

Henri Lohilahti

Sähköautojen lataustavat ja -kytkennät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööryö

21.5.2018

Tekijä Otsikko	Henri Lohilahti Sähköautojen lataustavat ja -kytkennät
Sivumäärä Aika	22 sivua 21.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja	Lehtori Vesa Linja-aho
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää sähköautojen lataustapoja ja perehtyä latauskytkentöihin. Samalla tehtiin katsaus sähköautoihin Suomessa. Työ suoritettiin kirjallisuustutkielmana.</p> <p>Työn aikana tutustuttiin sähköautojen lataamiseen liittyviin standardeihin sekä kansallisiin ohjeistuksiin, joilla pyritään takaamaan sähköautojen turvallinen lataaminen ja eri valmistajien tuottamien laitteiden yhteensopivuus. Lisäksi selvitettiin erilaiset sähköautojen lataustavat sekä lataamiseen käytetyt latauskytkennät.</p> <p>Sähköautojen lataamiseen käytetyn tekniikan osalta syvennyttiin latauspistokkeisiin ja esiteltiin yleisimmin käytössä olevat versiot niistä. Pistokkeiden rakenne ja toiminta selvitettiin, jolloin saatiin kuva siitä, mitä latauspistokkeelta ja ladattavalta ajoneuvolta vaaditaan lataustapahtuman turvalliseen onnistumiseen. Lisänä tehtiin lyhyt katsaus sähköautoissa yleisten litiumioniakkujen lataamiseen.</p> <p>Insinööriyön tuloksena saatiin selvitys sähköautojen lataamiseen käytettävistä kytkennöistä ja niiden toiminnasta. Aiheeseen liittyvät standardit havaittiin kattaviksi, mutta vaikeasti hallittavaksi kokonaisuudeksi.</p>	
Avainsanat	sähköauto, lataaminen, latauspistoke, litiumioniakku, control pilot, proximity pilot

Author(s) Title	Henri Lohilahti Charging Connections of Electric Vehicles
Number of Pages Date	22 pages 21 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to study charging connections and communication methods used for charging electric vehicles. The purpose was to gather information from various sources and to summarize this subject about which there is a limited amount of simplified information available.</p> <p>The study was carried as follows. Firstly, topic-related literature and international standards were studied. Secondly, the Finnish recommendations and laws about this subject were compared with international standards. Finally, information gathered was summarized and collected in this Bachelor's thesis.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, the key information on how electric vehicles communicate with supply equipment was summarized. It was found out that most of the relevant information was only available in the form of international standards. This Bachelor's thesis presents the functions of the charging equipment of electric vehicles in a compact form when compared with the way it has been described in the standards.</p>	
Keywords	electric vehicle, charging, EVSE, control pilot, proximity pilot, lithium-ion battery

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköautot Suomessa	2
3	Litiumioniakut	3
4	Sähköajoneuvon lataustavat	4
4.1	Lataustapa 1	4
4.2	Lataustapa 2	4
4.3	Lataustapa 3	5
4.4	Lataustapa 4	6
4.5	Lataustapojen mahdollistamat virrat ja jännitteet	6
5	Latauskytkennät	7
5.1	Latauspistokkeet	8
5.1.1	Tyyppi 1 - J1772	8
5.1.2	Tyyppi 2 - Mennekes	9
5.1.3	Tyyppi 3 - Scame	10
5.1.4	Tyyppi 4 - CHAdeMO	10
6	Latauksen kommunikaatio	11
6.1	Pistokkeen toiminnot	11
6.2	Kytkenän tunnistus (Proximity Pilot)	12
6.2.1	Kytkenän tunnistus piiri varustettuna erillisellä kytkimellä	12
6.2.2	Kytkenän tunnistuksen piiri varustettuna maksimivirran tunnistuksella.	13
6.3	Control Pilot	14
6.4	DC-lataus	16
7	Lataussykli	18
8	Yhteenveto	19
	Lähteet	21

Lyhenteet

PWM	Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio. Tapa säätää jännitteen keskiarvoa pulssisuhdetta muuttamalla.
AC	Alternating Current, vaihtovirta. Sähkövirta, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona.
DC	Direct Current, tasavirta. Sähkövirta, jonka suunta ei muutu.
IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
SAE	Society of Automotive Engineers. Yhdysvalloissa perustettu autoalan standardointijärjestö.
CAN	Controller Area Network, mm. ajoneuvoissa käytetty automaatioväylä.
EVSE	Electronic Vehicle Supply Equipment. Sähköajoneuvon latauslaite.
CP	Control Pilot. Sähköajoneuvon latauksen hallinnassa käytetty toiminto.
CCS	Combined Charging System. Pikalatausmetodi, joka hyödyntää tyyppin 1 ja 2 Combo-pistokkeita.

1 Johdanto

Sähköautot yleistyvät hiljalleen tekniikan, etenkin akkujen, kehittyessä ja halventuessa. Sähkömoottoreilla on monia etuja perinteisiin polttomoottoreihin verrattuna. Sähkömoottorista ei tule pakokaasuja, joten sen käyttö ei tuota ilmasto-kuormittavia päästöjä. Sähköä voidaan tuottaa uusiutuvilla luonnonvaroilla kuten tuuli- tai aurinkoenergialla, joten se ei lopu maapalloilta kuten öljy. Sähkö on myös edullisempaa kuin fossiiliset polttoaineet. Sähkömoottori on rakenteeltaan yksinkertainen, ja siten myös sen vikaherkkyys on matalampi kuin polttomoottorilla. Miksi siis useimmat meistä vielä ajavat polttomoottori-autoilla?

Syy löytyy akuista. Sähköautojen akkujen lataaminen ei ole aivan yhtä helppoa ja nopeaa kuin polttomoottoriauton tankkaaminen. Nopeimmillakin pikalatausasemilla saadaan kantamaa noin 270 km puolessa tunnissa [1]. Vastaavan ajomäärän verran fossiilista polttoainetta tankkaa minuuteissa. Lisäksi pikalatausasemia on harvassa ja useissa sähköajoneuvoissa ei ole edes mahdollisuutta pikalataukseen. Koska nopea varaaminen myös kuluttaa akkuja, pikalatausta ei ole tarkoitettu säännölliseen käyttöön. Näiden rajoitteiden takia sähköautojen lataaminen tapahtuu yleensä huomattavasti hitaammilla lataustavoilla, joilla akkujen täyteen varaaminen vie useita tunteja.

