

*"You won't know the facts until you've seen the
fiction."*

Pulp Fiction. 1994. Quentin Tarantino.

Abstract

Esko Heino

Recognition of electric car model via CCS charging communication

Master's Thesis

Lappeenranta 2020

50 pages, 11 figures, 9 tables and 2 appendices

Examiners: Professor Pertti Silventoinen
 M.Sc. (Tech.) Petri Korhonen

Keywords: electric cars, electric car supply equipment, car recognition, ISO 15118

The goal of this thesis is to recognize an electric car's make and model from the data that can be accessed during fast charging using the European Combined Charging System (CCS) connector. Literature research is used to find out about the sequence of the CCS fast charging from the beginning to the end. It is also used to find out about the low layer communication according to the standard IEC 61851-1 and the high layer communication according to DIN 70121 and the standard series ISO/IEC 15118. Empirical studies are used to find out how five different CCS chargeable car makes differ from each other regarding the charging communication. In the end, based on the collected information, an algorithm is developed to recognize a CCS chargeable car in the beginning of a charging.

Numerous differences are identified in different cars regarding the charging communication. In the low layer communication, BMW i3 and Volkswagen e-Golf differ over 500 mV in Control Pilot (CP) voltage in CP state B. In the high layer communication, differences are identified in the beginning of the charging, during the charging, and in the end of the charging. In the beginning of a charging, the time from the last SECC Discovery Request message to the first Cable Check Request message differs almost 10 s for the e-Golf and the Audi e-tron. During the charging, some of the cars tell how long it is going to take to get a full charge. The time is proportional to the size of the car's battery, the charging speed and the battery's state of charge. 10 parameters are chosen for the car recognition algorithm. All 10 of them have been gathered information for from 11 different car makes from several different chargings. In the beginning of a charging, the algorithm compares the gathered information to the information from a car being charged.

A CCS chargeable car is recognized from the maximum and target voltages, an ID that identifies the thread, the charging voltage and the car charging controller MAC address. Also, in order to make more certain recognition of the car model, several more differences found out can be used. The car recognition makes it possible to profile customers which in turn allows offering allocated services to customers. After improving the algorithm, it would be possible to bring customers more accurate details about the charging finish time and offer service for the car after the battery condition has gone bad.

Alkusanat

Tämä diplomityö tehtiin Kempower Oy:lle Lahdessa tuotekehitysprojektina lisäämään palveluita latureihin ja siten kasvattamaan kiinnostusta yrityksen latureita kohtaan. Kiitän Kempoweria tämän työn rahoituksesta.

Kiitän perhettäni tuesta ja työn oikolukemisesta, samoin ystäviäni tuesta sekä suosituksista LaTeXin käytössä. Kiitän myös ohjelmointitiimiä Kempowerilta, jota ilman algoritmien kirjoittaminen olisi ollut mahdoton tehtävä ja tietokantatiedon analysointi haastavaa. Muita kempowerilaisia kiitän lataussimulaattorin ja CANoen käytön opastuksesta sekä sähköautojen sielunelämän avaamisesta.

Työn ensimmäistä tarkastajaa, professori Pertti Silventoista, kiitän kyseiseen yritykseen suosittelemisesta ja työn toista tarkastajaa, DI Petri Korhosta, kiitän mielenkiintoisesta aiheesta sekä työn mahdollistamisesta. Lopuksi haluan kiittää LUT-yliopistoa vertaavansa vailla olevasta opetuksesta kuluneiden vuosien aikana.

Lahdessa 3.4.2020
Esko Heino

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Alkusanat

Sisällysluettelo

Symboli- ja lyhenneluettelo	8
1 Johdanto	10
1.1 Aikaisempi tutkimus	10
1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset	11
1.3 Työn rajaus	11
1.4 Menetelmät ja työn rakenne	12
2 Latauskommunikaatio	13
2.1 Proximity Pilot	14
2.2 Matalan tason kommunikaatio	15
2.3 Korkean tason kommunikaatio	17
2.3.1 Kommunikaation muodostus	19
2.4 Lataajan tunnistautuminen	19
2.5 Lataustapahtuman kulku	21
3 Lataustietoanalysointi	24
3.1 Matalan tason kommunikaatio	24
3.2 Korkean tason kommunikaatio	25
3.2.1 Kommunikaation muodostus	26

3.2.2	Latausvalmistelu	31
3.2.3	Latausvaihe	36
3.2.4	Latauksen lopetus	37
3.3	Latauslaitteen mittaamat arvot	37
3.4	Kerätty autotieto tunnistamista varten	39
4	Autontunnistusalgoritmi	41
4.1	Koodin sisältö	42
4.2	Autotietojen päivitys	43
4.3	Algoritmin pätevyyden todennus	44
4.4	Algoritmin päivitysehdotukset	44
5	Yhteenveto	46
	Lähteet	48
	Liitteet	
	Liite 1. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisessa	
	Liite 2. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisen jälkeen	

Symboli- ja lyhenneluettelo

yksiköt

Ω	ohmi
A	ampeeri
dB	desibeli
Hz	hertsi
V	voltti
W	watti

lyhenteet

AC	vaihtovirta (<i>engl. Alternating Current</i>)
CCS	sähköauton latauspistoke (<i>Combined Charging System</i>)
CHAdEMO	sähköauton latauspistoke (<i>CHArge de MOve</i>)
DC	tasavirta (<i>Direct Current</i>)
DIN	saksalainen standardointi-instituutti (<i>Deutsches Institut für Normung</i>)
EIM	ulkoinen tunnistautumistapa latauslaitteella (<i>External Identification Means</i>)
EMAID	lataajan tunnus PnC-tunnistautumisessa (<i>E-Mobility Account Identifier</i>)
EU	Euroopan Unioni
EUI	verkkolaitteen yksilöivä osoite (<i>Extended Unique Identifier</i>)
EV	sähköajoneuvo (<i>Electric Vehicle</i>)
EVSE	sähköajoneuvon latauslaite (<i>Electric Vehicle Supply Equipment</i>)
GB/T	Kiinan suositellut kansalliset standardit (<i>recommended Guobiao standards</i>)
HPGP	datasähkön mahdollistava spesifikaatio (<i>HomePlug Green PHY</i>)
IEC	kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
IEEE	kansainvälinen tekniikan alan järjestö (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
IPv6	protokolla internet-laitteiden osoitteistamiselle (<i>Internet Protocol Version 6</i>)
ISO	kansainvälinen standardoimisjärjestö (<i>International Organization for Standardization</i>)
MA-L	yrityksen ja MAC-osoitteen yhdistävä osoiteosa (<i>MAC Address Block Large</i>)
MAC	verkkolaitteen yksilöivä osoite (<i>Media Access Control</i>)
OUI	yrityksen ja MAC-osoitteen yhdistävä osoiteosa (<i>Organizationally Unique Identifier</i>)
PE	suojamaa (<i>Protective Earth</i>)
PLC	datasähkö (<i>Power Line Communication</i>)
PnC	auton laturille tekemä automaattinen tunnistautuminen (<i>Plug & Charge/Park & Charge</i>)
PWM	pulssinleveysmodulaatio (<i>Pulse-Width Modulation</i>)
RFID	radiotaajuinen etätunnistus (<i>Radio Frequency Identification</i>)

RPT	sähkötehon kulkeutuminen normaalista suunnastaan päinvastaiseen suuntaan (<i>Reverse Power Transfer</i>)
SLAC	protokolla kytketyn latauslaitteen havainnoimiseksi (<i>Signal Level Attenuation Characterization</i>)
SoC	sähkövaraston varaustaso (<i>State of Charge</i>)
V2G	kaksisuuntainen lataus verkkoon (<i>Vehicle-to-grid</i>)
WLAN	langaton lähiverkko (<i>Wireless Local Area Network</i>)

1 Johdanto

Euroopan Unionin (myöhemmin EU) asettamilla päästövaatimuksilla autonvalmistajat pakotetaan lisäämään vähäpäästöisten autojen osuutta mallistoissaan. Autonvalmistajien paineet vähentää myytyjen autojen keskiarvopäästöt EU:n määrittämälle tasolle ajavat valmistajat tekemään radikaaleja toimia sakkojen välttämiseksi. Volkswagen myy e-Golf -täyssähkömalliaan polkuhintaan. Päästöttömän auton myynti laskee keskiarvopäästöjä tehokkaasti. Ladattavien sähköautojen osuus vuoden 2019 kolmannella vuosineljänneksellä Euroopassa myydyistä uusista henkilöautoista oli vain 3,1 % (ACEA, 2019). Sähköautojen osuus on siis vielä murto-osa kaikista henkilöautoista. Tähän suurena syynä on latauslaitteiden vähäinen määrä. Pelko akun loppumisesta kesken matkaa saa ihmiset pitäytymään polttomoottoriautoissaan, joita saa tankattua lähes missä tahansa.

Latauslaitteiden määrä on kuitenkin kasvamassa ja se lisää tutkimuksen tarvetta. Autoilijoita ja latausoperaattoreita houkuttelee luomalla latureihin uusia lisäpalveluita. Palvelut luovat kuitenkin samalla myös uusia turvallisuusriskejä, jotka uhkaavat lataajien yksityisyyttä. Kempower Oy on lahtelainen yritys, joka valmistaa sähköautojen latureita. Kempower valmistaa myös lisäpalveluita laturien käyttäjille. Yksi tällainen palvelu on ladattavan sähköauton tunnistaminen. Auton tunnistamisella pyritään tuomaan lataajille lisätietoa autoistaan, joilla autojen käyttöä voidaan optimoida. Tunnistaminen tuo myös lisätietoa latausoperaattoreille, sillä he voivat tarjota kohdennettuja lisäpalveluita lataajille.

1.1 Aikaisempi tutkimus

Sähköautoihin liittyvä tutkimus keskittyy tällä hetkellä seuraaviin aihealueisiin: akut, sähköautoihin siirtyminen ja latauslaitteet. Akkujen ympäristöystävällisyyttä tutkitaan erityisesti liittyen niiden tuotantoon ja käyttöikänsä. Lisäksi akkujen lämpötilanhallintaa tutkitaan parhaillaan. Sähköautoihin siirtymisessä tutkimusta tehdään aikataulujen nopeuttamisen, saavutettavien ympäristösäästöjen sekä sähköautojen tuotannon osalta. Latauslaitteiden osalta tutkimus keskittyy pääosin latausasemien sijoitteluun, mutta myös laturien valmistukseen ja kehitykseen. Tutkimusta tehdään myös pikalatauksen kehittämiseksi sekä aurinkoenergian liittämiseksi sähköautoiluun.

Kaksisuuntainen lataus (V2G, engl. *Vehicle-to-grid*) on ensiarvoisen tärkeä tekijä sähköautoilun lisäämisessä. V2G:llä hidastetaan sähköverkon kapasiteetin kasvattamisen tarvetta ja se näyttelee latauslaitteiden kommunikaatioon liittyvässä tutkimuksessa suurta roolia. Kommunikaatioon liittyvä patentointi on ollut vilkkaimmillaan viime vuosikymmenen alussa ennen sähköautojen läpimurtoa, josta se on hiljentynyt vuosi vuodelta. Patentit kuvaavat laturin ja sen käyttäjän sekä pilvipalvelun (johon laturi on yhteydessä) välisiä yhteyksiä. Patentit esittävät käyttäjän toimia laturille tullessa ja latauksen sekä siihen liittyvän käyttäjän tunnistautumisen tekemisen tai jonkin muun laturin mahdollis-

taman lisäpalvelun kuten langallisen internet-yhteyden käyttämisen.

Sähköautojen latausta koskevat standardit ovat erityisessä asemassa, sillä standardien kehitys on pysynyt tekniikan kehityksen mukana ja tietyin osin jopa tekniikkaa edellä. Esimerkkeinä tästä ovat WPT (*Wireless Power Transfer*) eli langaton sähkötehon siirto, V2G ja PnC (*Plug & Charge*) eli automaattinen tunnistautuminen. Näiden kaikkien kommunikaatiota käsitellään ISO/IEC (*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*) 15118 standardisarjassa. Plug-in hybridien langaton latausta kuluttajille tarjoaa ainoana tekijänä BMW (BMW, 2019). ISO 15118 Plug & Charge ominaisuutta tukevat yhdellä automallilla Audi, BMW, Mercedes-Benz, Porsche ja Smart ja kaksisuuntaista latausta tukevat ainoastaan CHAdeMO-pistokkeelliset sähköautot (Marc, 2019b). Kaikki CHAdeMO-autot eivät kuitenkaan tue kaksisuuntaista latausta.

1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Sähköauton turvallisen pikalataamisen mahdollistamiseksi auton ja laturin välillä vaaditaan jatkuvaa kommunikointia latauksen aikana. Suurin osa ladattavista sähköautoista ei kuitenkaan kerro laturille mitä merkkiä tai mallia auto on.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa ladattavan sähköauton merkki ja malli CCS-pikalatauskommunikaation antamien tietojen avulla. Jotta päästään tavoitteeseen, tutkimuskysymykset on asetettu seuraavaan muotoon:

- Mitä tietoja CCS-pikalatauskommunikaatio antaa ladattavasta autosta laturille?
- Miten auton merkki voidaan tunnistaa CCS-pikalatauskommunikaation antamien tietojen perusteella?
- Miten autojen mallikohtaiset erot voidaan selvittää CCS-pikalatauskommunikaation antaman tiedon perusteella?

1.3 Työn rajaus

Työn rajaus tehtiin sen mukaisesti, että autontunnistus saataisiin käyttöön työn valmistuttua, nykyisillä latureilla ja autoilla.

Työ rajattiin käsittelemään DC-latausta CCS-pistokkeella. Rajaus tehtiin näin, sillä erilaisia CCS-ladattavia autoja on tällä hetkellä kaikkein eniten eri pikalatausvaihtoehdoista. Näin ollen tunnistamista päästiin myös kokeilemaan käytännössä. AC-latauksessa laturi ei ole samassa jännitteessä kuin auton akkupaketti, joten kommunikaatio on vähäisempää,

jolloin tunnistaminen ei olisi yhtä eksaktia kuin DC-latauksessa. Tunnistamisvaihe rajattiin lataustapahtuman alkuvaiheeseen hetkeen, jolloin itse lataus alkaa. Tällä tavoin laturin käyttäjälle voi olla hyötyä tunnistamisesta muun muassa tilanteessa, jossa arvioidaan ladattavan auton latausaikaa. Samoin suurin osa auton parametreista (yksittäinen auton ja laturin välillä siirrettävä tieto) saadaan heti latauksen alettua. Rajaus tehtiin koskemaan vain langallista lataamista ja kommunikaatiota. ISO 15118 standardi käsittelee kommunikaatiota myös langattoman latauksen tapauksessa, mutta langattoman latauksen käyttö on vielä vähäistä. Langattomuus ei kuitenkaan ole työn kannalta keskeinen asia.

