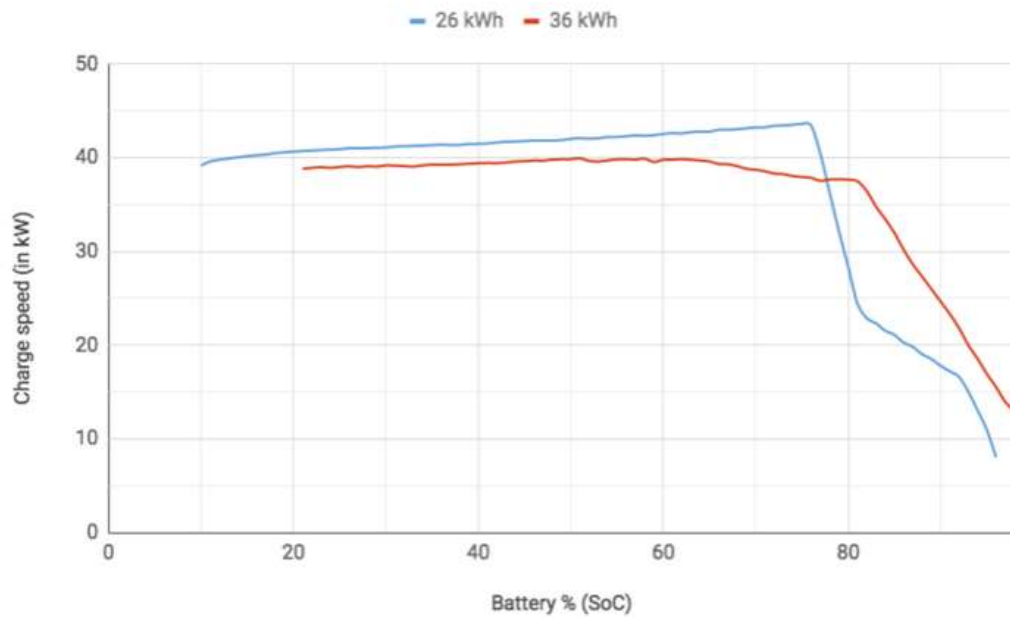
Seuraavassa vertaillaan muutaman suosituksen sähköauton pikalatausnopeuksia. Ensimmäisenä vertailuun on valittu Volkswagen e-Golf, josta löytyy mallivuodesta riippuen noin 26 kWh:n tai noin 36 kWh:n akusto (45). Toisena verrokkina vertailussa on tuore ja kauan odotettu Tesla Model 3 sen Long Range -versiona. Teslasta löytyy arviolta noin 75 kWh:n akusto (46). Kolmantena verrokkina on tuore, 2019 markkinoille tullut Audi e-Tron. Audi on varustettu 95 kWh:n akustolla (47), ja se on samalla Volkswagen-konsernin ensimmäinen täyssähköisen tuoteperheen tuote.



Kuva 10. Tesla Model 3 Long Range pikalatauskuvaaja (48)

Kuvan 11 kuvaajasta voimme todeta, että Teslan lataus säilyy maksimaalisena n. 48 :n% latausasteeseen saakka. 175 kW:n tehoisella laturilla autoa voidaan ladata maksimissaan n. 125 kW:n latausteholla. Pienempitehoisella 50 kW:n laturilla latausteho pysyy

jatkuvasti melko vakaana niin, että täydellä 50 kW:n latausteholla voidaan ladata autoa liki tyhjästä liki täyteen.



Kuva 11. Volkswagen e-Golf pikalatauskuvaaja (49)

Volkswagen e-Golfin pikalataus on huomattavasti hitaampaa, kuten voimme kuvan 12 kuvaajasta todeta. Yli 50 kW:n pikalaturista ei ole hyötyä, sillä auto voi hyödyntää vain noin 40-44 kW:n lataustehon vuosimallista ja akun koosta riippuen. Tuolla 44 kW:n latausteholla voidaan kuitenkin ladata akkua melko pitkään, n. 78%:n varausasteeseen

saakka. Tämän jälkeen latausteho laskee jyrkästi alaspäin kunnes akku lopulta on täynnä.