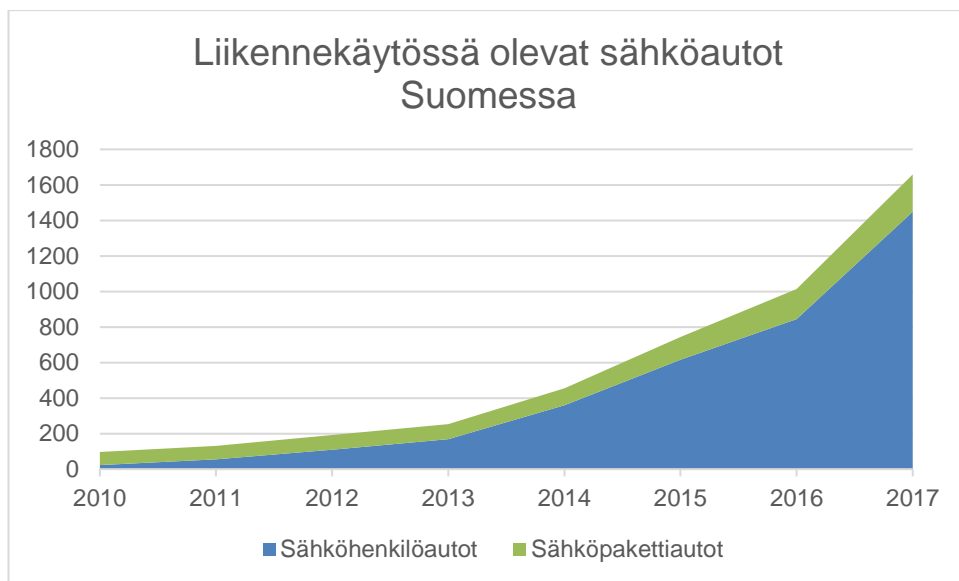
Akkujen varaamiseen on monia eri tapoja, jotka vaativat erilaiset laturit tai kiinteän latausaseman. Kaikkia lataustapoja ei voida käyttää kaikkiin ajoneuvoihin. Tämän lisäksi kaikissa ajoneuvoissa ei ole samanlaisia kytkentämahdollisuuksia. Autoissa käytetään onneksi standardoituja pistokkeita, mikä rajaa vaihtoehdot muutamaankin pistokkeeseen. Näistä jokaisella on omat etunsa ja rajoitteensa sekä käytön että latausmahdollisuuksien suhteen.

Tässä insinööriyössä selvitetään sähköauton lataustapoja sekä perehdytään erityisesti tyyppiin 1 ja 2 latauspistokkeiden kytkentään ja näiden kautta tapahtuvaan lataukseen. Lataamista selvitetään myös litiumioniakkujen vaatimusten kautta. Työ suoritetaan kirjallisuustutkielmana.

2 Sähköautot Suomessa

Sähköautot eivät ole täysin uusi asia Suomessa. Esimerkiksi Posti on käyttänyt sähköautoja jakelutehtäviin jo 90-luvulla. Enimmillään Postilla oli käytössä 61 sähköautoa. [2] Nämä postin käyttämät Elcat-merkkiset sähköautot olivat valmistettu Suomessa. Kaikkiin Elcat ehti valmistaa Subarun alustalle yli 200 suomalaista sähköautoa. [3]

Suomen sähköautokanta on pysynyt hyvin pienenä viime vuosiin asti. Sähköautot ovat alkaneet hitaasti yleistymään vasta tämän vuosikymmenen aikana. Esimerkiksi vuoden 2010 lopussa Suomessa oli rekisterissä vain 97 sähköautoa. Vuoden 2017 lopussa sähköautojen määrä oli kasvanut jo 1682 autoon, josta kyseisenä vuonna lisäystä oli 654 autoa. [4] Kuvassa 1 on kuvattu sähköautojen määrän kehitystä Suomessa. Sähköautojen määrän kasvu on prosentuaalisesti suurta, mutta silti niiden markkinaosuus on vielä hyvin pieni verrattuna kaikkiin myytyihin autoihin.



Kuva 1. Sähköautojen määrä Suomessa [4]

Sähköautojen määrän kasvua Suomessa hidastavat monet tekijät. Yksi suurimmista tekijöistä on hinta. Esimerkiksi Suomen toiseksi myydyin sähköauto Nissan Leaf maksaa uutena noin 36 000 €. Vastaavan kokoisen polttomoottorikäyttöisen auton Nissan Pulsarin, hinta on vain noin 18 000 €. [5] Sähköauton hankintaan saa 2000 € hankintatukea, mutta silti hinta jää lähes kaksinkertaiseksi [6]. Korkeamman hankintahinnan lisäksi sähköautojen jälleenmyyntiarvo voi laskea vastaavaa polttomoottoriautoa nopeammin.

Toinen merkittävä tekijä on julkisten latauspisteiden vähyys. Vaikka latausverkosto on parantunut viime vuosina esimerkiksi kauppakeskusten tarjoamien latausmahdollisuuksien myötä, sähköautojen latauspaikkoja on silti hyvin rajallisesti. Latauspisteet keskittyvät lähinnä suurten kaupunkien alueille, mikä hankaloittaa sähköauton käyttöä muualla maassa. Pitempien matkojen tekeminen vaatii useimpien sähköautojen tapauksessa latausta matkalla. Tällöin on tarvetta pikalatausasemalle, jotta latausaika ei venyisi kohtuuttoman pitkäksi. Vaikka pikalatausasemia on alkanut ilmestyä suurimmille huoltoasemille, pikalatausverkko ei vielä kata koko Suomea. Tämä rajoittaa sähköauton käyttömahdollisuuksia esimerkiksi Itä- ja Pohjois-Suomessa.

Sähköautoja voidaan ladata myös tavallisesta sukopistorasiasta, mutta tällöin rajoitteena on lataamisen hitaus. Kotilatauspisteissä hitaus ei ole ongelma, koska autoa voidaan yleensä ladata pitempiä aikoja, esimerkiksi yön ajan. Sukopistorasiasta tapahtuva lataus on kuitenkin tarkoitettu vain tilapäiseen käyttöön ja siksi myös kotiin tulisi asentuttaa kiinteä latauspiste. Kotilatauspisteen tarve osaltaan lisää sähköautoon siirtymisen kuluja. Lisäksi taloyhtiöiden tapauksessa latauspisteen saaminen voi muodostua hankalaksi.

3 Litiumioniakut

Nykyisin sähköautoissa käytetään enimmäkseen litiumioniakkuja. Juuri tämä akkutyypin on valittu moniin sähköautoihin, koska sillä on hyvä energiatiheys. Sen ansiosta akustojen fyysinen koko saadaan pidettyä kohtuullisena ja kapasiteetti riittävänä, mikä on erityisen tärkeää sähköautoille. Lisäksi litiumioniakkujen itsepurkautuminen on pientä. Monia akkukemioita vaivaava muisti-ilmiö, jossa akku menettää kapasiteettiaan, jos sitä ei varata täyteen tai purettaisi koskaan tyhjäksi ei ole merkittävä vaiva näillä akuilla.