Latauskommunikaatio käsitellään ladattavan sähköauton ja sähköauton latauslaitteen välisten kommunikaatioyksiköiden osalta. Laturin sisäisiä, kuten virtalähteellä tapahtuvaa kommunikaatiota, tai laturin ja mahdollisen pilvipalvelun välistä kommunikaatiota ei käsitellä. Laturin omat kommunikaatiot eivät tuo lisätietoa itse ladattavasta autosta. Myöskään auton sisäisiä kommunikaatioita ei käsitellä, sillä niitä ei näe CCS-latauspistokkeen välityksellä. Latauskommunikaatio käsitellään ISO 15118 standardisarjan osalta ottaen kuitenkin huomioon DIN (*Deutsches Institut für Normung*) SPECIFICATION 70121 standardi siltä osin kuin se on merkittävää työn tavoitteen kannalta.

Autoilun sähköistyminen on vielä alkuvaiheessa, joten tutkimusta auton tunnistamisesta CCS-kommunikaatiolla ei ole vielä tehty. Siksi lähteiden käyttö CCS-kommunikaation suhteen rajoittuu suurilta osin standardeihin.

1.4 Menetelmät ja työn rakenne

Latauskommunikaatioon syvennyttään kirjallisuustutkimuksella kappaleessa 2. Kappaleessa 3 analysoidaan latausviestinnän sisältöä ja sen merkitystä autontunnistuksen kannalta sekä kirjallisuustutkimuksella että empiirisellä kokeella. Latausviestintä saadaan Kempowerin sisäisistä latureista sekä julkisella latauspaikalla olevasta laturista. Kappaleessa 4 kehitetään algoritmi auton tunnistamiseksi kerätyn tiedon avulla sekä todennetaan algoritmin pätevyys muutamalla testitapauksella. Kappaleessa 5 vedetään yhteen työn tulos.

2 Latauskommunikaatio

Sähköauto ottaa käyttöenergiansa korkeaajännitteisestä 300 - 500/800 V:n akkupaketista. Akku voidaan ladata vaihtosähköllä (AC, *Alternating Current*), jolloin autoon integroitu laturi muuttaa syötetyn vaihtosähkön tasasähköksi (DC, *Direct Current*). Toinen vaihtoehto on ladata akkua tasasähköllä, jolloin auton oma laturi ohitetaan. Tasasähkölaturi on monimutkaisempi ja kalliimpi kuin vaihtosähkölaturi, sillä se sisältää tehoelektroniikkaa, jolla verkkovirrasta otettava vaihtosähkö muutetaan tasasähköksi. Autovalmistajat ovat pyrkineet säästämään autoon integroidussa laturissa sekä rahan että tilan säästämiseksi. Autossa oleva laturi kykenee merkistä riippuen lataamaan noin 2,7 - 22 kW (Mercedes-Benz, 2019; Tesla, 2018; Volkswagen, 2019; Renault, 2019) teholla. Tasasähkölaturilla voidaan autoa sen sijaan ladata jopa 270 kW:n (Porsche, 2019) hetkellisellä latausteholla.

DC-latausta kutsutaan pikalataukseksi, mutta myös AC-latauksesta käytetään pikalataus nimitystä erottamaan hidas ja nopea AC-lataus toisistaan. Hidas AC-lataus tehdään tavallisella jokaisesta kodista löytyvällä sukopistorasialla, kun nopeampi AC-lataus Euroopassa tehdään lataamiseen tarkoitettulla Type 2 (Mennekes) -latauspistokkeella. AC-latauspistoketta ei voida suoraan kytkeä verkkosähköön, vaan se tarvitsee latauslaitteen, joka kommunikoi auton kanssa.

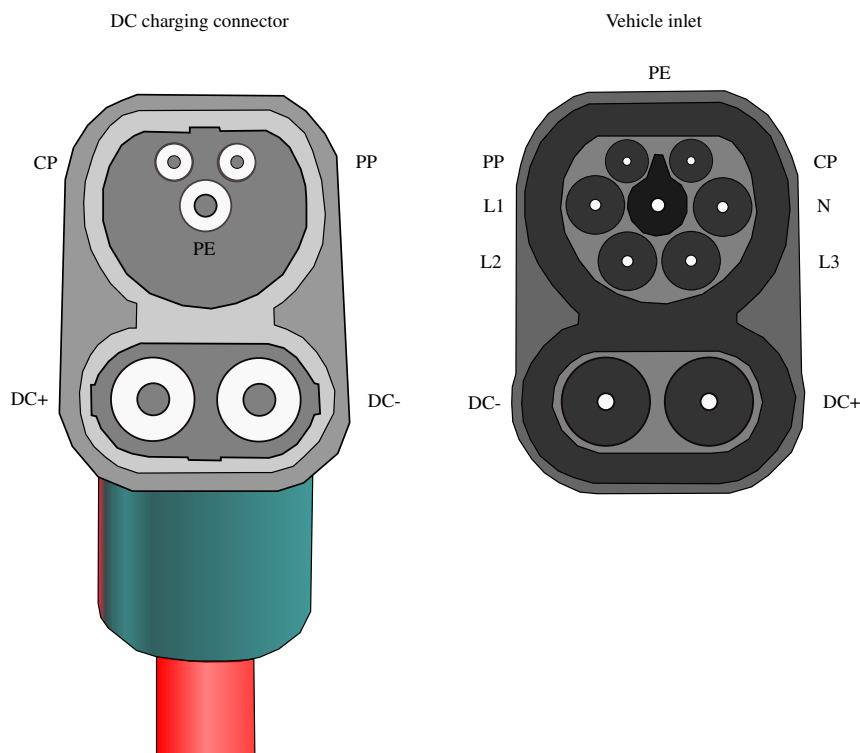
Taulukko 2.1: DC-latausta tukevat sähköautojen latauspistokkeet ja niiden käyttöalue vuonna 2018. (mukaillen Nicholas & Hall, 2018)

latauspistoke	käyttöalue (2018)
CCS Combo 1	Yhdysvallat, Kanada
CCS Combo 2	Eurooppa
Tesla Supercharger	Maailmanlaajuinen
GB/T 20234	Kiina
CHAdeMO	Japani, Eurooppa, Pohjois-Amerikka

Yleisesti käytössä olevia sähköautojen DC-latausta tukevia latauspistokkeita on nykyisin neljää erilaista: GB/T 20234 (*recommended Guobiao standards*), CHAdeMO (*CHArge de MOve*), CCS (*Combined Charging System*), sekä Tesla Supercharger (ks. taulukko 2.1). Sekä CCS että Tesla Supercharger pistokkeita on käytössä erilaisia eri alueilla. Euroopassa Tesla Supercharger sisältää kaksi pistoketta: CCS Combo 2:n ja Teslan oman pistokkeen. Euroopassa käytössä on CCS-pistoke, joka on määritelty IEC 62196-3 standardissa ja sitä kutsutaan CCS Combo 2 (CCS) -liitännäksi. Suomeen asennettujen CCS-pistokkeiden osuus vuoden 2018 alussa oli suurin kaikista eri pikalatauspistokkeista (Nicholas & Hall, 2018).

CCS-pistokkeessa on omat koskettimet sähkönsyötölle sekä kommunikaatiolle laturin ja

auton välillä. DC-latauksessa vaihe- ja nollajohtimia ei tarvita, joten niitä ei laturin naaraspistokkeessa ole lainkaan (ks. kuva 2.1, *DC charging connector*). Autossa oleva urosvastike kykenee myös AC-lataukseen.



Kuva 2.1: IEC 62196-3 standardin mukainen autossa oleva CCS Combo 2 urospistoike (oikea) ja DC-latauksessa käytettävä latauslaitteesta tuleva naaraspistoike (vasen). (mukaiillen Ajzh2074, 2014)

DC-latauksessa käytetään kahta eritasoista kommunikaatiota: matalan tason kommunikaatiota sekä korkean tason kommunikaatiota. Matalan tason kommunikaatiota kutsutaan Control Pilotiksi (CP). Korkean tason kommunikaatio kulkee samassa johtimessa kuin CP mutta datasähköinä (PLC, *Power Line Communication*).

2.1 Proximity Pilot

Proximity Pilot (PP) -koskettimella auto tunnistaa, että pistokkeet ovat kytketty toisiinsa kunnolla. PP-kosketin auton urospistoikkeessa on lyhyempi kuin muut koskettimet, jolloin se kytketty vasta viimeisenä pistoketta kytkettäessä. DC-latauslaitteesta tulevassa naaraspistokkeessa on 1500 Ω :n (IEC 61851-23, 2014) vastus PP- ja PE-johtimien välillä. Auto syöttää PP-johtimeen jännitteen, jolloin pistoketta kytkettäessä PP-johdin maadoituu vastuksen kautta ja jännite putoaa, josta auto tunnistaa pistokkeen kytketymisen.

AC-latauksessa latauskaapeli ei ole välttämättä integroitu laturiin, jolloin laturin käyttäjät

voivat käyttää lataukseen eri maksimivirtakestoisia kaapeleita. Type 2 AC-latauskaapelin PP- ja PE-johtimien välillä olevan vastuksen arvo kertoo käytetyn kaapelin maksimivirtakeston (IEC 61851-1, 2010). Tällöin maksimilatausvirta saadaan rajoitettua kaapelin keston mukaiseksi.

2.2 Matalan tason kommunikaatio

Matalan tason kommunikaatio eli Control Pilot (CP) on määritelty IEC 61851-1 standardissa. CP:lle on oma kosketin CCS-latauspistokkeessa (ks. kuva 2.1).

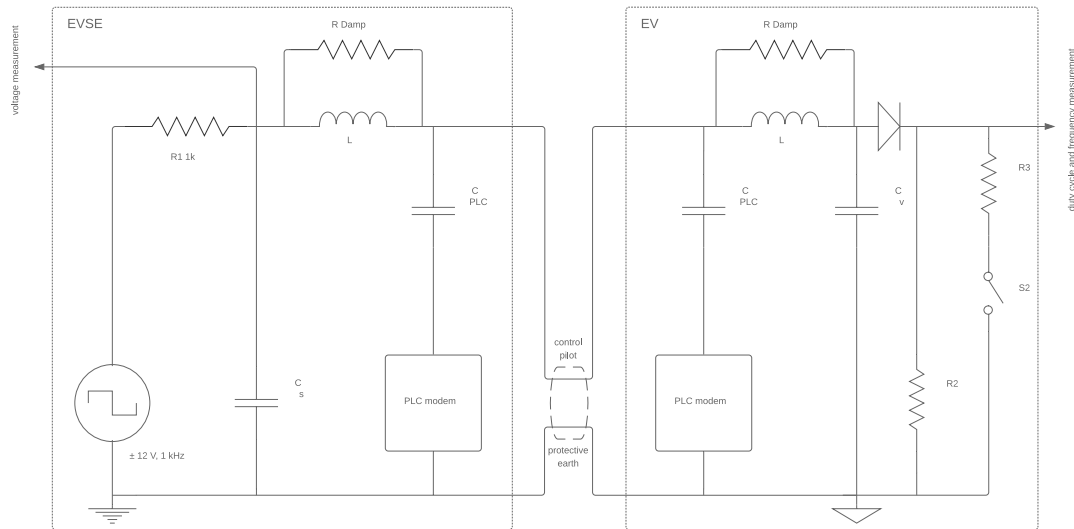
Taulukko 2.2: DC-latauksessa Control Pilot kommunikaatiolla latauslaite ja sähköauto ilmoittavat toisilleen tilansa ennen korkean tason kommunikaation alkamista. (mukaillen IEC 61851-1, 2010)

tila	auto kytketty	S2	lataus mahdollinen	CP-jännite
A	ei	avoin	ei	12 V
B	kyllä	avoin	ei	9 V
C	kyllä	suljettu	kyllä	6 V
D, tuuletus vaaditaan	kyllä	suljettu	kyllä	3 V
E, vikatila	kyllä	avoin	ei	0 V
F, laturi ei käytettävissä	kyllä	avoin	ei	-12 V

Control Pilotilla latauslaite (EVSE, *Electric Vehicle Supply Equipment*) ja ladattava sähköauto (EV, *Electric Vehicle*) kertovat toisilleen tilansa (ks. taulukko 2.2), ennen kuin mahdollinen korkean tason kommunikaatio aloitetaan. CP-tilojen toleranssi on \pm yksi voltia (IEC 61851-1, 2010). Laturi tuottaa CP-jännitteen signaaligeneraattorilla (ks. kuva 2.2). CP-jännite on staattista tai kanttiaaltoa \pm 12 V:n jännitteellä ja yhden kilohertsin taajuudella. Kun auto kytketään laturiin, muuttuu CP-jännite arvoon yhdeksän voltia (tila B). Kun auto on valmis lataamaan, suljetaan kytkin S2, jolloin CP-jännite putoaa vastuksen R3 arvon mukaan arvoon kuusi voltia (tila C) tai kolme voltia (tila D). Tilat E ja F laturi ilmoittaa autolle muuttamalla signaaligeneraattorilla tuotettua jännitettä.

Tiloissa C ja D auton lataaminen on mahdollista, mutta tilassa D auto tarvitsee tuuletuksen.