Kuva 12. Audi e-Tron pikalatauskuvaaja (50)

Kuvassa 13 on kuvattu Audi e-Tronin pikalatauskuvaaja. Kuvasta voimme todeta lataustehon säilyvän erittäin korkeana aivan latauksen alusta latauksen loppuun. Akustoa voidaan ladata noin 150 kW:n latausteholla reilusti alle 20 %:n varausasteesta aina 80 %:n varausasteeseen saakka. Käytännössä latausnopeus ei laske missään vaiheessa alle 50 kW:n. Pienemmällä 50 kW:n laturilla akustoa voidaan ladata jatkuvasti maksimaalisella latausteholla. Audi e-Tron toimii hyvänä esimerkkinä siitä, minkälaisiin latausnopeuksiin tämän hetken parhaat sähköautot pystyvät.

7 Pikalatauksen vaikutus akuston keston

Nyky aikaisten sähköautojen akkuteknologia perustuu pitkälti Litiumioni -akkuteknologian hyödyntämiseen. Litiumioniakkujen hyviä puolia verrattuna esimerkiksi nikkelikadmium (Nicc)-, nikkelimetallihydridi (Nimh)- ja lyijyakkuihin on korkea energiatiheys, parempi lämpötilojen sieto ja se, että litiumioniakuissa ei ole ”muistia”, eli akun varausta voidaan

ylläpitää esimerkiksi puolivälissä ilman vahinkoa akun kapasiteettiin. Litiumioniakkuja käytetään autosovellusten lisäksi esimerkiksi matkapuhelimien ja kannettavien tietokoneiden akuissa. (51)

Sähköautojen akustot koostuvat pääsääntöisesti suuresta määrästä pieniä litiumioniakkuja. Esimerkiksi Tesla on käyttänyt autoissaan 85 kWh:n akustoja, jotka sisältävät 7104 kappaletta 18650-akkuja. 18650-akku on kooltaan hieman perinteistä AA-paristoa suurempi ja jännite täyteen ladattuna 4,2 V. Kun kyseisiä akkuja kytketään riittävästi sarjaan ja rinnan, saadaan muodostettua esimerkiksi 85 kWh:n akusto, jonka käyttöjännite on n. 350–400V. (52)

Litiumioniakkujen tehokas hyödyntäminen vaatii kehittyneen akunhallintajärjestelmän. Litiumioniakku saattaa vaurioitua, mikäli sen varaus puretaan aivan tyhjäksi tai akku puretaan tai ladataan hyvin nopeasti. Myös akun säilyttäminen täydessä varauksessa ja korkeissa lämpötiloissa saa aikaan sen nopeaa ennenaikaista kulumista. Akunhallintajärjestelmän tehtävä onkin estää edellä mainittujen kaltaisten olosuhteiden syntymistä. Optimoimalla akun lämpötilaa ja purkautumis- sekä latausastetta voidaan vaikuttaa merkittävästi akun kestoikään. (51)

Sähköauton akuston uusinta on kuluttajalle suuri investointi. Sähköautojen akkupaketien uusinnan hintalappu on tällä hetkellä luokkaa kymmeniä tuhansia euroja. Lataustapoja valitessa onkin viisasta vähintään tiedostaa mikä on autolle ja sen akustolle edullisin tapa ladata autoa pitkällä aikavälillä.

Pikalatauksen vaikutuksista sähköauton akustolle on tehty viime aikoina muutamia tutkimuksia. Vuonna 2015 Yhdysvaltojen energiaministeriön aloitteesta suoritettiin tutkimus, jossa neljällä uudella Nissan Leaf -täyssähköautolla ajettiin 50 000 kilometriä testiajoa. Kahta näistä autoista ladattiin Mode 3 -laturilla ja kahta Mode 4 -pikalaturilla. Testin tarkoituksena oli selvittää, millainen vaikutus pikalataamisella on akustojen kapasiteettiin ja toimintaan hieman pidemmällä aikavälillä. Autojen akustot irrotettiin ja analysoitiin uusina, matkan varrella 10 000 km:n välein sekä testin lopuksi. Kaikki testin olosuhteet pyrittiin vakioimaan mahdollisimman hyvin luotettavien lopputulosten saamiseksi. Lopputuloksena todettiin, että 50 tkm:n kohdalla pikaladatut sähköautot olivat menettäneet akustonsa kapasiteetista 30 %, kun hitaammin ladatut verrokki-autot olivat menettäneet kapasiteetistaan 25 %. Tämä tulos saatiin tien päällä ajatun testiajon dataa vertailtaessa. Mit-

taustavasta riippuen tulokset hieman vaihtelivat, mutta pysyivät hyvin saman suuntaisina. Samassa testissä havaittiin myös kuumien lämpötilojen negatiivinen vaikutus akustojen toimintaan ja ikääntymiseen. (53)

8 Yhteenveto ja pohdinta

Työn tarkoituksena oli tutkia tasasähkölatausaseman rakennetta, käyttöä ja sille asetettuja vaatimuksia. Kokonaisuutena on yhteenveto, joka antaa hyvän kokonaiskuvan sähköautojen latauksesta ja erityisesti nopeasta tasasähkölatauksesta.