Litiumioniakut ovat tarkkoja lataamisen ja purkamisen sekä lämpötilan suhteen. Nämä ominaisuudet korostuvat, kun yksittäisistä kennoista koostetaan akku. Akun sisällä sarjaan kytketyt kennot voivat herkästi ylilatautua, tai niiden varaustaso voi pudota liikaa. Pahimmillaan ylilatautunut tai ylikuumentunut akku voi syttyä tuleen. Näiden ongelmien vuoksi litiumioniakkujen kanssa käytetään akustonhallintajärjestelmää (battery management system, myöhemmin: BMS). Akustonhallintajärjestelmän tehtäviä ovat: [7]

- jännitteen ja lämpötilan valvonta
- akun suojaaminen
- varauksen arviointi
- akun suorituskyvyn maksimointi
- raportointi käyttäjälle tai muille laitteille

Litiumioniakun lataaminen tapahtuu kolmessa osassa. Ensimmäinen osa on vakiovirralla lataaminen: Akkua ladataan tietyllä virralla, kunnes haluttu kennojännite on saavutettu. Tämän jälkeen kennojen väliset erot varaustilassa tasataan. Lopuksi akkua ladataan vakiojännitteellä, kunnes järjestelmän latausvirta saavuttaa noin 3 % nimellisvirrasta. Tämän vuoksi akkujen varautuminen hidastuu lataamisen aikana, eikä akkuja voida ladata täydellä teholla 100 %:n varaukseen saakka.

4 Sähköajoneuvon lataustavat

Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio International Electrotechnical Commission on jakanut sähköautojen lataamisen neljään tapaan. [8]

4.1 Lataustapa 1

Lataustapa 1 käyttää lataamiseen tavallista kotitalouksien 1- tai 3-vaiheista pistorasiaa. Latauskaapelissa ei ole mitään suojatoimintoja. Tällöin latauksessa luotetaan täysin kiinteistön sähköasennuksiin. Tapa 1 soveltuu lähinnä kevyen pienitehoisen sähköajoneuvon, kuten sähköpolkupyörän, lataamiseen.

4.2 Lataustapa 2

Lataustavassa 2 latauskaapeli kytketään tavalliseen vaihtojännitepistorasiaan, kuten lataustavassa 1. Erona kuitenkin on latauskaapelissa sijaitseva ohjaus- ja suojalaiteyksikkö. Tämä laite sisältää vikavirtasuojan ja kommunikaatiomodulin. Vikavirtasuojan

tarkoitus on automaattisesti katkaista jännite, mikäli johtimen menevä ja palaava virta ovat erisuuret. Näin käyttäjä on suojattu sähköiskulta, vaikka pistorasiassa ei olisi vikavirtasuojaa. Laite myös hallitsee ajoneuvon lataustapahtumaa control pilot -toiminnon (myöhemmin: CP-toiminnon) avulla. Tämä tapa on tarkoitettu sähköajoneuvon tilapäiseen lataukseen, jos latausasemaa ei ole saatavilla. [9]

Lataaminen kotitalouden sukopistorasiasta

Kotitalouksien sukopistorasiat ovat nimellisvirraltaan 16 A:n pistorasioita. Tästä huolimatta näitä pistorasioita ei ole suunniteltu kestämään 16 A:n virtaa pitkäaikaisesti. Pistokytkimiä koskeva standardi SFS 5610 mukaan pistokytkimiä testataan 22 A:n virralla vain yhden tunnin ajan. [10] Toistuva pitkäkestoinen lataaminen 16 A:n virralla kuormittaisi pistorasiaa tavalla, jota sen ei ole testattu kestävän. Kun tähän lisätään pistorasian kulumisen ja likaantumisen on selvää, että pistorasiasta ei ole järkevää ottaa täyttä 16 A:n virtaa useiden tuntien ajan. Juuri näin toimittaisiin esimerkiksi ladattaessa sähköautoa yön yli.

Tämän vuoksi on laadittu syksyllä 2016 voimaan tullut standardi SFS-EN 62752, joka edellyttää sukolatausjohtojen maksimivirran rajoittamisen 8 ampeeriin pitkäkestoisessa latauksessa. [10] Tällöin varmistetaan, että kuluttaja voi huoletta käyttää latausjohtoa tietämättä onko pistorasia suojattu 10 A:n vai 16 A:n sulakkeella. 8 A:n virtaa on myös pidetty riittävän alhaisena, jopa kuluneellekin pistorasialle, jollaisia näkee usein esimerkiksi autojen lämmitystolpissa.

Joissakin latausjohdoissa on mahdollisuus tilapäisesti tai käyttäjän harkinnan mukaan nostaa latausvirtaa. Usein näissä latausjohdoissa on pistotulppaan sijoitettu lämpötilanturi, joka suojaa pistokytkimen ylikuumentumiselta. Näin toimii esimerkiksi Volvon käytämä latausjohto.

4.3 Lataustapa 3

Lataustavassa 3 lataukseen käytetään kiinteästi asennettua latauslaitetta. Se kommunikoi auton laturin kanssa hyödyntäen CP-toimintoa tai muuta keinoa, kuten CAN-väylää. Kommunikaatiota käytetään, jotta latausteho voidaan säätää sähköasennusten mukaiseksi. Lisäksi varmistetaan siitä, että ajoneuvo on kytketty oikein latauspisteeseen.

Sähköautopistorasia koostuu kommunikaatiomoduulista, vikavirtasuojasta ja sulakkeesta sekä latauspistokkeesta. Lataustapa 3 on sähköauton varsinainen lataustapa.

4.4 Lataustapa 4

Lataustapa 4 tarkoittaa DC-latausta ulkoisella laitteella. Tällöin lataustapahtumaa ohjaa ajoneuvo. Ulkoinen laturi kommunikoi auton kanssa asettaakseen oikean jännitteen ja virran. Tässä lataustavassa ajoneuvon ja latausaseman välinen kaapeli on kytketty kiinteästi latauspisteeseen. Liittimien tulee kestää yli 100 A:n suuruisia virtoja ja sen on oltava lukittu lataustapahtuman aikana. Lataustapa 4 on tarkoitettu sähköajoneuvojen pikalataukseen.

4.5 Lataustapojen mahdollistamat virrat ja jännitteet

Eri lataustapojen mahdollistamat latausvirrat ja -jännitteet eroavat toisistaan merkittävästi. Näitä eroja on kuvattu taulukossa 1. Eroavaisuudet johtuvat tuettujen vaiheiden määrästä ja lataustapojen vaatimuksista.

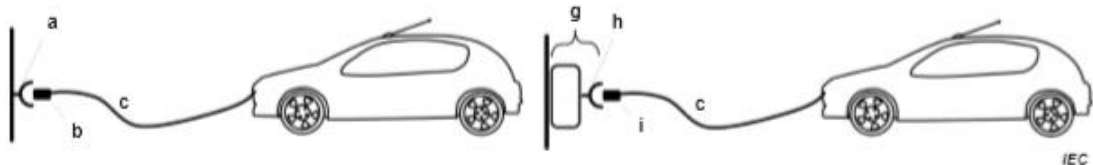
Taulukko 1. Lataustapojen ominaisuudet [8]

	Virta	Vaiheiden lukumäärä	Maksimi virta (A)	Maksimi jännite (V)
Tapa 1	AC	1	16	250
Tapa 2	AC	1 tai 3	32	250 tai 480
Tapa 3	AC	3	32	480
Tapa 4	DC	-	400	1000

5 Latauskytkennät

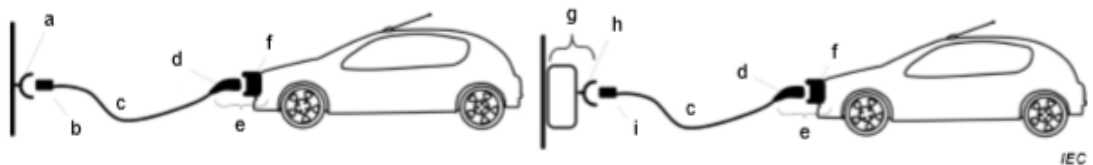
Ladattavan ajoneuvon ja latauspisteen välinen kytkentä voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla.