Auto vaatii tuuletusta, mikäli autossa oleva akku päästää myrkyllisiä kaasuja ilmaan latautuessaan. Jos riittävää tuuletusta ei ole tai laturilla ei ole mahdollisuutta kytkeä tuuletusta, laturi ei saa antaa virtaa autolle. (eTec, 2010)



Kuva 2.2: Kytentäkaavio CCS Combo 2 latauspistokkeen matalan (Control Pilot) ja korkean tason (PLC) kommunikaatioväylille. Datasähkö (PLC) kulkee Control Pilot (CP) ja suojamaa (PE) -johtimissa. (mukaiillen ISO 15118-3, 2016)

Taulukko 2.3: Control Pilot kommunikaatiolla latauslaite ilmoittaa sähköautolle maksimivirran, jonka auto saa laturilta ottaa. Maksimivirta ilmoitetaan Control Pilot signaalin pulssisuhteella, joka on verrannollinen virta-arvoon. (mukaiillen IEC 61851-1, 2010)

pulssisuhte	maksimivirta
$< 3 \%$	lataus ei sallittu
$3 \% \leq \text{pulssisuhte} \leq 7 \%$	digitaalinen kommunikaatio määrää
$7 \% < \text{pulssisuhte} < 8 \%$	lataus ei sallittu
$8 \% \leq \text{pulssisuhte} < 10 \%$	6 A
$10 \% \leq \text{pulssisuhte} \leq 85 \%$	$\text{virta} = (\% \text{ pulssisuhte}) \times 0,6 \text{ A}$
$85 \% < \text{pulssisuhte} \leq 96 \%$	$\text{virta} = (\% \text{ pulssisuhte} - 64) \times 2,5 \text{ A}$
$96 \% < \text{pulssisuhte} \leq 97 \%$	80 A
$> 97 \%$	lataus ei sallittu

Control Pilotin avulla laturi myös kertoo autolle suurimman virran, jolla auto saa ladata. Virta-arvo ilmaistaan pulssinleveysmodulaatiolla (PWM, *Pulse-Width Modulation*), joka saadaan aikaan laturin signaaligeneraattorilla. Pulssisuhte on prosenttiluku, joka kertoo kuinka pitkän aikaa CP-jännite on positiivinen verrattuna negatiiviseen yhden jakson aikana. Taulukossa 2.3 on listattuna virta-arvot eri pulssisuhteilla. Huomattavaa on, että maksimivirta CP-pulssisuhteella ilmaistuna on vain 80 A.

Jos digitaalinen kommunikaatio kulkee Control Pilot johtimessa, pulssisuhteen täytyy olla 5 %. Digitaalinen kommunikaatio voi myös olla käytössä pulssisuhteilla 8 - 97 %, mut-

ta tällöin virta ei saa ylittää pulssisuhteella määriteltyä virta-arvoa. (IEC 61851-1, 2010) CCS-latauksessa digitaalinen kommunikaatio on PLC:n välityksellä kulkeva korkean tason kommunikaatio.

Kommunikaatiöväylien kytkennästä on myös versio, jossa korkean tason kommunikaatiota ei ole sekä versio, josta puuttuu PLC ja kytkin S2. Tässä yksinkertaisemmassa Control Pilot kytkennässä auto on aina tilassa, jossa se on valmis lataamaan. Yksinkertaisempi CP saa olla vain autossa, joka lataa korkeintaan 16 A:n virralla vaihejohdinta kohti ja korkeintaan kahdella vaihejohtimella. (IEC 61851-1, 2010)

Control Pilottia käytetään myös latauksen hätäkatkaisemiseen muuttamalla auto tilaan B tai kytkemällä laturin signaaligeneraattori pois päältä (IEC 61851-23, 2014). CP:lle on määritelty aikarajat tilojen muuttamiselle sekä toisen osapuolen tilojen muutoksiin reagoimiselle standardeissa ISO 15118-3 ja IEC 61851-1.

2.3 Korkean tason kommunikaatio

Korkean tason latauskommunikaatio käydään latauslaitteen ja ladattavan auton kommunikaatioyksiköiden välillä. Laturi voi myös kommunikoida pilvipalvelun kanssa lataustapahtumasta, esimerkiksi tarkistaakseen tunnistautuneen käyttäjän oikeuden suorittaa lataus. Latauskommunikaation oikea määritelmä on erityisen tärkeää, sillä kyseessä ovat hengenvaarallisen korkeat jännitteet ja virrat autoa ladatessa. Tämän vuoksi latauskommunikaatiossa käydään tarkasti läpi turvallisuuteen liittyvät seikat ennen kuin lataus voidaan aloittaa. Latauslaitteita sekä ladattavia autoja valmistetaan eri tahojen toimesta, jonka vuoksi yhteinen määritelmä kommunikaatiosta on edellytys yhteensopivuudelle. Latauskommunikaatiosta on kuitenkin erilaisia määritelmiä eri tahojen standardeissa. Tietyn standardin mukaisesti keskusteleva kommunikaatioyksikkö voi keskustella toisen saman standardin mukaisen yksikön kanssa. Yksikkö voi myös tukea kahta eri standardia, jolloin vastapuolen yksikön kanssa sovitaan minkä standardin mukaisesti lataustapahtuma käydään. Mikäli yksiköt eivät löydä yhteistä standardia, ei latausta voida tehdä ja lataustapahtuma keskeytyy.

CCS-latauksen korkean tason kommunikaatio on määritelty DIN SPEC 70121 standardissa ja ISO/IEC 15118 standardisarjassa. DIN 70121 käsittää vain DC-latauksen eli ainoastaan 70121 standardia tukeva kommunikaatioyksikkö ei voi suorittaa AC-latauksen kommunikaatiota. DIN 70121 ei tue PnC latausta, jolloin se ei myöskään tue salattua yhteyttä laturin ja auton välillä. ISO 15118 lisää myös muita ominaisuuksia latauskommunikaatioon, esimerkiksi langattoman latauksen sekä älykkään latauksen, jossa auto voi määritellä laturille, milloin autoa ladataan.

DIN SPEC 70121 on ennenaikainen standardi, joka pohjautuu ISO 15118-2 standardin vaatimukseen (DIN, 2014). DIN 70121 julkaistiin väliaikaiseksi standardiksi, jotta markkinat saatiin käyntiin ennen kuin ISO 15118 oli valmis julkaistavaksi (Marc, 2019a). Kui-

tenkin DIN 70121 standardi on käytössä vielä vuonna 2020, lähes kuusi vuotta ISO 15118 julkaisun jälkeen.

ISO/IEC 15118 standardisarjaa ja DIN SPEC 70121 standardia on päivitetty niiden julkaisun jälkeen. Tämä on johtanut kommunikaatioprotokollaversioiden syntyyn. Versiointi lisää yhteensopivuushaasteita, sillä versioiden välillä voi olla niin suuria eroja, että lataaminen ei enää ole mahdollista riittävän turvallisesti. ISO 15118 määrittelee rajat missä tapauksissa auto ja laturi voivat edetä lataustapahtumassa, jos ne keskustelevat eri protokollaversioilla.

Korkean tason kommunikaatio tapahtuu digitaalisesti, eli viestit auton ja laturin välillä siirtyvät digitaalisessa muodossa. CCS-latauskommunikaatiossa korkean tason kommunikaatio on datasähköä. Datasähkö on tiedonsiirtoa johtimessa, jota käytetään samaan aikaan sähkövirran kuljettamiseen. Datasähköllä voidaan esimerkiksi luoda lähiverkko kotitalouteen jakamalla internet-yhteys pistorasiasta toiseen. CCS-latauskommunikaatiossa datasähköllä välitetään auton ja laturin välinen kommunikaatio matalan tason kommunikaation kanssa samassa johtimessa. Datasähkö siirtyy Control Pilot ja suojava (PE, *Protective Earth*) -johtimien välityksellä. Datasähkön protokollana latauskommunikaatiossa käytetään HomePlug Green PHY (HPGP) spesifikaatiota.

HPGP on edullinen ja matalan tehon sovellutus edeltäjästään HomePlug AV standardista. HPGP on datasähköratkaisu älykkään sähköverkon tiedonsiirtoa varten. HPGP käyttää samaa 2 - 30 MHz:n taajuusaluetta kuin edeltäjänsä. (HomePlug, 2010) Korkean tason latauskommunikaatio siirretään Control Pilot johtimeen PLC-modeemilla, joka tukee HomePlug Green PHY protokollaa. Modeemi kytketään CP- ja PE-johtimiin (ks. kuva 2.2).

Jotta Control Pilot ja datasähkö siirtyvät häiriöttömästi samaa johdinta pitkin, on kytkentään lisätty myös RLC-suodattimet sekä autoon että laturiin. RLC-suodattimet toimivat alipäästösuodattimina, jolloin matalan taajuuden CP-signaalit pääsevät kulkeutumaan CP-johdinta pitkin ja korkean taajuuden PLC-signaalit pääsevät PLC-modeemille.

Korkean tason kommunikaatio perustuu asiakas-palvelinarkkitehtuuriin. Tässä arkkitehtuurissa jokainen verkossa oleva laite on joko asiakas tai palvelin ja jokainen asiakas voi keskustella toistensa kanssa palvelimen välityksellä (Zhu et al., 2016). Latauskommunikaatiossa asiakas on ladattava sähköauto ja palvelin on latauslaite. Ladattavat sähköautot eivät kuitenkaan keskustele toistensa kanssa, mutta laturit eli palvelimet voivat keskustella esimerkiksi tehonjaosta. Laturit voivat myös keskustella usean sähköauton eli asiakkaan kanssa samanaikaisesti.

Korkean tason kommunikaatio koostuu ladattavan sähköauton lähettämistä pyyntöviesteistä ja vastausviesteistä, joita latauslaite lähettää sähköautolle. Viesteille on määritelty ajat, joiden sisällä niihin on vastattava. (Marc, 2019a) Viestien jälkeisille toimenpiteille on myös määritelty aikarajat. Aikarajat on määritelty ISO/IEC 15118 standardisarjassa ja DIN SPEC 70121 standardissa.

2.3.1 Kommunikaation muodostus

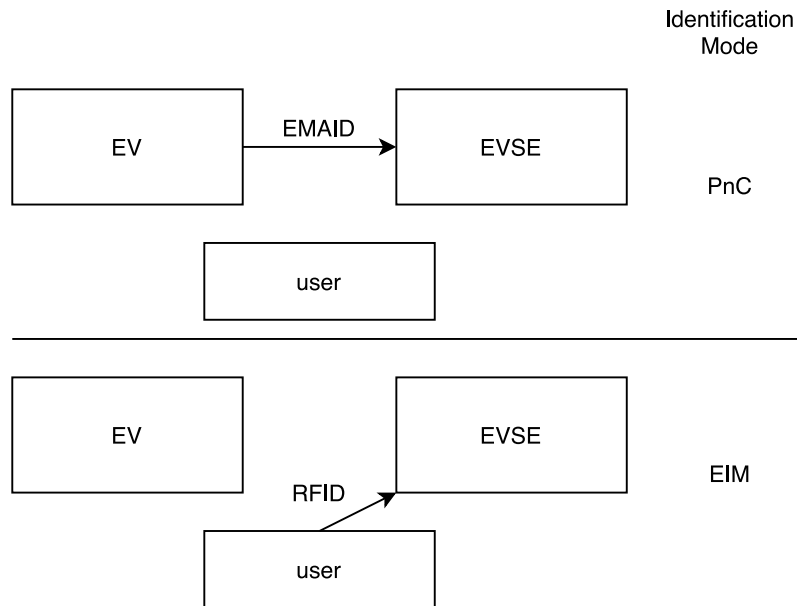
Korkean tason kommunikaatio ladattavan sähköauton ja latauslaitteen välille muodostetaan SLAC-protokollaa (*Signal Attenuation Characterization*) käyttäen. SLAC-protokolla on määritelty HomePlug Green PHY spesifikaatiossa. SLAC-viestien lähetys- ja vastaanottoteholaskenta sekä oikean laturin valinta tehdään ISO/IEC 15118-3 standardissa määritellyn tavan perusteella.

SLAC-protokollan viestit lähetetään yleislähetystenä, jolloin kaikki HPGP-verkossa olevat laturit voivat vastaanottaa viestit. SLAC-protokollassa ensin ladattava sähköauto ja latauslaite sopivat viestien välityksellä viestinnän salaustasosta, käytettävistä aikamääreistä sekä viestien CM_MNBC_Sound.Ind lukumäärästä. (HomePlug, 2012) Viestien CM_MNBC_Sound.Ind lähetys- ja vastaanottotehojen perusteella auto valitsee laturin, jossa viestien vastaanottoteho on vaimentunut kaikkein vähiten (ISO 15118-3, 2016). Tällä tavoin erotetaan latauspistokkeen päässä, HPGP-verkossa oleva laturi muista verkon mahdollisista latureista. Kun oikea laturi on vahvistettu, laturi ja auto muodostavat yksityisen HomePlug-verkon, jota kutsutaan nimellä HomePlug AV In-Home Logical Network (HomePlug, 2012). Muodostettu verkko pohjautuu IP-osoitteisiin ja sitä kutsutaan myös loogiseksi verkoksi ISO 15118-2 standardissa. Kun looginen verkko on muodostettu, auto ja laturi vaihtavat vielä IP-osoitteet ja portit keskenään (ISO 15118-2, 2014).

2.4 Lataajan tunnistautuminen

ISO/IEC 15118 standardisarja määrittelee kaksi eri tunnistautumismenetelmää: PnC ja EIM (*External Identification Means*). Kuvassa 2.3 on kuvattuna PnC ja EIM tunnistautumismenetelmien käyttö. PnC:ssä lataajan ei tarvitse tehdä toimenpiteitä tunnistautumisen tapahtumiseksi, kun EIM:ssä lataajan (*user*) pitää esittää laturille jokin ulkoinen tunnistautumismenetelmä.