Pikalatauksella on nyt ja etenkin tulevaisuudessa suuri rooli sähköautoilun mahdollistamisessa yhä useammalle kuluttajalle. Pisimmälle menevissä skenaarioissa pikalataus voisi olla niin toimivaa, että kotilatauspisteet eivät olisi pakollisia, vaan pikalataus voisi täyttää sähköautoilijan lataamisen tarpeen samaan tapaan kuin mitä nyt polttoaineen tankkausasemat tekevät. Pikalatausasemien kattaessa tasaisin välein valtateiden varret ja suuremmat asutuskeskukset, voidaan sähköautolla suorittaa kohtuullisella vaivalla ja ajankäytöllä pidempiäkin matkoja.

Pikalatauksen teknisissä ratkaisuissa kehitysnopeus on huimaava. Autojen akustojen koot, pikalatausnopeudet ja näiden myötä pikalatausstandardit kehittyvät nopeaa kyytiä. Kilpailu eri latausstandardien välillä on kovaa, josta tähän mennessä hyvänä esimerkkinä käy Type 3 -latausliitännän näivettyminen. Tälläkin hetkellä kilpailu on todella tiukkaa CCS Combon, GB/T:n, CHAdeMO:n ja Teslan Superchargerin välillä. Todennäköistä on se, että markkinan kehittyessä latausstandardit tulevat vähenemään. Tällä hetkellä ryhmittyneet autonvalmistajat käyttävät paljon resursseja sähköautojen yleisen tekniikan ja lataustapojen keskittämiseen. Jokaisen tärkeän pikalatausstandardin takana on useita autonvalmistajia. Se ryhmittymä, joka saa luotua standardin, josta lopulta tulee suurin, voittaa. Muiden käyttämä rahallinen panos valuu ainakin osittain hukkaan. Markkina on kuitenkin laaja, ja saattaakin olla, että ainakin parille standardille on tilaa. Kilpailu on kuitenkin vasta alussa ja aika näyttää miten lopulta käy.

Viime aikoina on jo kuultu uutisia GB/T:n ja CHAdeMO:n yhteistyöstä seuraavan sukupolven latausjärjestelmän kehittämisessä. Tarkoituksena olisi, että kaikki vanhemmat CHAdeMO:n ja GB/T:n latauspistokkeet olisivat yhteensopivia uuden standardin kanssa (54). Autonvalmistajat ovat myös nykyisellään alkaneet toimittaa autoja eri mantereille

manterekohtaisella latausstandardilla varustettuina. Esimerkkinä Tesla Model 3, josta löytyy CCS Combo 2 -latausliitäntä (12). Näistä muutoksista nähdään, että tilanne latausstandardien ja niiden voimasuhteiden välillä elää jatkuvasti.

Kehitys on siis ollut nopeaa ja noin viimeisen kymmenen vuoden aikana sähköautojen latausnopeudet ovat nousseet useita satoja prosentteja lähtötasosta nykyisiin lukemiin, jotka mahdollistavat autojen pikalatauksen satojen kilowattien teholla. Kehitys ei myöskään varmasti ole saavuttanut vielä huippuaan. Lähivuosina tulemme näkemään voimakasta kehitystä latausnopeuksissa, jonka mahdollistaa muun muassa tehokkaasti jäädytetyt pikalatauskaapelit.

Sähköteknisenä laitteena tasasähkölatausasema on melko yksinkertainen. Latauslaite kytketään kolmivaiheiseen sähköverkkoon ja laite sisältää komponentit, joilla sähkö saadaan tasasuunnattua sekä jännite muutettua auton toivomaksi. Laite sisältää tämän lisäksi käyttöliittymän ja usein verkkoyhteyden, jonka kautta voidaan tarvittaessa toteuttaa esimerkiksi latauksen veloittamiseen vaadittava tiedonsiirto. Tavallisesti käyttäjäautentikointi suoritetaan matkapuhelinsovelluksen tai etäluettavan tunnisteiden (esim. rfid) avulla. Kytkennän sähköverkkoon tulee olla riittävän hyvä, jotta suuria virtoja voidaan turvallisesti ja tehokkaasti siirtää, kun esimerkiksi useita autoja on kytkettynä lataukseen samanaikaisesti.