- Tapaus A: Latauskaapeli on asennettu kiinteästi ajoneuvoon. Käytetty yleensä vain kevyiden ajoneuvojen kanssa. Kytkentää on havainnollistettu kuvassa 2.



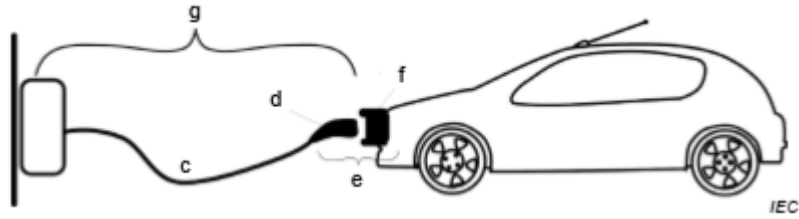
Kuva 2. Tapaus A [8]

- Tapaus B: Kaapeli on irrotettava ja varustettu pistokkeilla, joilla se voidaan kytkeä ajoneuvoon ja latauspisteeseen. Yleisin latauskytkentä. Kytkentää on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Tapaus B [8]

- Tapaus C: Latauskaapeli pistokkeineen on kiinteä osa latausasemaa. Yleisesti käytössä lataustavan 4, eli DC-latauksen yhteydessä. Kytkentää on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Tapaus C [8]

Kuvien selitykset:

a = pistorasia

b = pistotulppa

c = latausjohto

d = latausjohdon ajoneuvopistoke

e = ajoneuvopistokkeen ja -vastakkeen muodostama kojepistokkytkin

f = ajoneuvovastake

g = latausasema

h = ajoneuvon pistorasia

i = ajoneuvon pistotulppa

5.1 Latauspistokkeet

Kansainvälisessä standardissa IEC 62196-2 on määritelty neljä erilaista latauspistoketta, joista käytetään nimityksiä tyyppi 1–4. [8] Näiden lisäksi esimerkiksi Tesla on kehittänyt oman pistokkeensa. Pistokkeet eroavat toisistaan muotoilultaan ja käytettävien lataustapojen osalta. Kaikista löytyvät varsinaisten latausliittimien lisäksi ajoneuvon ja latauspisteen väliset kommunikaatioliittimet.

5.1.1 Tyyppi 1 - J1772

Tyyppin 1 liitin (kuva 5), joka tunnetaan myös SAE J1772- tai Yazaki-liittimenä, mahdollistaa vain yksivaiheisen lataamisen. Sen maksimivirta on 80 A, mikä rajoittaa lataustehon 19,2 kW:iin käytettäessä 240 V:n jännitettä. [12] Pistokkeesta on olemassa myös pikalatausta tukeva Combo- tai CCS-malli, jossa pistokkeen alareunaan on lisätty DC-kontaktit. Tyyppin 1 pistoketta käytetään lähinnä pohjoisamerikkalaisissa sekä japanilaisissa sähköautoissa.



Kuva 5. Tyypin 1 liitin [13]

5.1.2 Tyypin 2 - Mennekes

Valmistajansa mukaan Mennekes-nimen saanut tyypin 2 pistoke (kuva 6) soveltuu yksi- ja kolmivaiheiseen lataamiseen. Kolmivaihevirralla saavutetaan maksimissaan 43,5 kW:in latausteho, jolloin virta on 63 A. [14] Kuten tyypin 1 pistokkeesta, myös tyypistä 2 on DC-lataukseen soveltuva Combo-versio. Tyypin 2 pistoketta käytetään enimmäkseen eurooppalaisissa ajoneuvoissa.



Kuva 6. Tyypin 2 Combo-pistoke ja tavallinen pistoke. Combo-pistokkeen alareunassa sijaitsevat DC-pikalataamiseen käytetyt kontaktit. [15]

5.1.3 Tyypin 3 - Scame

EV Plug Alliance on kehittänyt Scame-nimen saanutta pistoketta (kuva 7). Pistoke mahdollistaa yksi- ja kolmivaiheisen latauksen tyypin 2 liittimen tavoin, ja sen maksimiteho on 43,5 kW. Pistokkeen etuna on sen hyvä suojaus ja sulkumekanismi, joka estää jännitteisten osien koskettamisen. Tyypin 3 on väistymässä tyypin 2 tieltä, koska Euroopan unioni on päättänyt tukea vain yhdenlaista pistoketta [16].



Kuva 7. Tyypin 3 pistoke [17]

5.1.4 Tyypin 4 - CHAdeMO

Tyypin 4 pistoke (kuva 8) on saanut markkinanimen CHAdeMO. Se ei mahdollista perinteistä vaihtovirralla lataamista, vaan soveltuu vain tasavirralla tapahtuvaan pikalataukseen. Tällä hetkellä latausasemat käyttävät suurimmillaan 50 kW tehoa, mutta pistoke tukee jopa 200 A:n virtaa, jolloin saavutetaan lähes kaksinkertainen teho. Toisin kuin muut pistokkeet tyypin 4 käyttää auton ja latauspisteen väliseen kommunikointiin CAN-väylää.



Kuva 8. CHAdeMO pistoke [18]

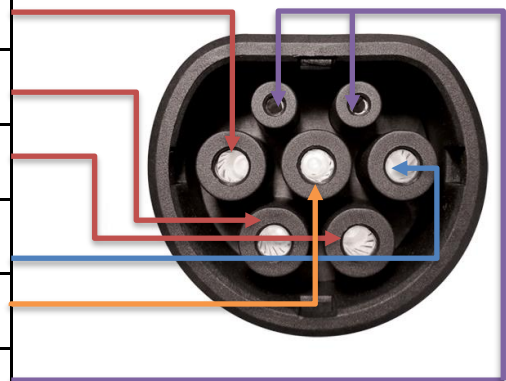
6 Latauksen kommunikaatio

6.1 Pistokkeen toiminnot

Sähköajoneuvon latauspistokkeessa on virta- ja maakontaktien lisäksi ajoneuvon ja latauslaitteen välistä kommunikaatiota sekä pistokkeen kytkennän valvontaa varten omat kontaktit. Standardi IEC 62196-1 määrittelee latauspistokkeelle 12 eri kontaktia, jotka on kuvattu taulukossa 2. [19]

Taulukko 2. IEC 62196-1:n mukaiset latauspistokkeen kontaktit

Numero	Toiminto
1	Suurteho DC tai AC
2	Suurteho DC tai AC
3	Suurteho AC
4	L1 (Vaihe 1)
5	L2 (Vaihe 2)
6	L3 (Vaihe 3)
7	N (Nolla)
8	PE (Maadoitus)
9	CP (Control Pilot)
10	Kommunikaatio 1 (+)
11	Kommunikaatio 2 (-)
12	Signaalimaadoitus



Kuva 9. Tyypin 2 pistokkeen kontaktit [20]

Kaikkia toimintoja ei kuitenkaan tarvitse löytyä latauspistokkeesta, vaan haluttu lataustapa määrittää pistokkeeseen vaaditut toiminnot. Esimerkiksi yleisimmissä tyypin 1 ja 2 pistokkeissa on vaihe-, nolla- ja maajohdinten lisäksi vain pistokkeen kytkennän tunnistava kontakti (PP) ja CP-kontakti latauksen kommunikaatiota varten.