Tällä hetkellä käytössä olevissa latureissa lataajan tunnistautuminen voidaan usein tehdä kahdella eri ulkoisella tavalla. Toinen tavoista yleensä vaatii käyttäjän rekisteröitymisen latausoperaattorille. Rekisteröityneen käyttäjän tunnistautumiskeinoja voivat olla esimerkiksi radiotaajuudella toimiva saattomuisti (RFID, *Radio Frequency Identification*) tai älypuhelinsovellus. Rekisteröimättömän käyttäjän tunnistautumiskeinoja voivat olla esimerkiksi latausoperaattorin internet-sivulla tehtävä luottokorttimaksu. Muita käytössä olevia tunnistautumismenetelmiä ovat muun muassa Bluetooth, tekstiviesti, puhelu, langaton lähiverkko (WLAN, *Wireless Local Area Network*), tullikortti tai autoon erikseen asennettu tunnistautumislaitte. Jos laturissa on mahdollista käyttää kahta eri tunnistautumismenetelmää, voidaan tunnistautuminen tehdä, vaikka toinen tunnistautumismenetelmä ei olisi käytettävissä. Tällainen tilanne saattaa syntyä esimerkiksi jos tunnistautumisessa käytettävä älypuhelinsovellus vaatii internet-yhteyden, mutta yhteys ei ole saata-



Kuva 2.3: Käyttäjän tunnistautuminen sähköauton latauslaitteella. PnC-tunnistautumisessa lataajalta ei vaadita toimenpiteitä tunnistautumisen tekemiseksi. EIM-tunnistautumisessa lataajan täytyy esittää laturille esimerkiksi RFID-tägi. (mukaillen ISO 15118-1, 2019)

villa. Sovelluksella tehty tunnistautuminen tapahtuu usein taustalla olevan pilvipalvelun kautta, johon älypuhelinsovellus sekä käytettävä latauslaite ovat yhteydessä.

ISO/IEC 15118 PnC ominaisuus mahdollistaa salatulla yhteydellä tapahtuvan sähköauton lataajan automaattisen tunnistautumisen laturiin kytkeytyessä. Tällöin lataajan ei tarvitse tehdä lataamisen aloittamiseksi muuta kuin kytkeä auto laturiin. PnC-viestikeskustelu perustuu sertifikaatteihin, joita erillinen taho ylläpitää ja myöntää latauslaitteille ja sähköautoille. Sertifikaateilla varmistetaan, että ulkopuoliset eivät pysty näkemään viestejä ja että viestejä ei ole muokattu lähettäjän ja vastaanottajan välissä. Sertifikaateilla myös varmistetaan siitä, että viestin vastaanottaja ja lähettäjä ovat niitä, joita ne esittävät olevansa. Tunnistautuminen PnC:ssä tapahtuu tunnuksella (EMAID/Contract ID, *E-Mobility Account Identifier*, ks. kuva 2.3), joka on rekisteröity autoon ja latausoperaattorin palvelimelle. Latausoperaattorin palvelimella EMAID on yhdistetty lataajan maksutietoihin. EMAID ei ole pysyvä, joten sitä ei voida käyttää pitkäaikaisena tunnisteena henkilö- tai autotietojen arviointiin (Marc, 2019a).

Autocharge tarkoittaa menetelmää, jossa auton CCS-latauskommunikaatioyksikön MAC-osoitetta (*Medium Access Control*) käytetään ladattavan auton tunnistautumiseen (OFA, 2017). Autocharge mahdollistaa lataajan automaattisen tunnistautumisen. Autochargin etuna on, että se hyödyntää olemassa olevaa CCS-latauskommunikaatiota, jolloin se ei vaadi autonvalmistajilta toimenpiteitä käyttöönottoon. Autochargea voidaan käyttää mille tahansa nyt liikenteessä olevalle CCS-latausta käyttävälle sähköautolle, joka sisällyttää kommunikaatioyksikön MAC-osoitteen latauskommunikaatioon. Autocharge on tarkoitettu helpottamaan lataustapahtumaa ja erityisesti tunnistautumista autoa ladattaessa.

Autocharge ei siis yritä tunnistaa ladattavaa autoa itsessään, vaan kommunikaatioyksikön MAC-osoitteen. Osoite on yhdistetty sähköauton lataajan maksutietoihin taustajärjestelmissä, jolloin maksu latauksesta kohdistuu ladattavan auton käyttäjälle.

Autocharge on Open Fastcharging Alliance (OFA, nykyisin Open Charge Alliance, OCA) -yhtymän kehittämä. Autocharge on kehitetty jo vuonna 2017, mutta se on käytössä vain muutamalla (EVgo, 2019; Fastned, 2020) latausoperaattorilla. Autochargen turvallisuus on kyseenalaista, sillä ladattavan auton MAC-osoite voidaan selvittää langattomasti CCS-latauskommunikaatiota salakuuntelemalla (Baker & Martinovic, 2019).

Sekä PnC että Autocharge on tehty helpottamaan ja yksinkertaistamaan latauksen aloitusta eivätkä ne suoraan liity itse auton tunnistamiseen. Silti ne molemmat ovat todennäköisesti osasyynä tutkimuksen puutteeseen auton tunnistamisesta. Nykyisissä tunnistautumismenetelmissä esiintyy käytännön ongelma, jossa ei tiedetä vaatiiko laturi ulkoisen tunnistautumisen ennen latauspistoolin kytkemistä vai sen jälkeen.

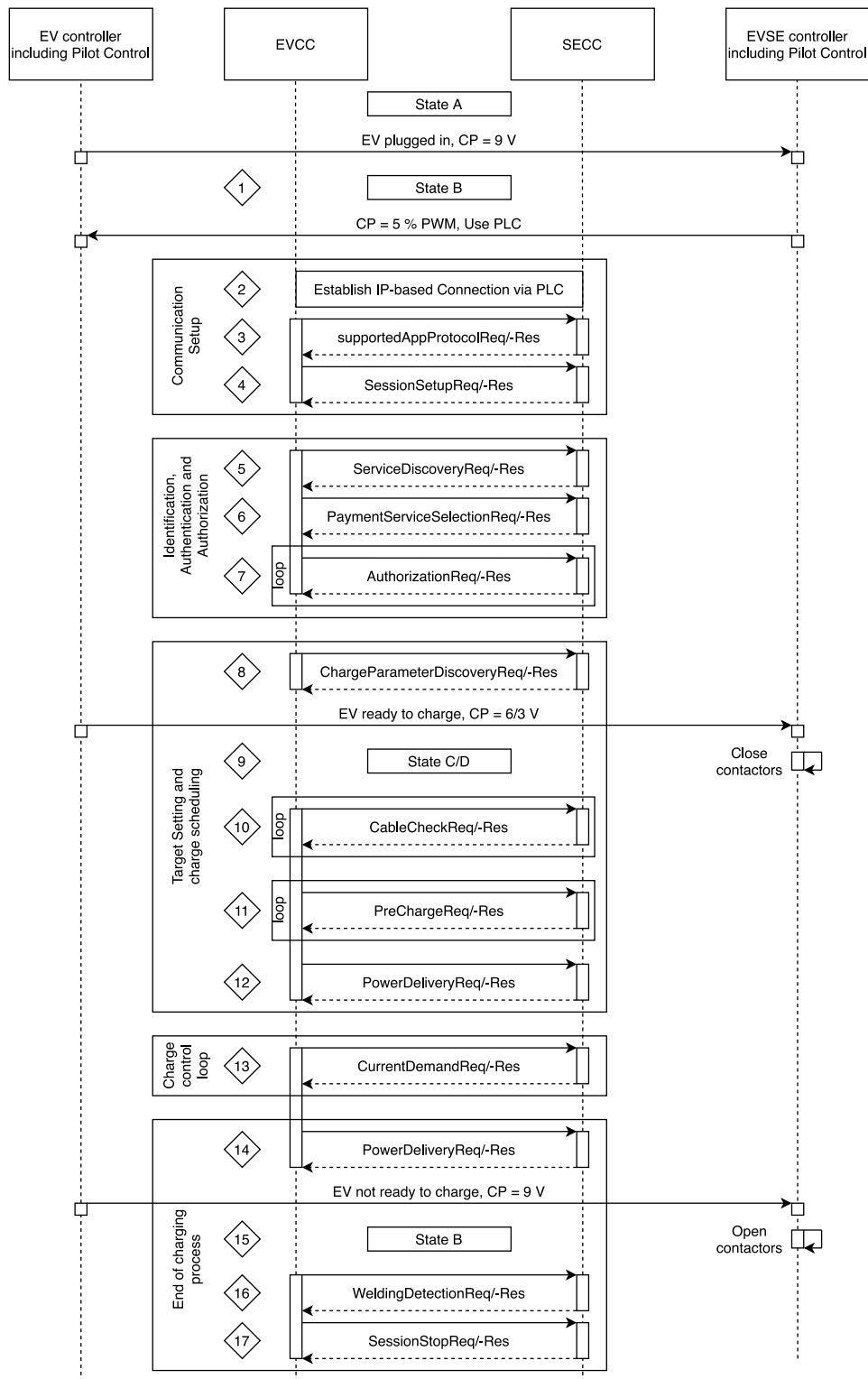
2.5 Lataustapahtuman kulku

Kuvassa 2.4 on lataustapahtuman viestiketju ladattavan sähköauton ja latauslaitteen välillä. Tämä viestiketju vastaa DC-pikalatausta, jossa käyttäjän tunnistautuminen tapahtuu ulkoisella tunnistautumismenetelmällä, eli esimerkiksi RFID-tägillä. Tässä latauksessa auto ei kysy lisätietoja mistään lisäpalveluista, kuten langallisesta internet-yhteydestä ladattavaan autoon. V2G ja PnC -viestejä tai lisäpalveluita ei käydä läpi, sillä Kempowerin laturi ei vielä tue kyseisiä ominaisuuksia. Myöskään pelkästään AC-lataukseen liittyviä viestejä ei käsitellä.

1. Ladattava sähköauto kytketään latauslaitteeseen, jolloin Control Pilot jännite muuttuu arvosta 12 V arvoon 9 V. Laturi tunnistaa auton ja CP-tila muuttuu A → B (ks. taulukko 2.2).
2. Laturi asettaa CP-pulssisuhteeksi 5 %, jolla se vaatii korkean tason kommunikaatiota käytettäväksi (ks. taulukko 2.3). Auto tunnistaa pulssisuhteen ja muodostaa yhteyden laturiin kappaleessa 2.3.1 mainitulla tavalla.
3. Auto ja laturi sopivat käytettävästä protokollaversiosta.
4. Auto ja laturi muodostavat kommunikaatioistunnon.
5. Auto kysyy laturilta mitä palveluja laturi tarjoaa. Laturi listaa mahdolliset maksutavat, lataustavat (AC/DC) sekä lisäpalvelut (ISO 15118-2, 2014).
6. Auto kertoo laturille mitä maksutapaa käytetään (ISO 15118-2, 2014).

7. Auto pyytää tunnistautumista, jolloin laturi ja auto jatkavat viestiketjua, kunnes esimerkiksi RFID-tägiä on näytetty laturille ja laturi on hyväksynyt tunnistautumisen (Marc, 2019a).
8. Auto kertoo laturille käytettävän lataustavan sekä latausparametrit. Latausparametreihin sisältyy vähintään auton tila (latausvalmius, akun varaustaso ja mahdollinen virhekoodi) sekä maksimivirta ja jännite. Laturi vastaa autolle omilla maksimilatausarvoillaan. (ISO 15118-2, 2014)
9. Auto sulkee kytkimen S2 (ks. kuva 2.2), jolloin CP-jännite muuttuu arvosta 9 V arvoon 6/3 V. Laturi tunnistaa että auto on valmis lataamaan, jolloin se sulkee kontaktorit. CP-tila muuttuu B → C/D.
10. Auto kertoo laturille tilansa, jolloin laturi aloittaa eristysmittauksen. Laturi ja auto jatkavat viestiketjua, kunnes laturi on suorittanut eristysmittauksen loppuun onnistuneesti. Laturi vastaa autolle tilallaan (ei valmis, valmis, pois päältä, vikatila ja niin edelleen). (ISO 15118-2, 2014)
11. Auto kertoo laturille tilansa sekä käytettävän jännite- ja virta-arvon. Laturi alkaa säätämään jännitettä ja jatkaa viestiketjua auton kanssa, kunnes oikeat arvot on saavutettu. Laturi vastaa autolle tilallaan sekä mitatulla ulostulojännitearvolla. (ISO 15118-2, 2014)
12. Auto pyytää latauksen aloitusta, johon laturi vastaa tilallaan. Energiavirta autoon alkaa. (ISO 15118-2, 2014)
13. Auto kertoo laturille vähintään tilansa, tiedon onko akku ladattu täyteen, sekä tavoitteeksi asetettavat jännite- ja virta-arvot. Laturi vastaa vähintään latausvalmiudessaan, mitatuilla ulostulojännite- ja virta-arvoilla, tiedolla onko jännite-, virta-, tai tehoraja ylitetty, sekä laturin yksilöllisellä tunnuksella. Viestiketju auton ja laturin välillä jatkuu, kunnes auton akku on ladattu täyteen. (ISO 15118-2, 2014)
14. Auto pyytää latauksen lopetusta, johon laturi vastaa tilallaan. Energiavirta autoon päättyy. (ISO 15118-2, 2014)
15. Auto avaa kytkimen S2, jolloin CP-jännite muuttuu arvosta 6/3 V arvoon 9 V. Laturi tunnistaa, että auto ei ole valmis lataamaan, jolloin se avaa kontaktorit. CP-tila muuttuu C/D → B.
16. Auto kertoo laturille tilansa, joka aloittaa tarkistuksen mahdollisen kontaktorien kiinnihitsauksen tarkistamiseksi (määritely standardissa IEC CDV 61851-23). Laturi vastaa tilallaan sekä mitatulla ulostulojännitearvolla. (ISO 15118-2, 2014)
17. Auto ja laturi lopettavat kohdassa 4 muodostetun kommunikaatioistunnon.

Viestiketjujen varsinaiset sisällöt ovat liitteissä 1. ja 2. Viestit ovat siepattu lataussimulaattorin avulla oikeasta latauskeskustelusta, sillä kaikki autot eivät seuraa standardissa määriteltyä kommunikaatiota täsmällisesti.