Pikalataaminen on sähköautoissa yleisesti käytetylle litiumioniakustolle kuluttavampaa kuin hidas lataaminen. Vaikutus ei ole hirveän suuri, mutta aivan selkeästi havaittavissa. Jokaisen sähköauton käyttäjän tulee itse arvioida, onko vaikutus niin suuri, että se kannattaisi lataustottumuksissa huomioida. Useimmissa tilanteissa pikalatauksen hyödyt ulosmittaavat tämän ainoan haitan.

Lähteet

- 1 Falvo, Maria Carmen; Sbordone, Danilo; Bayram, I. Safak & Devetsikiotis, Michael. 2014. EV Charging Stations and Modes: International Standards. Italy: Ischia.
- 2 Sähköajoneuvojen lataussuositus 2018. Verkkoaineisto. Sesko ry. < https://www.sesko.fi/files/889/Lataussuositus_2018_2018-03-08.pdf>. Luettu 11.5.2019.
- 3 SFS-EN 62196. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles. 2014. Helsinki: Suomen standardisointiliitto.
- 4 SAE J1772. SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler. 2017. SAE International.
- 5 Phoenix contact charging cable, type 1. Verkkoaineisto. Evexpert.eu. < <https://www.evexpert.eu/p/284/phoenix-contact-charging-cable-type1-open-end-32a>>. Luettu 6.5.2019.
- 6 T3 Charging cables for France. Verkkoaineisto. EV Chargeking. < <https://www.evchargeking.com/en/t3-charging-cables-for-france>>. Luettu 6.5.2019.
- 7 SFS-EN 61851-23. Electric vehicle conductive charging system – Part 23: DC electric vehicle charging station (IEC 61851-23:20154). 2014. Helsinki: Suomen standardisointiliitto.
- 8 Herron, David. EV DC Fast Charging standards- CHAdeMO, CCS, SAE Combo, Tesla Supercharger, etc. Verkkoaineisto. < <https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-supercharger-etc.html>> Luettu 11.5.2019.
- 9 GB/T 20234.3. Connection set for conductive charging of electric vehicles Part 3: DC charging coupler. 2015. Shenzhen: The Standardization Administration of the People's Republic of China
- 10 Holland, Maximilian. 2018. CCS Becoming Dominant DC Charging Standard In Europe – Will Nissan Drop CHAdeMO? Verkkoaineisto. Cleantechnica. < <https://cleantechnica.com/2018/11/22/ccs-becoming-dominant-dc-charging-standard-in-europe-will-nissan-drop-chademo/>>. Luettu: 11.5.2019.
- 11 Lataustavat. Verkkoaineisto. Volkswagen AG. < <https://www.volkswagen.fi/fi/sahkoautot/lataustavat.html>> Luettu 6.5.2019.

- 12 Lambert, Frederic. 2018. Tesla confirms Model 3 is getting a CCS plug in Europe, adapter coming for Model S and Model X. Verkkoaineisto. Electrek. < <https://electrek.co/2018/11/14/tesla-model-3-ccs-2-plug-europe-adapter-model-s-model-x/>> Luettu: 11.5.2019.
- 13 Kane, Mark. 2018. European CCS (Type 2/Combo 2) Conquers World- CCS Combo 1 Exclusive To North America. Verkkoaineisto. Insideevs. < <https://insideevs.com/news/333637/european-ccs-type-2-combo-2-conquers-world-ccs-combo-1-exclusive-to-north-america/>> Luettu: 11.5.2019.
- 14 Jar, Ben & Miller, Allan & Watson, Neville. 2016. Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger. Verkkoaineisto. < https://www.researchgate.net/publication/319162700_Rapid_EV_Chargers_Implementation_of_a_Charger> Luettu: 11.5.2019.
- 15 Chademo releases the latest version of the protocol enabling up to 400 kW. 2018. Verkkoaineisto. CHAdeMO association. < <https://www.chademo.com/chademo-releases-the-latest-version-of-the-protocol-enabling-up-to-400kw/>> Luettu: 11.5.2019.
- 16 Dyden 1.0 CHAdeMO Connector. Verkkoaineisto. CHAdeMO association. <<https://www.chademo.com/portfolios/dyden/#>> Luettu 7.5.2019.
- 17 Model 3 Combined Charging System 2 (Combo 2). Verkkoaineisto. Tesla. < https://www.tesla.com/fi_FI/support/model-3-charging?redirect=no> Luettu 7.5.2019.
- 18 Lambert, Frederic. 2016. Tesla quietly upgraded its Superchargers for faster charging, now capable of 145 kW. Verkkoaineisto. Electrek. < <https://electrek.co/2016/07/20/tesla-supercharger-capacity-increase-145-kw/>> Luettu: 11.5.2019.
- 19 Lambert, Frederic. 2017. A look at Tesla Model 3 charging options. Verkkoaineisto. Electrek. < <https://electrek.co/2017/08/02/tesla-model-3-charging-options/>> Luettu: 11.5.2019.
- 20 Introducing V3 Supercharging. 2019. Verkkoaineisto. Tesla. < https://www.tesla.com/fi_FI/blog/introducing-v3-supercharging?redirect=no> Luettu: 11.5.2019.
- 21 Avda. 2014. Tesla Supercharger Stations in Munchberg, Germany at the A9. Verkkoaineisto. < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tesla_Supercharger_Stations_-_Germany_-_A9_-_2014.jpg> Luettu: 11.5.2019.
- 22 Kane, Mark. 2018. China Is Developing New GB/T Fast Charging Standard At 900 kW. Verkkoaineisto. Insideevs. < <https://insideevs.com/news/338620/china-is-developing-new-gb-t-fast-charging-standard-at-900-kw/>> Luettu: 11.5.2019.