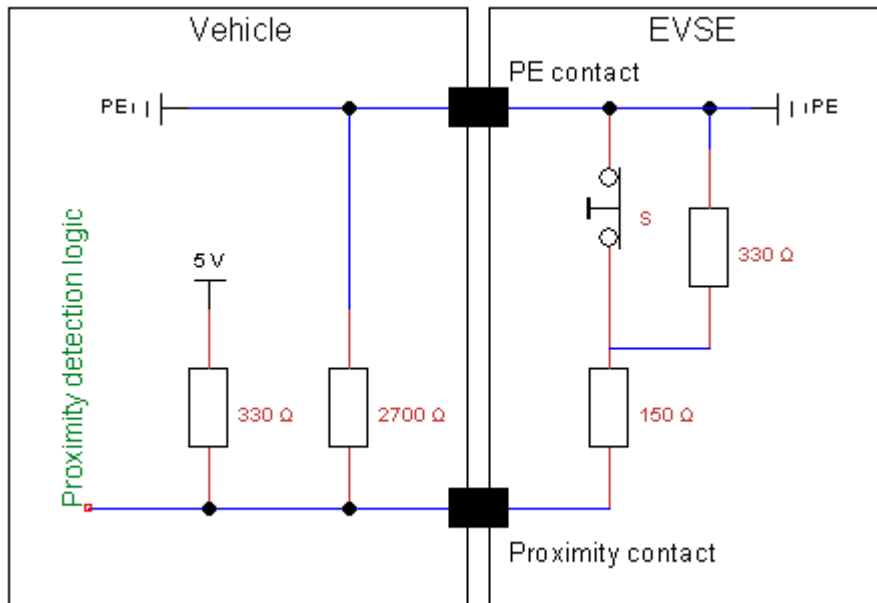
Turvallisuuden ja pistokkeen kytkennän varmistamisen vuoksi pistokkeen kontaktit ovat keskenään erimittaisia. Tällöin kontaktit kytkeytyvät halutussa järjestyksessä pistoketta liitettäessä. Ensimmäisenä kytkeytyy maadoitus, jota seuraavat vaihe- ja nolla kontaktit. Viimeisenä kytkeytyvät latauksen kommunikaatioon vaaditut kontaktit, kuten CP. [12] Rakenne lisää turvallisuutta, koska latauslaite ei kytke jännitettä ennen kuin CP on kytkeytynyt.

6.2 Kytkennän tunnistus (Proximity Pilot)

Tyypin 1 ja 2 pistokkeet käyttävät kytkennän tunnistamiseen erillistä kontaktia latauspistokkeessa. Tämän tarkoitus on varmistaa latauspistokkeen oikea kytkentä ja viestittää ajoneuvolle pistokkeen olevan kytketty, jotta voidaan estää ajoneuvon liikkeelle lähtö latauksen aikana. Lisäksi kytkennän tunnistusta voidaan hyödyntää herätteenä ajoneuvon latauksen ohjaimelle ja pistokkeen jännitteettömyyden varmistamiseen, kun pistoke ei ole kytkettynä ajoneuvoon.

6.2.1 Kytkennän tunnistus piiri varustettuna erillisellä kytkimellä

Kytkennän tunnistuksen piiri on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen. Ajoneuvon tuottama 5 voltin jännite maadoitetaan latauspistokkeen maakontaktin kautta, jolloin ajoneuvo havaitsee jännitteen aleneman. Tämä kertoo ajoneuvolle latauspistokkeen olevan kytketty. Pistokkeessa on myös erillinen kytkin, jonka kytkeytyminen varmistaa kunnollisen kytkennän. Esimerkiksi tyypin 1 pistokkeessa tämä kytkin on yhdistetty pistokkeen lukitukseen, jolloin lataustapahtuma voi alkaa vain salvan lukituttua. Kuvassa 10 on kuvattu yksinkertaisen piirin rakenne.



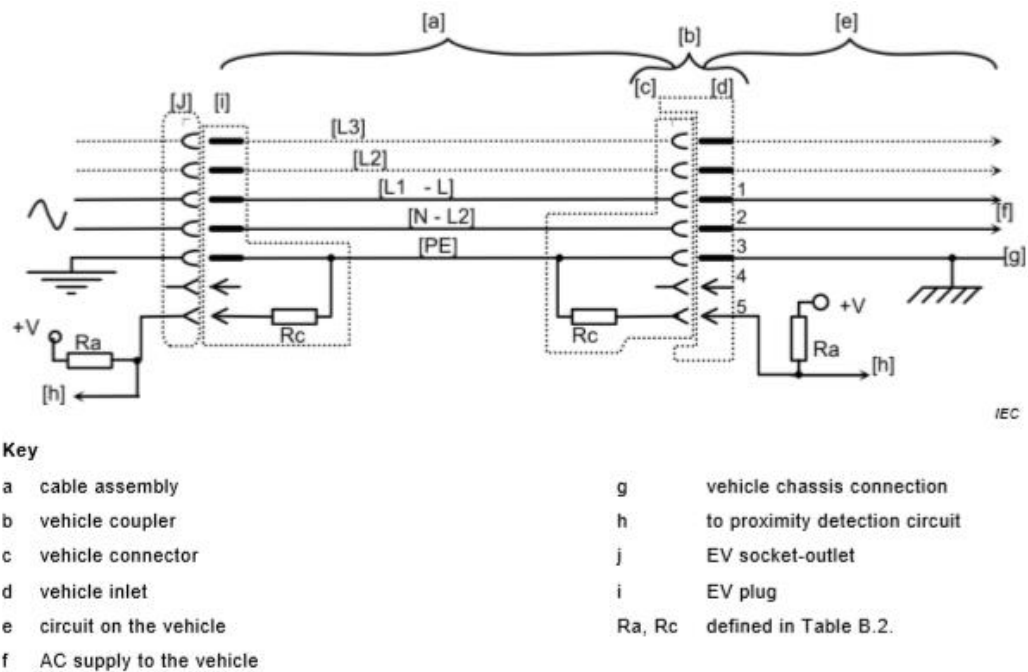
Kuva 10. Esimerkki tyyppin 1 kytkennän tunnistuspiiristä. Kuvan kytkimellä S varmistetaan pistokkeen kunnollinen kytkentä. Kuvan vastusarvot noudattavat standardin IEC 61851-1-2017 mukaista suositusta.