Kuva 2.4: Viestiketju ladattavan sähköauton ja latauslaitteen välillä DC-latauksessa, kun käytetään ulkoista tunnistautumismenetelmää eikä latauslaitteen mahdollisia lisäpalveluita huomioida. (mukaillen Marc, 2019a; ISO 15118-2, 2014)

3 Lataustietoanalysointi

Ladattavan sähköauton ja latauslaitteen välinen kommunikaatio sisältää tietoa, jolla ladattavan auton merkin ja mallin tunnistaminen on mahdollista. Kommunikaation viestien lisäksi voidaan myös käyttää laturin mittaamia arvoja. Lataustiedon analysoimiseksi auton ja laturin välistä siepattiin latauskommunikaatioviestintää simulaattoria käyttäen. Simulaattorina käytettiin Comemso EV Charging Analyzer DC-CCS:ää ja viestejä tulkitaan Vectorin CANoe-ohjelmistossa. Simulaattori kytkettiin laturin ja sähköauton väliin ja sitä käytettiin tilassa, jossa se näyttäytyy autolle laturina ja laturille autona. Osassa viesteistä lähetys- ja vastaanotto-osoitteet ovat simulaattorin eikä laturin tai auton, kuten tavallisesti ladattaessa. Simulaattorilla ladattiin neljästi autoa Volkswagen e-Golf (2018), kolmesti autoa Audi e-tron (2019) ja kahdesti autoa BMW i3 (2019). Lisäksi käytetään aikaisemmin siepattua viestintää autoista Tesla Model 3 (2019), Hyundai Kona (2019) ja BMW i3. Näillä autoilla oli tehty vain yksi lataus kullakin. Teslan ja Hyundain siepatusta viestinnästä tulkitaan vain viestikenttiä, joiden voidaan olettaa pysyvän samanlaisina eri lataustapahtumien välillä. ISO-protokollaa tukevia autoja ovat e-Golf ja e-tron.

Siepatun viestinnän lisäksi Kempowerin tietokantaan on tallennettu osa Current Demand viestien sisällöstä sekä ladattavan auton MAC-osoite ja RunID. Arvot on tallennettu lähes jokaisesta Kempowerin laturilla tehdystä latauksesta. Tietokannasta tietoa tulkitaan Elasticsearchin sekä Kibanan avulla. Tietokannasta löytyy lataustietoja edellisten autojen lisäksi seuraavista: Jaguar I-PACE, Hyundai IONIQ, Tesla Model S ja SEAT Mii. Sekä e-Golf että i3-autoista on ladattu myös vanhempia malleja. Tunnistamattomia autoja on ladattu kolmea erilaista. Vähemmän ladatuista autoista tietokantatietoa ei ole kerääntynyt vielä kovin paljoa, mutta tietokanta kerää jokaisesta latauksesta uutta tietoa, joten tunnistaminen tarkentuu jokaisen latauksen myötä.

Tietokantatiedoista autot tunnistetaan maksimijännitteen (EVMaximumCurrentLimit) ja MAC-osoitteen avulla. Kumpikaan näistä parametreista ei ole vaihteleva millään autolla ja vain MAC-osoitealku voi olla sama kahdella eri merkkisellä tai mallisella autolla. Tiedoista rajataan pois tulokset, joissa latausvirta on ollut alle kolme ampeeria sekä tulokset, joissa latausteho on ollut alle yhden watin. 2 A:n virralla alhaisin mitattu jännite on 20 V, kun yli 2 A:n virralla vastaava luku on 292 V. Alhaisin auton ilmoittama maksimijännite on 357 V (SEAT Mii), joten yli 2 A:n virralla jännitearvot vastaavat todennäköisemmin ladattavan auton akkujännitettä. Tällä tavoin PreCharge-osion mittaukset eivät sekoitu varsinaisiin latauksen aikaisiin mittauksiin. Jokaisen auton tunnistuksen oikeellisuus on varmistettu näköhavainnoin.

3.1 Matalan tason kommunikaatio

Matalan tason kommunikaatiossa eli Control Pilotissa viestit ovat analogisia. Viestejä tulkitaan taulukoissa 2.2 ja 2.3 olevia arvoja käyttäen. Taulukossa 3.1 nähdään simulaattorin

mittaama CP-jännite CP-tiloissa B ja C. Volkswagen e-Golfilla CP-jännite poikkeaa Audista ja BMW:stä huomattavasti. CP-jännitteeseen vaikuttavat kuvassa 2.2 olevien komponenttien arvot.

Taulukko 3.1: Simulaattorin mittaama CP-jännite CP-tiloissa B ja C. Laajennettu epävarmuus on laskettu kattavuuskertoimella kaksi.

CP-tila	Volkswagen e-Golf	Audi e-tron	BMW i3
B	$(8,374 \pm 0,104) \text{ V}$	$(8,811 \pm 0,104) \text{ V}$	$(8,917 \pm 0,107) \text{ V}$
C	$(5,691 \pm 0,103) \text{ V}$	$(5,934 \pm 0,104) \text{ V}$	$(5,863 \pm 0,103) \text{ V}$

Auto sulkee kytkimen S2, kun latauslaite on ilmoittanut olevansa valmis lataamaan ja auto on valmis lataamaan. Vastaavasti auto avaa kytkimen S2, kun se haluaa lopettaa lataamisen. Kun auto sulkee kytkimen S2, laturin mittaama CP-jännite putoaa 6/3 V:iin ja kun auto avaa kytkimen, nousee CP-jännite takaisin 9 V:iin. Yksikään simulaattoriladatuista autoista ei käytä CP-tilaa D, jossa CP-jännite on kolme voltia. Taulukosta 3.2 nähdään simulaattorin mittaamia aikoja, joka kestää CP-tilasta toiseen siirtymisessä. Laajennettu epävarmuus on laskettu kattavuuskertoimella kaksi. BMW i3:n ensimmäisessä latauksessa CP-tila muuttui tilaan B ennen kuin auto lähetti viestiä Power Delivery Request (Power Off). Audi e-tron sulkee kytkintä S2 huomattavasti kauemmin kuin muut autot.

Taulukko 3.2: Simulaattorin mittaama aika viestin Charge Parameter Discovery Request vastaanottamisesta CP-tilaan C siirtymiseen ja viestin Power Delivery Request (Power Off) vastaanottamisesta CP-tilaan B siirtymiseen. Kun auto sulkee kytkimen S2, muuttuu CP-tila B \rightarrow C ja vastaavasti kytkimen avattaessa C \rightarrow B.

CP-tila	Volkswagen e-Golf	Audi e-tron	BMW i3
B \rightarrow C	$(105 \pm 25) \text{ ms}$	$(9310 \pm 211) \text{ ms}$	$(214 \pm 159) \text{ ms}$
C \rightarrow B	$(369 \pm 22) \text{ ms}$	$(72 \pm 4) \text{ ms}$	$(62 \pm 137) \text{ ms}$

3.2 Korkean tason kommunikaatio

Korkean tason kommunikaatio eli PLC on digitaalista ja se sisältää lukuisia viestejä auton ja laturin välillä lataustapahtuman aikana. Tässä kappaleessa käydään yksitellen läpi kaikki viestikentät ja muut autoja yksilöivät asiat, joita voidaan käyttää auton tunnistamiseksi tai joissa on merkittävää poikkeamaa auton ja latausstandardin välillä. Myös ISO- ja DIN-protokollien merkittävät erot viestinnässä käydään läpi.

3.2.1 Kommunikaation muodostus

Korkean tason kommunikaatio muodostetaan SLAC-protokollaa käyttäen. SLAC:ssä laturi mittaa auton lähettämien viestien vaimennuksen tasoa. Vaimennus on riippuvainen erityisesti käytetystä latauskaapelista. Huomioitavaa on, että SLAC-viestejä voi tulla monelta autolta samanaikaisesti. Tällöin viestit on eroteltava MAC-osoitteen perusteella ja tunnistamiseen on käytettävä niitä arvoja, jotka saadaan sen auton viesteistä, joka yhdistetään laturiin onnistuneen SLAC:n seurauksena.

Simulaattorin mukaan laturin mittaama vaimennus auton lähettämistä viesteistä oli seuraavanlainen: Volkswagen e-Golf ($27,69 \pm 0,06$) dB; Audi e-tron ($27,86 \pm 0,14$) dB; BMW i3 ($27,84 \pm 0,05$) dB. Laturin mittaamalle vaimennukselle ei ole saatavilla mittausrvirheen suuruutta, joten virheessä on otettu huomioon ainoastaan otoskeskihajonta, jonka virhemarginaali on laskettu 95 %:n luottamusvälillä. Vaimennusluvut ovat niin lähellä toisiaan, että näin pienellä otoksella ei vaimennuksen suuruudesta voida tehdä johtopäätöksiä. Simulaattori laturin ja auton välissä myös lisää vaimennusta signaalissa verrattuna tavalliseen lataamiseen.

Viestien lukumäärä Simulaattorilatausten perusteella ennen loogisen verkon muodostamista auto voi lähettää joitakin viestejä useasti, ennen kuin laturi vastaa viestiin. Syy vastaamattomuuteen saattaa olla, että laturi ei ole valmis viestien vastaanottamiseen tai viestit eivät vain ole päässeet laturille asti, mutta syy voi myös olla lataussimulaattorissa.

Taulukko 3.3: Latauskommunikaatiossa lähetettävien viestipyyntöjen lukumääriä. Viestien lukumäärät vaihtelevat hieman eri lataustapahtumien välillä.

viesti	Volkswagen e-Golf	Audi e-tron	BMW i3
SECC Discovery Request	2-5	3-4	6
PreCharge Request	20-21	13-14	12-13
Welding Detection Request	2	1-2	0

Autojen lähettämien viestien lukumäärät pysyvät yhtenäisenä ennen viestiä SECC Discovery Request. Taulukosta 3.3 nähdään, että SECC Discovery Request -viestiä lähetetään kahdesta kuuteen kertaan autosta riippuen. SECC Discovery Request viestiä lähetetään niin monesti, kunnes laturi vastaa viestiin. Kyseisen viestin lähetysmäärä ei välttämättä riipu siis autosta, mutta simulaattorilatauksissa on nähtävissä yhtäläisyyksiä lataustapahtumien välillä. Myös viestien PreCharge Request lukumäärässä on nähtävissä selkeitä yhtäläisyyksiä lataustapahtumien välillä. BMW i3 lähetti viestiä Welding Detection Request

ainoastaan aikaisemmin siepatussa viestinnässä, jossa ladattava auto oli eri kuin myöhemmin tehdyissä simulaattorilatauksissa. Muiden viestien lukumäärässä ei ole selkeitä eroja eri autojen välillä.

Liitteessä 1. on nähtävissä Volkswagen e-Golfin lähettämät viestit kun yhteyttä auton ja laturin välillä muodostetaan. Liitteessä on ensin kuvattuna viestin CM_SLAC_Parm.Reg koko sisältö, tämän jälkeen jokaisesta seuraavasta viestistä esitetään kentät, joita ei ole aikaisemmissa viesteissä ollut. Kursivoituja kenttiä ei ollut keskustelussa mukana. Tähdillä on korvattu MAC- ja IPv6-osoitteista (*Internet Protocol Version 6*) yksilöivät osat. SECC Discovery Request on ensimmäinen loogisen verkon viesti ja näin ollen poikkeaa SLAC-protokollan viesteistä. Sublines-osiosta nähdään viestin sisältö tekstimuodossa, joka saadaan ISO 15118-3 standardissa olevien määritelmien avulla.

Aika Time-kentästä nähdään aika lataustapahtuman aloituksesta kyseisen viestin vastaanottamiseen. Kyseinen aika on simulaattorin laskema, mutta sama voidaan tehdä laturissa. Ajan avulla voidaan tulkita missä ajassa auto lähettää mitään viestejä tai suorittaa mahdollisia toimenpiteitä, jotka viivyttävät viestin lähettämistä. Ajan kulumiseen vaikuttaa myös laturin toimintanopeus eri kohdissa lataustapahtumaa.

Taulukko 3.4: Aikatiedot simulaattorilla ladattujen autojen viestinnästä. Numerot 1 - 6 tarkoittavat lataustapahtuman eri vaiheita, joista ensimmäinen laskenta alkaa viestin CM_SLAC_Parm.Reg vastaanottamisesta ja viimeinen laskenta päättyy viestin Session Stop Request vastaanottamiseen.

	Volkswagen e-Golf	Audi e-tron	BMW i3
1.	(3,468 ± 0,214) s	(1,554 ± 0,008) s	(31,30 ± 25,19) s
2.	(6,887 ± 5,568) s	(0,250 ± 0,001) s	0 s
3.	(0,595 ± 0,031) s	(10,08 ± 0,08) s	(1,078 ± 0,150) s
4.	(7,250 ± 0,021) s	(8,746 ± 0,034) s	(7,256 ± 0,032) s
5.	(3,035 ± 0,039) s	(1,920 ± 0,042) s	(3,337 ± 0,180) s
6.	(0,757 ± 0,025) s	(0,390 ± 0,020) s	—

1. CM_SLAC_Parm.Reg → ensimmäinen SECC Discovery Request
2. ensimmäinen SECC Discovery Request → viimeinen SECC Discovery Request
3. viimeinen SECC Discovery Request → ensimmäinen Cable Check Request
4. ensimmäinen Cable Check Request → ensimmäinen Pre Charge Request
5. ensimmäinen Pre Charge Request → ensimmäinen Current Demand Request
6. Power Delivery Request (Power Off) → Session Stop Request

Taulukossa 3.4 on simulaattorilla ladattujen autojen CCS-latauskommunikaatiossa lähetettyjen viestien aikoja. Volkswagen e-Golfia ladattiin neljästi, e-tronia kolmesti ja i3 kahdesti. Taulukossa olevat ajat ovat kaikkien latauksien keskiarvona ja laajennettu epävarmuus on laskettu kattavuuskertoimella kaksi. Saadut ajat ovat yhteneviä pois lukien i3:n ensimmäinen ja e-Golfin toinen laskenta. i3 lähettää viestin SECC Discovery Request vain kerran ja toisella latauskerralla viimeinen auton lähettämä viesti oli Power Delivery Request (Power Off). Kyseiset simulaattorilataukset tehtiin samalla latauslaitteella ja simulaattorilla yhden päivän aikana, jolloin olosuhteiden vaikutus minimoitiin. Ajoista huomataan, että autot toimivat eri kohdissa keskustelua eri nopeuksin ja se on yhtenevää eri lataustapahtumien välillä.

Viestin koko Viestin eri osioiden koot nähdään Length-kentistä. SLAC-vaiheessa kaikki viestit ovat samankokoisia eri autojen välillä ja eroja nähdään vasta viestissä Supported App Protocol Request.

Taulukko 3.5: Auton lähettämien latauskommunikaatioviestien Supported App Protocol ja Current Demand eri osioiden koot tavuina.