- 23 DC charging cables. Verkkoaineisto. Phoenix Contact. < https://www.phoenixcontact.com/online/portal/in?1dmy&urile=wcm:path:/inen/web/main/products/subcategory_pages/DC_charging_cables_P-29-03-01/528f4283-28d9-4efc-ae2f-ffc8b0307be2> Luettu 7.5.2019.
- 24 Standardien valmistelun pääperiaatteet. Verkkoaineisto. Sesko ry. < https://www.sesko.fi/osallistuminen/ohjeita_asiantuntijoille/standardien_valmistelun_paaperiaatteet> Luettu: 11.5.2019.
- 25 SFS-EN ISO 17409. Electrically propelled road vehicles. Connection to an external electric power supply. Safety requirements. 2017. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 26 SFS-EN 61851-24. Electric vehicle conductive charging system – Part 24: Digital communication between a D.C. EV charging station and an electric vehicle for control of D.C. charging (IEC 61851-24:2014). 2014. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- 27 SFS 6000-7-722. Pienjänniteasennukset. Osa 7-722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. 2017. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 28 SFS-EN 62196-1. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 1: General requirements (IEC 62196-1:2014, modified). 2014. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 29 Liquid cooling leads to low ev charger weight. Verkkoaineisto. Concorde Publishing Ltd. < <https://www.environmentalengineering.org.uk/news/liquid-cooling-leads-low-ev-charger-cable-weight-6882/>> Luettu: 7.5.2019.
- 30 Antao, Romulo & Escadas Martins, Rui & Gologalves, Tiego. 2013. Modular Design of DC-DC Converters for EV Battery Fast-Charging. Verkkoaineisto. < https://www.researchgate.net/publication/236212655_Modular_Design_of_DC-DC_Converters_for_EV_Battery_Fast-Charging> Luettu: 11.5.2019.
- 31 Heino, Jani. 2017. Buck -hakkurin tutkiminen ja suunnittelu. Insinööriyö. Lahden ammattikorkeakoulu, Tietotekniikan koulutusohjelma. Theseus -tietokanta.
- 32 Kübel, Mathias. 2015. Design Guide for Combined Charging System. Verkkoaineisto. Initiative charging interface. < http://tesla.o.auroraobjects.eu/Design_Guide_Combined_Charging_System_V3_1_1.pdf> Luettu: 11.5.2019.
- 33 Zyren, Jim. EV Combined Charging System Featuring HomePlug Green PHY. Verkkoaineisto. Qualcomm. < https://www.qualcomm.com/sites/ember/files/uploads/ev_combined_charging_qualcommautotechconf_april_2015.pdf> Luettu: 22.5.2019.