6.2.2 Kytkennän tunnistuksen piiri varustettuna maksimivirran tunnistuksella.

Proximity-kontaktin (myöhemmin: PP) yhteyteen on toteutettu latauskaapelin maksimivirran tunnistus. Tällöin latauskaapelissa on asetettu vastus PP- ja PE-kontaktien välille, kuten kuvasta 11 voidaan havaita. Vastuksen suuruus kertoo kaapelin suurimman sallitun latausvirran. Vastuksen arvot on kuvattu taulukossa 3. Kytkennän tunnistusta valvova elektroniikka havaitsee vastuksen aiheuttaman muutoksen jännitteessä ja katkaisee latausvirran, jos kytkennän suurin sallittu virta ylitetään.

Taulukko 3. Vastuksen R_c määrittämä kaapelin suurin latausvirta [8]

Kaapelin suurin sallittu virta	Vastus R_c
13 A	1500 Ω
20 A	680 Ω
32 A	220 Ω
63 A (3 vaihetta) tai 70 A (1 vaihe)	100 Ω



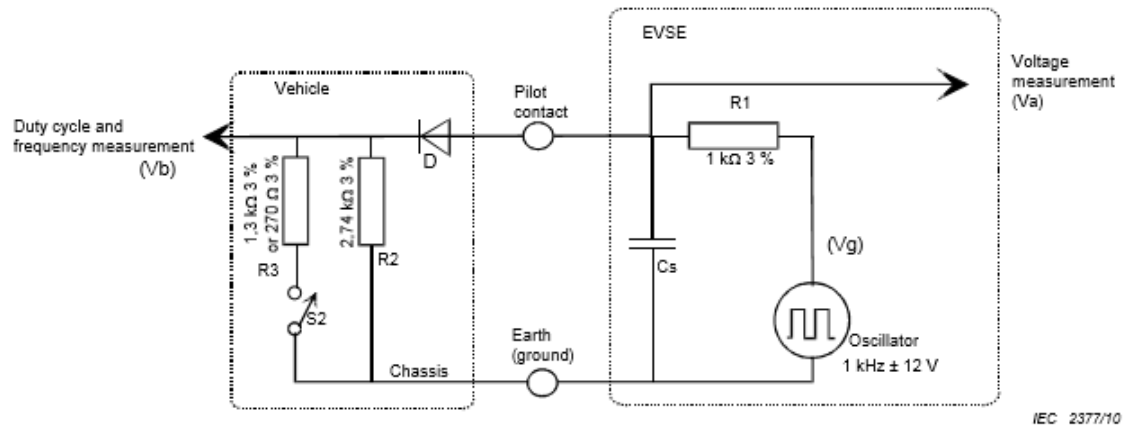
Kuva 11. Kytkennän tunnistuksen piiri, jossa on latauskaapelin maksimivirran tunnistus [8]

6.3 Control Pilot

CP vastaa auton ja latauslaitteen välisestä kommunikaatiosta. Se on kytketty ajoneuvon maadoitukseen ohjainelektronikan kautta ja siten määrittelee latauksessa seuraavia asioita: [12]

- varmistaa ajoneuvon olevan kytketty
- hallitsee latauskontaktien jännitteisyyttä
- välittää latauslaitteen latausvirran arvon ajoneuville
- tarkkailee maadoituskytkentää
- määrittää ajoneuvon tuuletuksen vaatimukset.

Nämä toiminnot toteutetaan siten, että latauslaite tunnistaa ajoneuvon CP:n ja maadoituksen välisen vastuksen aiheuttaman jännitteen aleneman. Ajoneuvossa kyseisten kontaktien välillä on 2,74 kΩ:n vastus, jonka rinnalla toiseen erikseen kytkettävissä oleva vastus. Tällöin kytkennässä on mahdollista muuttaa CP:n ja maadoituksen välistä kokonaisvastusta ja siten latauslaitteen havaitsemaa jännitteen alenemaa. Kytkennän rakenne on kuvattu kuvassa 12.



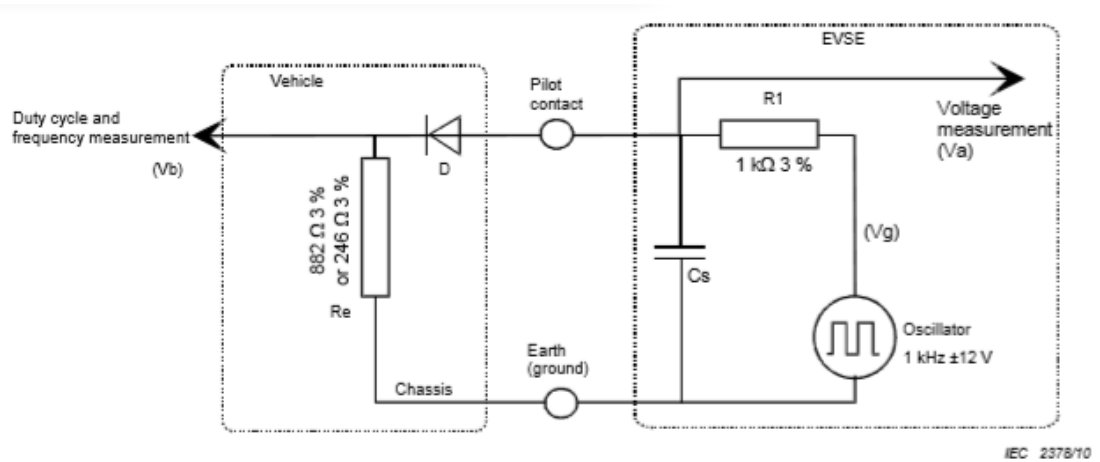
Kuva 12. CP-kytkentä [8]

Jännitteen alenemalla viestitetään erilaista kytkennän tai latauksen tilaa taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. CP:n viestittämä latauksen tila [8]

Tila	Vastus CP-PE	Vastus R3	Jännite CP-PE
Latauslaite valmiina, ajoneuvo ei kytketty.	∞	-	12 V
Ajoneuvo kytketty	2,74 k Ω	-	9 V
Ajoneuvo valmis lataamaan tai latautuu	882 Ω	1300 Ω	6 V
Ajoneuvo valmis lataamaan tai latautuu ja tuuletus tarvitaan	246 Ω	270 Ω	3 V
Vikatila	-	-	0 V

CP-piiristä on olemassa myös yksinkertaistettu versio, josta kytkin S2 on jätetty pois. Tällöin vastuksia on vain yksi ja sen suuruudella määritetään vain mahdollinen tuuletuksen tarve. Tätä kuvan 13 mukaista kytkentää käytettäessä sallitaan maksimissaan 10 A:n latausvirta.



Kuva 13. Yksinkertaistettu CP-kytkentä [8]

Kytkenän ja latauksen tilan lisäksi CP viestittää myös saatavilla olevan latausvirran suuruuden. Tämä on toteutettu muuttamalla latauslaitteen oskillaattorin tuottaman 1 kHz:n kantiaallon pulssisuhdetta. Suurempi pulssisuhde tarkoittaa suurempaa latausvirtaa. Pulssisuhteen laskenta on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Pulssisuhteen laskentakaavat

Saatavilla oleva virta	Pulssisuhde
Käytössä muu tapa virran suuruuden viestimiseen. Esim. CAN-väylä.	5 %
6 A – 51 A	$PWM \% = \text{virta [A]} / 0,6$ tällöin $10 \% \leq PWM \leq 85 \%$
51 A – 80 A	$PWM \% = (\text{virta [A]} / 2,5) + 64$ tällöin $85 \% < PWM \leq 96 \%$

Jos ajoneuvon ottama latausvirta ylittää latauslaitteen ilmoittaman suuruuden, tulkitaan tilanne vikatilaksi ja latauslaite tekee vaihejohtimet jännitteettömiksi.