Supported App Protocol Request	Volkswagen e-Golf	Audi e-tron	BMW i3
General	150	150	116 tavua
Ethernet	136	136	102 tavua
IPv6	96	96	62 tavua
TCP	76	76	42 tavua
Current Demand Request			
General	121	124	124 tavua
Ethernet	107	110	110 tavua
IPv6	67	70	70 tavua
TCP	47	50	50 tavua

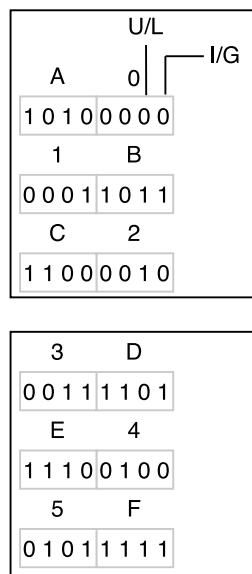
Taulukosta 3.5 nähdään, että e-Golf ja e-tron käyttävät samankokoisia Supported App Protocol Request viestejä, mutta e-tron ja i3 puolestaan käyttävät samankokoisia Current Demand Request viestejä. Viestien koot myös pysyvät samoina eri lataustapahtumien välillä.

MAC-osoite Source (Ethernet) -kentästä nähdään viestin lähettäjän MAC-osoite. Simulaattori näyttää tässä oman osoitteensa, mutta tavallisesti laturi näkee auton MAC-osoitteen.

MAC-osoitteen tarkoitus on yksilöidä maailmanlaajuisesti kaikki tietoverkkoon liitetyt laitteet. MAC eli EUI-48 tai EUI-64 (*Extended Unique Identifier*) on 48- tai 64-bittinen lukujono. (IEEE, 2014) Verkkolaitteeseen valmistusvaiheessa ohjelmoitu MAC on muuttumaton. Ladattavien sähköautojen kommunikaatioyksiköiden MAC-osoitteet ovat EUI-48 -muodossa, joten työssä käsitellään vain EUI-48 -muotoiset MAC-osoitteet.

A0-1B-C2-3D-E4-5F

MA-L: A0-1B-C2



Kuva 3.1: EUI-48 muotoinen MAC-osoite, joka on luotu MA-L/OUI -osoiteosasta. Osoitteen 24 ensimmäistä bittiä (MA-L) on rekisteröity osoitteen ostajataholle. (mukaillen IEEE, 2014)

EUI-48 -osoite koostuu kuudesta kahden heksadesimaaliluvun parista (ks. kuva 3.1). Osoite voidaan ilmaista sekä heksadesimaali- että binäärimuotoisena. Osoitteen pituus on 6 tavua tai 48 bittiä.

MA-L (*MAC Address Block Large*) -osoiteosalla voidaan rekisteröidä MAC-osoite yritykselle. IEEE Registration Authority hallinnoi ja nimittää MA-L -osoiteosia. (IEEE, 2014) MA-L/OUI (*Organizationally Unique Identifier*) on muuttumaton osa MAC-osoitetta. MA-L:stä muodostettu MAC koostuu MA-L:n kolmesta ensimmäisestä heksadesimaaliparista sekä kolmesta jälkimmäisestä heksadesimaaliparista, jotka ovat tarkoitettu laitteen yksilöimiseen. Verkkolaitteita valmistava yritys ostaa itselleen MA-L:n, jolloin yritys saa yksinoikeudet osoiteavaruuteen, joka alkaa tällä ostetulla MA-L:ällä. Näin ollen MA-L:n avulla voidaan tunnistaa verkkolaitteen valmistaja MAC-osoitteen perusteella.

Binäärimuotoisen MAC-osoitteen ensimmäisen tavun vähiten merkitsevä bitti (I/G) kertoo, onko MAC-osoite yksilöllinen (bitti = 0) vai osa joukkoa (bitti = 1). Osa joukkoa oleva MAC-osoite voi olla monen eri laitteen määrittelemiseksi tarkoitettu. Toiseksi vähiten merkitsevä bitti (U/L) kertoo, onko MAC-osoite maailmanlaajuisesti (bitti = 0) vai paikallisesti määritelty (bitti = 1). Paikallisesti määritelty MAC-osoite ei ole ainutlaatu-

nen missä tahansa verkossa. (IEEE, 2014) Kaikkien ladattujen autojen MAC-osoite on yksilöllinen ja maailmanlaajuisesti määritelty.

Tehtyjen latausten perusteella CCS-kommunikaatioyksikön MAC-osoite saadaan kaikista CCS-ladatuista autoista. Hyundai IONIQ ja SEAT Mii -autoja on ladattu vain latauslaitteella, joka sisältää kommunikaatioyksikön, joka ei välitä MAC-osoitetta tai RunID:tä eteenpäin. Autojen välillä on kuitenkin yhtäläisyyksiä eri merkkien välillä. Hyundai käyttää kommunikaatioyksiköissään eri MA-L -osoiteosia samassa automallissa. Hyundai Konassa käytetään Testop ja WE Corporation Inc. -nimisille yrityksille rekisteröityjä MAC-osoitteita. BMW ja Audi käyttävät molemmat Leopold Kostal GmbH & Co. KG yritykselle rekisteröityjä MAC-osoitetta. Teslan autoissa MAC-osoiteavaruus on pienempi kuin muissa autoissa, sillä Tesla Motors, Inc yritykselle on rekisteröity vain DC:44:27:1-alkuiset osoitteet.

MAC-osoite on muuttumaton ja se on erilainen jokaisella yksilöllä. Osoitteen perusteella voidaan siis yksilöidä autot luotettavasti. Osoitteella voidaan myös tunnistaa Tesla, Volkswagen, Hyundai ja Jaguar sekä lisätä muiden automerkkien todennäköisyyttä. Isomalla otannalla MAC-osoite saataisiin luotettavammaksi tunnistusmenetelmäksi. Voi olla, että muutkin autonvalmistajat kuin BMW ja Audi käyttävät samalle yritykselle rekisteröityjä MAC-osoitteita. On myös mahdollista, että muutkin autonvalmistajat kuin Hyundai käyttää samoissa malleissa usealle eri yritykselle rekisteröityjä MAC-osoitteita. Lisäksi tulevaisuudessa pahimmassa tapauksessa kaikki autonvalmistajat siirtyvät käyttämään samaa MA-L -osoiteosaa. Osa autojen eroista voi myös johtua ainoastaan auton kommunikaatioyksiköstä, jolloin samalla MAC-osoitealulla olevat kommunikaatioyksiköt käyttäytyvät niiltä osin samoin.

RunID RunID-kentässä (Sublines) nähdään numerosarja, joka simulaattorilatauksissa pysyy aina samana, mutta tavallisessa latauksessa se on lataustapahtumakohtainen. RunID on ISO 15118-3 standardin mukaisesti sarja satunnaisesti valittavia numeroita. RunID koostuu kahdeksasta heksadesimaaliparista. Tietokantatietojen perusteella numerot eivät kuitenkaan ole täysin satunnaisesti valittuja muutaman automerkin kohdalla. Hyundai Konassa RunID on aina sama ja se koostuu auton kommunikaatioyksikön MAC-osoitteesta sekä sitä seuraavista neljästä nollasta. Volkswagen e-Golfissa RunID noudattaa kaavoja, joiden mukaan numerosarja luodaan. Numerosarjassa on kolme mahdollista kaavaa: AA:BB:AA:BB:*, *:AA:BB:AA:BB, *:AA:BB:AA:BB:*. ”A” ja ”B” kuvaavat satunnaista heksadesimaalilukua ja ”*” tarkoittaa että sen paikalle voi laittaa mitä tahansa. Ensimmäisen kaavan mukainen RunID voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen: 33:CC:33:CC:93:F0:51:A4. Audi e-tron antaa RunID-numerosarjaksi aina saman, kuten myös Tesla. Jos Teslan RunID:n muuttaa ensin desimaalijärjestelmään ja tämän jälkeen ASCII-taulukolla tekstiksi, lukee Teslan RunID:ssä ”TESLA EV”. RunID:n avulla voidaan siis tunnistaa Tesla, Volkswagen, Hyundai ja Audi sekä lisätä todennäköisyyttä muille automerkeille.

NumSounds CM_Start_Atten_Char.Ind -viestin kenttä NumSounds (Sublines) on auton valittavissa, eikä sille ole määritetty maksimiarvoa standardissa ISO 15118-3. NumSounds arvolla valitaan lähetettävien CM_MNBC_Sound.Ind viestien määrä. Kaikki simulaattoriladatut autot käyttävät arvoa kymmenen.

Hop Limit SECC Discovery -viestissä nähdään HopLimit (IPv6) arvo. Hop Limit kertoo kuinka monta kertaa IPv6-paketti voidaan välittää eteenpäin, kunnes se hylätään (Deering & Hinden, 2017). Hop Limitille ei ole määriteltyä arvoa standardeissa. Volkswagen e-Golf käyttää arvoa 60, Audi e-tron 64 ja BMW i3 255. Hop Limit -arvo pysyy samana eri lataustapahtumien välillä.

Lähettäjän osoite Source-kentässä (IPv6) nähdään viestin lähettäjän IPv6-osoite. ISO 15118-2 standardin mukaan auton IPv6-osoite muodostetaan MAC-osoitteesta standardin IETF RFC 4291 (Deering & Hinden, 2006) mukaisesti. Simulaattorissa asetus ”Switch to EV/EVSE original address after SLAC” laittaa auton oikean IPv6-osoitteen näkyville, kun yhteys laturin ja auton välille on muodostettu. Jokainen simulaattoriladattu auto muodostaa IPv6-osoitteen auton MAC-osoitteesta.

Lähettäjän portti Source Port (UDP) -kentässä nähdään lähettäjän käyttämä portti viestin lähetykseen. ISO 15118-2 standardissa on määritelty mahdollisiksi porteiksi IETF RFC 6335 (Cotton et al., 2011) standardin Dynaamiset Portit, jotka ovat 49152-65535. ISO 15118-2 standardin mukaan käytettävä portti voidaan valita kerran ensimmäisen lähetettävän viestipyynnön kanssa tai uudestaan jokaisen viestipyynnön yhteydessä. Volkswagen e-Golf ja BMW i3 käyttävät eri UDP ja TCP (viesti Supported App Protocol) -portteja jokaisessa lataustapahtumassa. Audi e-tron käyttää porttia 49152 sekä UDP- että TCP-porttina jokaisessa lataustapahtumassa.

Salaus Security (Sublines) -kentästä nähdään, haluaako auto salata yhteyden auton ja laturin välillä. DIN 70121 -protokollan mukainen lataus ei tue salattua yhteyttä. PnC-ominaisuus sen sijaan edellyttää salattua yhteyttä (Marc, 2019a). Audi e-tron tai Volkswagen e-Golf eivät halua salata kommunikaatioyhteyttä.

3.2.2 Latausvalmistelu

Kun korkean tason kommunikaatio auton ja laturin välille on muodostettu, valmistellaan lataamista sopimalla käytettävä keskusteluprotokolla ja sovittamalla laturin ulostulojännite auton akkujännitteeseen. Liitteessä 2. on auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisen jälkeen. Ensimmäinen viesti on Supported App Protocol Request.

Ikkunan koko Window-kentässä (TCP) nähdään internet-pakettien ikkunan koko. ISO 15118-2 standardin mukaan auto ja laturi käyttävät IETF RFC 5681 (Blanton et al., 2009) standardin mukaisia menetelmiä ruuhkautumisen hallintaan. RFC 5681:n mukaan ikkunan koolla estetään verkon ruuhkautuminen rajoittamalla kuinka paljon tietoa saa lähettää ja ikkunan koko muuttuu dynaamisesti verkon tilan mukaisesti. BMW i3, Audi e-tron ja Volkswagen e-Golf pitävät ikkunan kokoa samana koko latauksen ajan ja myös eri lataustapahtumissa niin, että jokaisella autolla on oma arvonsa. Tesla Model 3 sen sijaan muuttaa ikkunan kokoa koko lataustapahtuman ajan.

Viestintäprotokolla AppProtocol (Sublines) -kentistä nähdään auton tukemat viestintäprotokollat. Kentistä nähdään myös auton tukeman viestintäprotokollan pääversio sekä sen revisio. Ladatuista autoista ISO 15118-2 -protokollaa tukevat ainoastaan Volkswagen e-Golf ja Audi e-tron. ISO-protokollaa tukeneet autot ovat myös tukeneet DIN 70121 -protokollaa. Ainoastaan Tesla tukee ”tesla:din:2018”-protokollaa. Kaikki ladatut autot tukevat samaa DIN 70121 -protokollaversiota sekä sen revisiota. Audi e-tron ja Volkswagen e-Golf tukevat samaa ISO 15118-2 protokollaversiota ja sen revisiota, ja molemmilla on myös Priority-arvona yksi ISO-protokollan kohdalla.

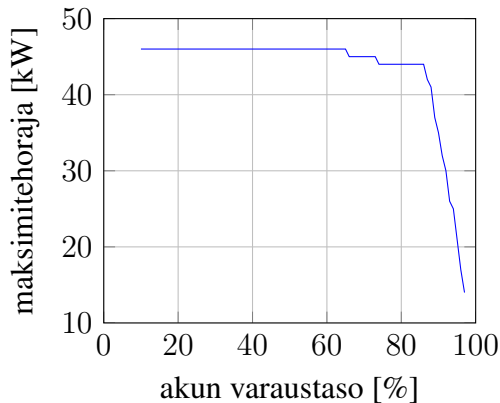
Auton tunnus Viestin Session Setup kenttä EVCCID sisältää auton tunnuksen, joka muodostuu auton MAC-osoitteesta. DIN SPEC 70121 standardissa kentän pituus on kaksi tavua pidempi kuin ISO 15118-2 standardissa. Kaksi ylimääräistä tavua näkyvät kahtena nollana MAC-osoitteen edessä DIN standardin mukaisessa keskustelussa.

Palveluviestit Viestissä Service Discovery DIN SPEC 70121 standardin mukaan vapaaehtoista ServiceCategory-kenttää käytettäessä sen tulee sisältää arvo ”EVcharging”. Hyundai Kona sisällyttää kentän ServiceCategory arvolla ”EVcharging”, kuten myös BMW i3, joka sisällyttää myös kentän ServiceScope, johon ei ole asetettu mitään arvoa.