- 34 Linja-aho, Vesa. 2019. Autoelektroniikan lehtori, Metropolia AMK, Helsinki. Sähköpostitiedoksianto. 21.5.2019.
- 35 GB/T 27930. Communication Protocols between Off-Board Conductive Charger and Battery Management System for Electric Vehicle. 2015. Shenzhen: National standard of the people's republic of China.
- 36 Sähköauton lataus. Verkkoaineisto. Suomen Osuuskauppojen Keskuskunta (SOK). < <https://www.abcasemat.fi/fi/polttoaineet/sahkoauton-pikalataus>> Luettu: 7.5.2019.
- 37 Matkalla. Verkkoaineisto. Tesla. < https://www.tesla.com/fi_FI/supercharger> Luettu 7.5.2019.
- 38 Latausasemien määrä nelinkertaistui. 2018. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. < <https://www.energiuutiset.fi/uutiset/latausasemien-maara-nelinkertaistui.html>> Luettu: 11.5.2019.
- 39 Volkswagen e-Golfin lataaminen. Verkkoaineisto. Plugit Finland Oy. < <https://plugit.fi/fi-fi/article/etusivu/volkswagen-e-golfin-lataaminen/402/>> Luettu 7.5.2019.
- 40 Sähköautot. Verkkoaineisto. Volkswagen AG. < <https://www.volkswagen.fi/fi/sahkoautot.html>> Luettu 7.5.2019.
- 41 2018 Mitsubishi Outlander Specifications. Verkkoaineisto. Mitsubishi Motors North America, Inc. < <https://www.mitsubishicars.com/outlander-phev/2018/specifications>> Luettu 7.5.2019.
- 42 Mitsubishi Outlander PHEV frequently asked questions. Verkkoaineisto. The Colt Car Company. < <https://www.mitsubishi-cars.co.uk/new-cars/outlander/pehv/faq/>> Luettu 7.5.2019.
- 43 What is the Best Electric Vehicle Battery Cooling System? 2017. Verkkoaineisto. AVID Technology Limited. < <https://avidtp.com/what-is-the-best-cooling-system-for-electric-vehicle-battery-packs/>> Luettu: 11.5.2019.
- 44 Supercharger SuperGuide: Picking the Right Stall. Verkkoaineisto. FAQware. < <https://teslatap.com/articles/supercharger-superguide/#stall>> Luettu 7.5.2019.
- 45 Volkswagen e-Golf. Verkkoaineisto. EV Database. < <https://ev-database.org/car/1087/Volkswagen-e-Golf>> Luettu 7.5.2019.
- 46 Tesla Model 3 Long Range Dual Motor. Verkkoaineisto. EV Database. < <https://ev-database.org/car/1138/Tesla-Model-3-Long-Range-Dual-Motor>> Luettu 7.5.2019.

- 47 Logan, Bryan. 2018. The Audi e-tron all-electric SUV is here, and it may have just eaten Tesla's lunch. Verkkoaineisto. Business Insider. < <https://www.businessinsider.in/the-audi-e-tron-all-electric-suv-is-here-and-it-may-have-just-eaten-teslas-lunch/articleshow/65851463.cms>> Luettu: 11.5.2019.
- 48 Charging with a Tesla Model 3. Verkkoaineisto. Fastned. < <https://support.fastned.nl/hc/en-gb/articles/360012178313-Charging-with-a-Tesla-Model-3>> Luettu 7.5.2019.
- 49 Charging with a Volkswagen e-Golf or e-Up! Verkkoaineisto. < <https://support.fastned.nl/hc/en-gb/articles/205205168-Charging-with-a-Volkswagen-e-Golf-or-e-up->> Luettu 7.5.2019.
- 50 Charging with an Audi e-Tron. Verkkoaineisto. Fastned. <<https://support.fastned.nl/hc/en-gb/articles/360000815988-Charging-with-an-Audi-e-tron>> Luettu 7.5.2019.
- 51 BU-204: How do Lithium Batteries Work? Verkkoaineisto. Battery University/Buchmann, Isidor. <https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/lithium_based_batteries> Luettu 7.5.2019.
- 52 Roper, L. David. 2019. Tesla Model S. Verkkoaineisto. < <http://www.roperid.com/science/teslamodels.htm>> Luettu: 11.5.2019.
- 53 Shirk, Matthew & Wishart, Jeffrey. 2015. Effects of Electric Vehicle Fast Charging on Battery Life and Vehicle Performance. Verkkoaineisto. < https://www.researchgate.net/publication/301366411_Effects_of_Electric_Vehicle_Fast_Charging_on_Battery_Life_and_Vehicle_Performance> Luettu: 11.5.2019.
- 54 China turns to CHAdeMO for fast charging: Single unified standard. 2018. Verkkoaineisto. Automotivetestdrivers.com. < http://www.automotivetestdrivers.com/l9ddt_dwoy4/?doing_wp_cron=1556293989.6173028945922851562500> Luettu: 11.5.2019.