6.4 DC-lataus

Tasavirtalataukseen käytetään lataustapaa 4, jolloin lataustapahtumaa hallitsee auton oma akustonhallintajärjestelmä. Koska tasavirtalatauksessa latauslaite syöttää akustoa sekä sähköautoissa on keskenään erisuuruisella jännitteellä ja kapasiteetilla varustetut akustot, auton täytyy pystyä säätelemään lataustapahtumaa. BMS ohjaa latauslaitteen toimintaa, jotta akustoon syötetään oikeanlainen latausvirta. Latauslaitteen ja auton

välillä viestintään hyödynnetään CP-toiminnon lisäksi digitaalista kommunikointia. Tähän on määritelty kaksi tapaa:

- CAN-väylä (CHAdEMO)
- Datasähkö (PLC = Power Line Communication) CP-piirissä (CCS)

CHAdEMO-pistokkeessa on omat kontaktit CAN-väylää varten. CCS-järjestelmä puolestaan hyödyntää tyyppien 1 ja 2 pistokkeiden CP- ja PE-kontakteja datasähkön avulla.

Latauksen kommunikaatio poikkeaa hieman AC-latauksesta. CP-toiminto hallitsee latauksen perustoimintoja, kuten latauksen aloitus ja lopetus. Näiltä osin toiminta vastaa AC-latausta. Itse latauksen hallinta ja siihen liittyvät toiminnot viestitetään digitaalisesti. Taulukossa 6 on kuvattu lataustapahtuman aikana välitettävät viestit.

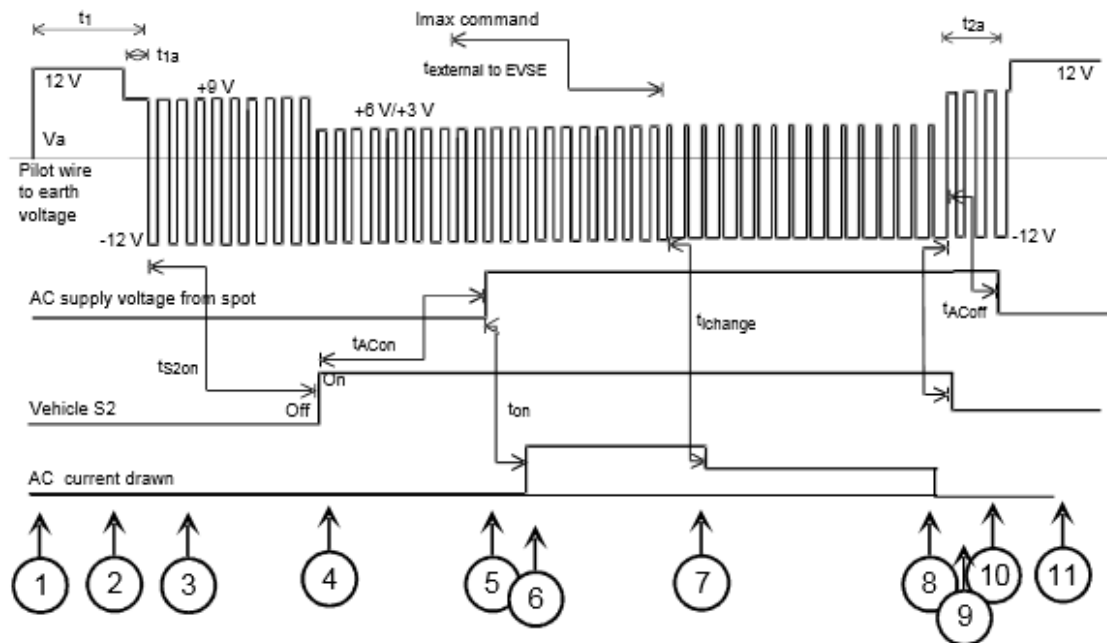
Taulukko 6. Latauslaitteen ja BMS vaihtamat tiedot latauksen aikana [21]

Charging control stage (process)		State	High level action ^a
Initialization	Handshaking	DC-A	Vehicle unconnected
		DC-B1	Connector plugged in
		DC-B1	Wake up of DCCCF and VCCF
		DC-B1	Communication data initialization
		DC-B1→DC-B2	Communication established, parameters exchanged, and compatibility checked
	Charge preparation	DC-B2→DC-B3	Connector locked
		DC-B3	Insulation test for d.c. power line
		DC-B3	Pre-charge (depending on the system architecture)
Energy transfer	DC-C or DC-D	Vehicle side contactors closed	
	DC-C or DC-D	Charging by current demand (for CCC)	
	DC-C or DC-D	Charging by voltage demand (for CVC)	
	DC-C or DC-D→DC-B'1	Current suppression	
	DC-C or DC-D	Renegotiate parameter limits (option)	
Shutdown	DC-B'1	Zero current confirmed	
	DC-B'1→DC-B'2	Welding detection (by vehicle, option)	
	DC-B'2	Vehicle side contactors open	
	DC-B'2	DC. power line voltage verification	
	DC-B'3	Connector unlocked	
	DC-B'4	End of charge at communication level	
	DC-A	Connector unplugged	
^a The order of actions does not refer to the procedure of charging control process.			

Prosessin aikana latauslaite ja BMS lähettävät toisilleen tarvittavat viestit, kuten ajoneuvon akuston jänniterajat ja maksimi latausvirran. Lisäksi latausjohtimien jännitettä mitataan, jotta varmistetaan akuston kytkentä ja poiskytkentä piiristä.

7 Lataussykli

Tyypillinen lataussykli koostuu erilaisista vaiheista, joilla varmistetaan ajoneuvon kytkentä ja säädellään lataustapahtumaa. Esimerkki lataustapahtumasta on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Lataussykli ja sen vaiheet [8]

Aluksi ennen latauspistokkeen kytkentää latauslaitteen maa- ja CP-johtimien välinen jännite on +12 V. Kun latauspistoke kytketään (kuvassa 14 kohta 2), näiden kahden johtimen välinen jännite putoaa +9 V:iin ajoneuvon CP-piirin vastuksen R2 vuoksi. Samalla latauslaite alkaa tuottamaan 1 kHz kantiaaltoa saatavilla olevan latausvirran suuruuden viestintää varten. Kommunikaation luotettavuus varmistetaan CP-piirin diodin (kuvan 13 diodi D) säilyttäessä signaalin -12V:n jännitteen. Signaalin negatiivinen jännite ei muutu diodin estäessä virran kulun CP-piirin kautta. Tällöin latauslaite on valmis syöttämään energiaa (kohta 3).