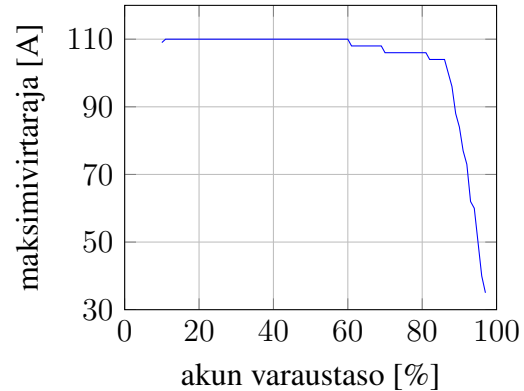
MaxEntriesSAScheduleTuple ISO 15118-2 standardin mukaan viestissä Charge Parameter Discovery kenttä MaxEntriesSAScheduleTuple kertoo kuinka monta merkintää auto voi vastaanottaa laturin lähettämässä viestissä SAScheduleTuple. Audi e-tron käyttää kenttää MaxEntriesScheduleTuple ja sen arvo pysyy samana eri lataustapahtumien välillä.

Maksimitehoraja Tietokantatiedon mukaan kenttä EVMaximumPowerLimit muuttuu akun varaustason mukaan osalla autoista ja osalla se pysyy vakiona. Kuvassa 3.2 nähdään Tesla Model 3:n maksimitehoraja akun varaustason funktiona yhdestä tietokantatan tallentuneesta lataustapahtumasta. Laturin maksimivirtaraja 100 A rajoittaa todennäköisesti myös auton näyttämän maksimitehorajan arvoon 46 kW. 46 kW on enemmän

kuin mitä tehoksi saataisiin käyttämällä auton ilmoittamaa maksimijännitearvoa ja laturin maksimivirta-arvoa.



Kuva 3.2: Tesla Model 3:n maksimitehoraja akun varaustason funktiona. Auto ilmoittaa latauksen aikana laturille maksimitehorajan ja akun varaustason.



Kuva 3.3: Tesla Model 3:n maksimivirtaraja akun varaustason funktiona. Virtaraja alkaa laskemaan 60 % varaustasolla, sillä akun kyky vastaanottaa virtaa heikkenee varaustason noustessa.

Energiakapasiteetti EVEnergyCapacity-kenttää ei käytä yksikään simulaattoriladatuista autoista.

Energiapyyntö Audi e-tron käyttää kenttää EVEnergyRequest ja simulaattorilatauksien perusteella e-tron voisi sillä tarkoittaa kuinka paljon auton akussa on tilaa ladata. Simulaattorilataukset olivat niin lyhyitä, että akun varaustaso ei kasvanut lataustapahtumien aikana, joten myöskään energiapyyntö ei muuttunut.

Täysi ja pääosin täysi akku Hyundai Kona ja BMW i3 käyttävät kenttiä FullSOC ja BulkSOC arvoilla 100 % ja 80 %.

Sisätilan lämpötilan hallinta EVCabinConditioning ilmaisee käyttääkö auto energiaa auton sisätilan lämpötilan jäähdyttämiseen tai lämmittämiseen. BMW i3 käyttää jokaisessa eri simulaattorilatauksessa viesteissä Charge Parameter Discovery, Cable Check ja Current Demand arvoa "TRUE" ja muissa viesteissä arvoa "FALSE". Kyseisen kentän arvoja ei ole tallennettu tietokantaan.

Akun lämpötilan hallinta EVRESSConditioning-kenttä ilmaisee käyttääkö auto energiaa akun lämpötilan hallintaan. Akun lämpötilan hallinnan tarve riippuu ympäristön läm-

pötilasta ja jopa autoilijan ajotavasta, mutta myös akulla on vaikutusta. Ympäristön lämpötila täytyy huomioida, jos kyseistä parametria käytetään auton tunnistamisessa. Ympäristön lämpötilan huomioiminen muodostuu haasteeksi, jos laturi sijaitsee esimerkiksi parkkihallissa, sillä tällöin juuri halliin ajettu auto on ollut eri lämpötilassa kuin laturin lämpötila-anturi. Kyseisessä tapauksessa ympäristön lämpötila pitäisi saada ulkona olevasta anturista. Toisaalta auto voi myös olla ollut parkkihallissa jo pitkän aikaa, jolloin hallin lämpötila vastaisi paremmin auton lämpötilaa. BMW i3 käyttää jokaisessa eri simulaattorilatauksessa ja jokaisessa viestissä arvoa "TRUE" kentässä EVRESSConditioning. Kyseisen kentän arvoja ei ole tallennettu tietokantaan.

Latausvalmius Hyundai Kona ja BMW i3 käyttävät EVReady-kentässä arvoa "FALSE" viestissä Charge Parameter Discovery Request. Tesla Model 3 käyttää arvoa "TRUE". Kentän arvoja ei ole tallennettu tietokantaan.

Akun varaustaso Auton akun varaustaso nähdään kentästä EVRESSSOC. Monet parametrit ovat verrannollisia auton akun varaustasoon.

Lähtöaika Simulaattoriladatut autot käyttävät DepartureTime-kentää ISO 15118-2 -protokollan lataustapahtumissa. Arvo on nolla jokaisessa latauksessa, joka tarkoittaa, että auto haluaa ladata heti.

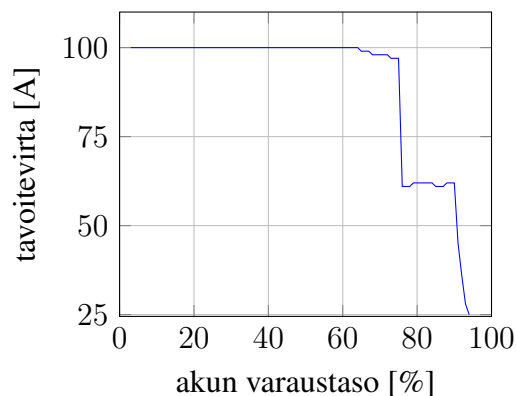
Maksimivirtaraja EVMaximumCurrentLimit-kentän arvo ei latausten perusteella vaihtelee lataustapahtumien välillä paitsi Tesloissa, jotka muuttavat kentän arvoa latauksen aikana. Osa autoista käyttää samaa maksimivirtaraja-arvoa. Kuvassa 3.3 nähdään Tesla Model 3:n maksimivirtaraja akun varaustason funktiona. Maksimivirtaraja seuraa kuvan 3.2 maksimitehorajaa. Maksimivirtaraja alkaa kuitenkin pieneneään akun varaustasolla 60 %, kun maksimitehoraja putoaa korkeimmasta arvostaan vasta 66 %:n varaustasolla. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että auton akkujännite kasvaa varaustason noustessa, joka osaltaan nostaa lataustehoa. Myös auton ilmoittama maksimivirtaraja rajoittuu 110 A:iin todennäköisesti laturin maksimivirtarajan vuoksi. Auton ilmoittama 110 A:n maksimivirtaraja on 10 A enemmän kuin laturin ilmoittama maksimivirtaraja.

Maksimijännite EVMaximumVoltageLimit-kentän arvo ei latausten perusteella vaihtelee lataustapahtumien välillä ja jokaisella autolla on kentälle oma arvo.

Tavoitejännite Viestissä Pre Charge nähdään auton asettama tavoite jännitteelle kentässä EVTargetVoltage. Simulaattorilatausten perusteella autoilla Audi e-tron ja Volkswagen e-Golf tavoitejännite pysyy saman kymmenyksen sisällä eri latausten välillä. BMW i3:n

tavoitejännite sen sijaan muuttuu yli 50 yksikköä. Latauksen aikana viestissä Current Demand Request tavoitejännite pysyy kaikilla autoilla samana eri lataustapahtumien välillä niin, että jokaisella autolla on oma arvo tavoitejännitteelle. Jaguar I-PACE on muutaman kerran (4/1007) pyytänyt eri tavoitejännitettä kuin tavallisesti. Jaguar I-PACE on myös ainoa auto, jonka tavoitejännite latauksen aikana poikkeaa maksimijännitearvosta. Tavoitejännitteen arvo on tallennettu tietokantaan ainoastaan viesteistä Current Demand.

Tavoitevirta Tavoitevirta nähdään kentässä EVTargetCurrent. Tavoitevirta pysyy samana eri latausten välillä. Audi e-tron käyttää arvoa yksi ampeeri ja BMW i3 käyttää arvoa nolla ampeeria. Latauksen aikana viestissä Current Demand Request tavoitevirta vaihtelee kaikilla autoilla. Tavoitevirran arvo on tallennettu tietokantaan ainoastaan viesteistä Current Demand.



Kuva 3.4: Hyundai Konan tavoitevirta akun varaustason funktiona. Latauslaitteen maksimivirtaraja rajoittaa tavoitevirran korkeintaan 100 A:iin.

Tavoitevirta varaustason funktiona saadaan auton ilmoittamasta akun varaustasosta EV-RESSOC ja tavoitevirrasta EVTargetCurrent. Auto ilmoittaa laturille virran, jolla se haluaa ladata, jonka jälkeen laturi asettaa virran niin, ettei se ylitä laturin maksimivirtaa. Kuvasta 3.4 nähdään, että tavoitevirta on verrannollinen akun varaustasoon. Latausnopeus on verrannollinen ympäristön lämpötilaan (Motoaki et al., 2018; Trentadue et al., 2018; Chacko & Chung, 2012) ja latausnopeus määritellään virran suuruudella, joten ympäristön lämpötila pitäisi ottaa huomioon tavoitevirtaa vertailtaessa. Tässä olevat ongelmat käsitellään akun lämpötilan hallinta -parametrissa. Latausvirtaan vaikuttavat myös auton sisätilan lämmitys, akun lämpötilan hallinta sekä lataushäviöt. Koska latausvirtaan vaikuttaa myös laturin maksimivirta, vaikuttaa laturi muihinkin parametreihin, joihin latausvirta vaikuttaa, kuten maksimilataustehorajaan ja Tesla Model 3:n tapauksessa myös maksimivirtarajaan.

Latausprofiili Viestissä Power Delivery Request (Power On) Audi e-tron käyttää kenttiä ChargingProfileEntryStart ja ChargingProfileEntryMaxPower. Näistä jälkimmäisen yk-

siköksi on määritelty watti standardissa ISO 15118-2, mutta Audi e-tron käyttää yksikköä wattitunti. Kentän arvo pysyy samana kaikissa simulaattorilatauksissa.

Akku ladattu pääosin täyteen Hyundai Kona käyttää kenttää BulkChargingComplete ainoana auton. Tietokantaan ei ole tallennettu kyseisen kentän arvoja.

SAScheduleTupleID Kenttä SAScheduleTupleID on DIN SPEC 70121 standardissa si-
joitettu elementin ChargingProfile alle. Yksikään auto ei käytä kyseistä kenttää.

Latauksen aloitus ChargeProgress kenttä on nimetty DIN SPEC 70121 standardissa ReadyToChargeState ja kentän tyypiksi on määritelty totuusarvomuuttuja, mutta DIN-
protokollan mukaan ladatut autot käyttävät kentässä arvoa yksi/nolla.

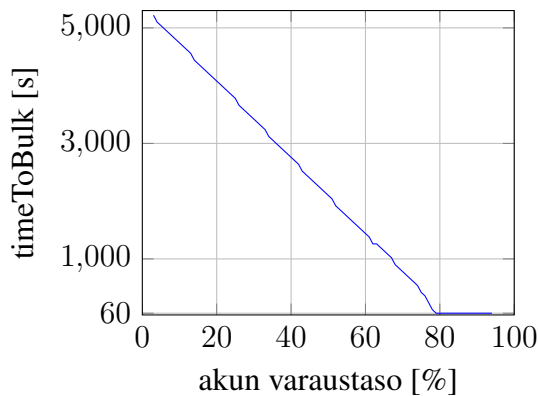
3.2.3 Latausvaihe

Litteen 2. viestissä Current Demand esitetään kaikki elementit ja kentät, jotka auto voi laturille lähettää latauksen aikana.

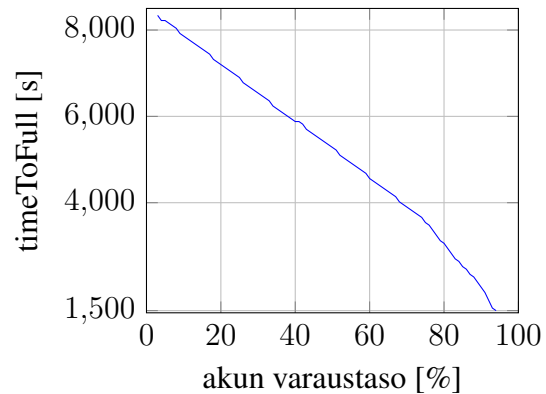
Aika kunnes akku on pääosin latautunut RemainingTimeToBulkSoC-kentässä tietokannan mukaan osa autoista käyttää kiinteää arvoa akun varaustasosta riippumatta. RemainingTimeToBulkSoC on mahdollisesti sekoitettu kenttään BulkSOC, joka kertoo varaustason arvon, jolloin akku on pääosin latautunut. Tietokantaan arvo saattaa myös olla tullut muualta kuin autolta, sillä jokaisessa simulaattorilatauksessa RemainingTimeToBulkSoC arvo on nolla, jos akku on jo ladattu yli 79 prosenttisesti.

Kuvassa 3.5 nähdään Hyundai Konan RemainingTimeToBulkSoC akun varaustason funktiona. Kona käyttää kenttää BulkSOC viestissä Charge Parameter Discovery arvolla 80, mutta timeToBulk jää arvoon 60, kun 80 %:n varaustaso saavutetaan. Akun lataaminen 2:sta → 80 %:iin kesti tunnin ja 33 minuuttia, kun auto ilmoitti kestoksi tunnin ja 27 minuuttia.

Aika kunnes akku on täynnä RemainingTimeToFullSoC-kenttää käyttävät kaikki autot, mutta Teslat jättävät kentän pois osassa latauksista. Kuvassa 3.6 Hyundai Kona kertoo täyteen lataamisen kestävän 2 tuntia ja 19 minuuttia. Arvo timeToFull alkaa 76 %:n kohdalla laskemaan nopeammin kuin aikaisemmin, vaikka latausteho laskeekin koko ajan akun varaustason noustessa.



Kuva 3.5: Hyundai Konan ilmoittama aika kunnes akku on 80 prosenttisesti ladattu. Aika on piirretty auton ilmoittaman akun varaustason funktiona.