Lataus voidaan aloittaa, kun ajoneuvo tunnistaa kytkennän vaatimusten täyttyneen ja kytkee CP-piiriin vastuksen R3 sulkemalla kytkimen S2 (kohta 4). Latauslaite tunnistaa vastuksen aiheuttaman jännitteen putoamisen +6 V:n tai +3 V:n tasolle ja kytkee latausjännitteen (kohta 5). Latauksen aikana latauslaitteen antama latausvirta voi muuttua, kuten kohdassa 7 on esitetty. Tällainen muutos voi johtua esimerkiksi tarpeesta vähentää sähköverkon kuormitusta tai jostain muusta latauslaitteeseen ohjelmoidusta toiminnosta. Saatavilla olevan virran muutos ilmaistaan CP-piiriin kanttiaallon pulssisuhteen muutoksella.

Kun ajoneuvo haluaa lopettaa latauksen esimerkiksi pistoketta irrotettaessa, se avaa kytkimen S2 (kohdat 8 ja 9). Latauslaite tunnistaa CP-jännitteen muutoksen ja kytkee vaihejohtimet jännitteettömiksi (kohta 10). Latauspistokkeen irrotus katkaisee CP-piiriin, jolloin latauslaite havaitsee jännitteen palaavan takaisin +12 V:n tilaan.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin sähköautojen lataustapoja ja latauskytkentöjä. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä standardissa IEC 62196-2 määriteltyjen tyyppin 1 ja 2 latauspistokkeiden rakenteeseen. Työssä selvitettiin myös lataustapahtuman kulkua ja latauslaitteiden rakenteen vaikutusta lataustapahtumaan. Latauspistokkeiden AC-latauksessa käytettyjen analogisten toimintojen lisäksi tutustuttiin myös DC-latauksessa vaadittuun digitaaliseen kommunikaatioon latauslaitteen ja ajoneuvon välillä.

Työn haastavimmaksi osuudeksi muodostui lähdemateriaalin kerääminen, koska latauspistokkeista ja niiden sisäisestä toiminnasta on julkaistu hyvin vähän tietoa. Enimmäkseen materiaali keskittyi IEC-standardeihin, koska muita luotettavia lähteitä ei ollut saatavilla tai ne eivät olleet sisällöltään riittävän kattavia. Kyseiset standardit on tarkoitettu toimimaan kokonaisuutena, joten niissä usein viitattiin toisiinsa. Tämä osaltaan hankaloitti materiaalin käyttöä.

Insinööriyössä onnistuttiin kuvaamaan erilaiset lataustavat ja latauskytkennät. Tavoitteena olleiden latauspistokkeiden toiminta saatiin selvitettyä ja kuvattua. Työn avulla voidaan perehtyä sähköautojen yleisimpiin lataustapoihin ja latauspistokkeisiin helpommin kuin aiheetta kuvaavien standardien kautta. Aihetta voisi jatkaa perehtymällä tarkemmin DC-latauksessa käytettyyn digitaaliseen viestintään latauslaitteen ja ladattavan

ajoneuvon välillä. Tässä työssä jätettiin tarkemmin käsittelemättä CHAdeMO-pistokkeen toiminta sekä esimerkiksi Teslan oma pistoke, joten näiden selventäminen olisi myös luonteva jatkokokohde. Yhtenä mahdollisuutena voitaisiin lähteä kehittämään omaa latauslaitetta standardien vaatimusten perusteella.

Lähteet

- 1 Tesla Supercharger. Verkkoaineisto. Tesla. <<https://www.tesla.com/supercharger?redirect=no>>. Luettu 15.5.2018.
- 2 Postin sähköauto-ohjelma hiipui. Artikkel. Tekniikka ja Talous. <<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/2003-10-09/Postin-s%C3%A4hk%C3%B6auto-ohjelma-hiipui-3251506.html>>. Luettu 23.4.2018.
- 3 Kotimainen sähköauto Elcat saa lisää puhtia. Artikkel. Verkkouutiset. <http://vanha.verkkouutiset.fi/arkisto/Arkisto_1999/3.syyskuu/ELCA3599.HTM>. Luettu 23.4.2018.
- 4 Käyttövoimatilasto. Verkkoaineisto. Trafi. <https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokannan_kayttovoimatilastot/sahkokayttoiset_autot>. Luettu 23.4.2018.
- 5 Nissan. Verkkoaineisto. Nissan. <<https://www.nissan.fi>>. Luettu 23.4.2018.
- 6 Sähköauton hankintatuki. Verkkoaineisto. Trafi. <https://www.trafi.fi/oleedellakavija/tayssahkoauto/sahkoauton_hankintatuki>. Luettu 23.4.2018.
- 7 Davide Andrea. 2010. Battery Management Systems for Large Lithium Ion Battery Packs. Boston: Artech House.
- 8 IEC 61851-1. Electric vehicle conductive charging system - Part 1. 2017. International Electrotechnical Commission.
- 9 Sähköajoneuvojen lataussuositus. Verkkoaineisto. Sesko ry. <http://www.sesko.fi/files/889/Lataussuositus_2018_2018-03-08.pdf>. Luettu 4.5.2018.
- 10 Sähköautoon kotipistorasiasta jatkossa vain 8 ampeerin virtaa. Verkkoaineisto. ETN. <<http://etn.fi/index.php/13-news/5562-sahkoautoon-kotipistorasiasta-jatkossa-vain-8-ampeerin-virtaa>>
- 11 IEC 62196-2: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 2. 2011. International Electrotechnical Commission.
- 12 SAE J1772. SAE Electric Vehicle Conductive Charger Coupler. 2001. Society of Automotive Engineers.
- 13 Michael Hicks. 2012. Verkkoaineisto. <<https://secure.flickr.com/photos/mulad/7058855567/>>. Luettu 15.5.2018.

- 14 Die Schnittstelle zwischen Elektrofahrzeug und Infrastruktur. Verkkoaineisto. Volker Lazzaro. <<https://web.archive.org/web/20110719081519/https://intra.saena.de/tycon/file.php?id=1129>>.
- 15 E-Mobility Solutions. Verkkoaineisto. Mouser Electronics. <<https://www.mouser.dk/images/microsites/Phoenix-EMobility-Solutions.jpg>>
- 16 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/94/EU. 22.10.2014.
- 17 Scame Parre SpA au salon "E CAR TECH 2012" de Paris avec EV Plug Alliance. Verkkoaineisto. Scame. <http://www.scameargentina.com.ar/images/news/connettote_type_3C.jpg>
- 18 Interview with CHAdeMO Association Chairman Toshiyuki Shiga. Verkkoaineisto. Nissan Motor Corporation. <<http://blog.nissan-global.com/EN/wp-content/uploads/2012/05/DSC01885.jpg>>
- 19 IEC 62196-1. Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 1. 2003. International Electrotechnical Commission.
- 20 EV Plugs. Verkkoaineisto. EV Connectors. <https://evconnectors.com/image/catalog/evplugs/Type2plug_female_front_32.jpg>
- 21 IEC 61851-23: Electric vehicle conductive charging system – Part 23: DC electric vehicle charging station. 2014. International Electrotechnical Commission.