Kuva 3.6: Hyundai Konan ilmoittama aika kunnes akku on ladattu täyteen. Akun lataus 2:sta → 94 %:iin kesti yhden tunnin ja 59 minuuttia.

3.2.4 Latauksen lopetus

Auto pyytää latauksen lopetusta viestillä Power Delivery Request (Power Off).

Hitsauksen tarkistus Viestillä Welding Detection auto pyytää laturia suorittamaan toimenpidettä, jolla tarkistetaan ovatko kontaktorit hitsautuneet kiinni. Simulaattoriladattaisista autoista Tesla Model 3 ei lähetä viestiä lainkaan ja BMW i3 lähetti sen ainoastaan aikaisemmin siepatussa viestinnässä.

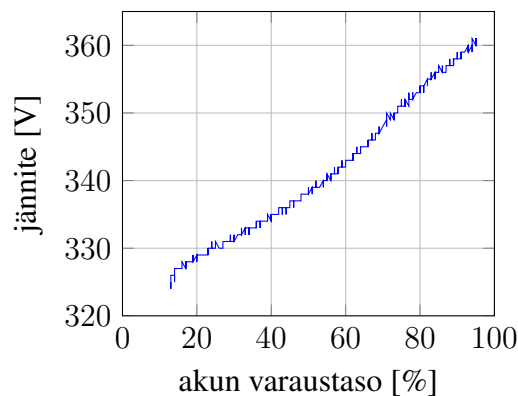
Istunnon päättäminen Viestissä Session Stop Request DIN 70121 -protokollan keskustelussa ei käytetä kenttää ChargingSession.

3.3 Latauslaitteen mittaamat arvot

Latauslaitteella on jännite-, virta- ja tehoarvot, joita se ei saa ylittää missään vaiheessa latausta. Laturi lähettää autolle latauksen aikana laturin mittaamat jännite- ja virta-arvot viestissä Current Demand Response. Myös näitä arvoja voidaan käyttää apuna ladattavan auton tunnistuksessa.

Eri automalleissa tai merkeissä voidaan käyttää samoja akkupaketteja, jolloin niitä ei voida välttämättä erottaa toisistaan akkupakettiin verrannollisilla parametreilla, kuten maksimivirta ja maksimijännite tai tavoitejännite ja tavoitevirta. Myös eri valmistajien akkupaketit voivat mahdollisesti sisältää yhtäläisyyksiä akkupakettiin verrannollisissa parametreissa.

Akkujännite varaustason funktiona Yhdistämällä laturin mittaama jännite ja auton akun varaustaso EVRESSOC, saadaan akkujännitteen suhde sen varaustasoon. Kuvasta 3.7 nähdään, että akkujännite on verrannollinen sen varaustasoon. Tietokantatiedoista nähdään, että jännite vaihtelee hieman eri latauksien välillä. Volkswagen e-Golf auton akun varaustaso 40 % on taltioitu 78 eri kertaa, joista akkujännitteen keskihajonta on 3.80 %:n varaustaso on taltioitu 54 eri kertaa, joista keskihajonta on 2. Keskihajonnat ovat Elasticsearchin laskemat, mahdollista virhettä ei ole saatavilla. Tietokannan mukaan akkujännitteen vaihtelu kaikkien autojen välillä on 292 (Tesla Model 3) - 458 V (Audi e-tron). Kaikkien autojen akkujännitteet mahtuvat siis hyvin pienen haarukan sisään, jolloin vertailu autojen välillä on haastavaa.



Kuva 3.7: Volkswagen e-Golfin akkujännite akun varaustason funktiona. Jännite on laturin mittaama ja varaustaso on auton ilmoittama luku.

Akkujännite varaustason funktiona voi muuttua auton ohjelmiston päivityksen myötä. Autonvalmistaja voi myös ohjelmoida auton muuttamaan akkujännitettä itsestään, kun akun kapasiteetti on vähentynyt, tarkoituksenaan estää auton käyttäjää näkemästä kapasiteetin vähenemistä. Akkujännite muuttuu myös akun kapasiteetin vähennyttyä ilman valmistajan tekemää muutostakin.

Latausvirta ajan funktiona Integroimalla latausvirtaa ajan suhteen saadaan ladatun akun ampeerituntilukema. Ampeerituntilukema ilmaisee sähkövarauksen määrää, jonka ampeerin virta kuljettaa tunnin aikana. Ampeerituntilukema kertoo siis auton akun varauskyvystä. Latausvirtaan vaikuttavat asiat käsitellään edellisessä parametrissa. Latauksesta laskettua ampeerituntilukemaa voidaan verrata auton nimelliseen ampeerituntilukemaan katsomalla kuinka monta prosenttia akun varaustaso kasvaa latauksen aikana ja laskemalla kuinka paljon ampeerituntilukema nousisi nimellisesti kyseisellä varaustason nousulla. Kyseistä parametria ei voida käyttää heti latauksen alettua.

Latausteho ajan funktiona Akun kapasiteetti saadaan integroimalla lataustehoa ajan suhteen. Latausteho on verrannollinen akkujännitteeseen sekä latausvirtaan. Akkujännite

varaustason funktiona -parametrissa käsitellään jännitteen suuruuksiin vaikuttavia asioita. Virran suuruuteen vaikuttavia asioita käsitellään parametrissa tavoitevirta. Laskettua kapasiteettiä voidaan verrata nimelliseen kapasiteettiin samalla tavoin kuin ampeeritulukemaa edellisessä parametrissa. Myöskään latausteho ajan funktiona -parametria ei voida käyttää heti latauksen alettua.

3.4 Kerätty autotieto tunnistamista varten

Latauskommunikaation viestinnästä valittiin parametrit autontunnistukseen, joiden käyttöönotto oli toteutettavissa tutkimusajan puitteissa. Parametrien käyttöä rajoittivat erityisesti niiden arvojen saaminen tietokantaan.

Taulukko 3.6: Volkswagen e-Golfin tiedot Current Demand Request viestistä tunnistamista varten. Osassa parametreista voi olla usea vaihtoehto, joita auto voi käyttää.

parametri	arvo
jännite	min: 317, max: 366
tavoitejännite	369
tavoitevirta	min: 12, max: 100
maksimijännite	369
maksimivirta	125
maksimitehoraja	min: 8000, max: 45000, tyhjä
timeToBulk	80, tyhjä
timeToFull	min: 300, max: 8700
MAC-osoitealku	00:7D:FA
RunID	AA:BB:AA:BB:*, *:AA:BB:AA:BB:*, *:AA:BB:AA:BB

Taulukossa 3.6 nähdään esimerkki auton tiedoista, joita käytetään tunnistamisessa. MAC-osoite ja RunID voidaan lukea viestistä CM_SLAC_Parm.Req, muut parametrit luetaan viestistä Current Demand Request. Lisäksi jokaisesta ladatusta autosta on tiedosto, joka sisältää kustakin autosta mediaanijännitteen eri akun varaustasoilla (vrt. kuva 3.7). Elasticsearch laskee mediaanijännitteen jokaisella eri akun varaustasoilla tehdyistä jännitemittauksista. Elasticsearchin mukaan mediaaniarvon suhteellinen virhe on korkeintaan noin 2,6 %. Tiedostoa verrataan auton ilmoittamaan akun varaustasoon sekä laturin mittamaan jännitteeseen. Mediaanijännitteen lisäksi tiedostossa on jokaisesta autosta seuraavat mahdollisesti akun varaustasoon verrannolliset arvot: maksimitehoraja, maksimivirtaraja, tavoitevirta, timeToBulk ja timeToFull. Myös näitä kaikkia auton antamia arvoja verrataan auton akun varaustasoon. Autontunnistukseen otettiin yhteensä kymmenen kappaletta eri parametreja.

Tietokannasta huomataan, että millään MAC-osoitealulla ei ole saatu autoilta muita maksimijännitearvoja kuin ne, jotka kyseisille autoille ovat oikeita. Edellyttäen että otetaan huomioon vain ne arvot, jolloin virta on ollut yli kaksi ampeeria ja teho enemmän kuin nolla wattia. Esimerkiksi MAC-osoitealulla 00:7D:FA ovat autot antaneet maksimijännitearvoiksi ainoastaan 369 V (Volkswagen e-Golf 2017) tai 360 V (e-Golf 2014). Myös tavoitejännite toimii samoin kuin maksimijännite, pois lukien Jaguar I-PACE, joka on muutaman kerran (4/1007) antanut latauksen alussa tavoitejännitteeksi eri arvon kuin tavallisesti. Tesla, Hyundai Kona, Audi e-tron ja Volkswagen e-Golf käyttävät myös tunnistettavaa RunID:tä.

Tämänhetkisen tiedon mukaan auton merkki ja malli voidaan tunnistaa lataamisen alettua CCS-latauskommunikaatiosta auton ilmoittaman maksimijännitteen avulla. Mallikohtaisia eroja voidaan selvittää etenkin maksimi- ja tavoitejännitteen avulla, mutta myös kaikilla muilla akkupakettiin verrannollisilla parametreilla, kuten tavoitevirta, maksimivirta ja maksimitehoraja tai akkujännite varaustason funktiona. Useat viestit sisältävät vapaaehtoisia kenttiä, joiden käyttäminen voi viestiä eroista eri automalleissa. Myöhemmin kun autoihin tulee lisää ominaisuuksia saataville, voidaan jopa auton varustepaketti tunnistaa, jos parempi varustepaketti tuo mukanaan esimerkiksi PnC-ominaisuuden. Auton teholuokka ja akkukapasiteetti kulkevat usein käsi kädessä, jolloin teholuokan selvittäminen onnistuu integroimalla lataustehoa ajan suhteen, josta voidaan arvioida akkukapasiteettia. Useat erot viesteissä sen sijaan eivät välttämättä kerro itse autosta mitään, kuten kommunikaatioyksikön tapa valita portti viestien lähettämiseen.

Mikäli tulevaisuudessa eri merkit käyttävät samaa akkupakettia samoilla arvoilla, on käytössä edelleen muutamia tapoja tunnistaa ladattava auto. Kommunikaatioyksikön MAC-osoite ja sen antama RunID sekä arvot, missä ajassa viestejä lähetetään, voivat vielä olla erilaisia autojen välillä. Mikäli kommunikaatioyksikötkin ovat samanlaiset, saattaa autot vielä erottaa toisistaan esimerkiksi CP-toiminnasta tai latauksen lopussa kontaktorien kiinnihitsaamisen tarkastusajasta. Tällainen tilanne saattaisi syntyä saman konsernin eri merkkien tai automallien välille.

4 Autontunnistusalgoritmi

Algoritmi toteutettiin todennäköisyysperusteisena niin, että jokainen yksittäinen parametri voi vähentää mahdollisen auton todennäköisyyttä. Kun kaikki parametrit on käyty läpi, katsotaan todennäköisin vaihtoehto. Algoritmi tehtiin myös siten, että se toimii myös muiden sähköajoneuvojen kuin henkilöautojen kanssa, kuten sähkötyökoneiden ja sähköbussien. Niillä myös tavoitejännite voi olla ajoneuvon akun varaustason mukaan muuttuva parametri.

Algoritmin koodi kirjoitettiin JavaScript-kielellä, jota suoritetaan Node.js ympäristössä. Myöhemmin JavaScript muutettiin TypeScript-muotoon, sillä se on yhteensopivampi Kempowerin ohjelmistoympäristöön. Koodi kirjoitettiin Microsoft Visual Studio Code -lähdekoodieditorilla.

```
1 "evIdentify": {
2   "exactMatch": {
3     "displayName": "Volkswagen e-Golf 32 kWh",
4     "make": "Volkswagen",
5     "model": "e-Golf",
6     "id": "vw_egolf_32",
7     "batteryCapacity": {
8       "gross": 35.8,
9       "net": 32
10    },
11    "probability": 10
12  },
13  "chargingLog": {
14    "current": 64,
15    "powerW": 20926,
16    "SoC": 36,
17    "voltage": 328,
18    "targetVoltage": 369,
19    "targetCurrent": 63,
20    "evMaximumVoltage": 369,
21    "evMaximumCurrent": 125,
22    "evMacAddress": "00:7D:FA:0*:**:*",
23    "evRunId": "BD:50:71:BA:71:BA:49:69",
24    "evMaximumPower": 31000,
25    "timeToFull": 6000
26  }
27 }
```

Koodi 1: Esimerkki vuoden 2018 Volkswagen e-Golfille tehdystä tunnistuksesta. Objekti ”chargingLog” annetaan algoritmille tarkistettavaksi, josta se palauttaa pääohjelmalle objektin ”exactMatch”.

Koodi toimii kirjastona, joka suoritetaan Kempowerin pilvipalvelun pääohjelmasta aina kun auton lataaminen alkaa. Koodin toiminta on seuraavanlainen:

- Kirjastolle syötetään objekti (ks. koodi 1, ”chargingLog”), joka sisältää viestin Current Demand Request sisällön, auton MAC-osoitteen ja RunID:n sekä laturin mitaaman virran, jännitteen ja tehon.
- Kirjasto hakee tiedostoista kaikkien mahdollisten autojen parametrit (ks. taulukko 3.6 ja kuva 3.7).
- Kirjasto vertaa yksitellen jokaista objektin parametria jokaiseen autoon (ks. koodi 2) ja pienentää auton todennäköisyyttä, jos algoritmi palauttaa arvon ”false”.
- Kirjasto palauttaa listan autoista (ks. koodi 1, ”exactMatch”), joiden todennäköisyys on kaikkein suurin.

Työn kirjoittamishetkellä kirjastoa suoritetaan ainoastaan sähköauton latauksen aikana ladattavan auton merkin ja mallin tunnistamiseksi. Tulosta käytetään vain lisätietona muun latausinformaation lisäksi, eikä se lisää tai poista mitään itse latausprosessista. Myös tulevaisuudessa tunnistuksen tarkoituksena on tuoda lisätietoa autosta, eikä ohjata itse latausta.

4.1 Koodin sisältö

Koodia 2 käytetään parametreille, jotka voivat sisältää sekä kiinteän arvon että välin, jonka sisällä annetun arvon tulee olla. Tällaisia parametreja ovat muun muassa aika, kunnes akku on täysi ja maksimitehoraja. Riveillä kolme ja viisi tarkistetaan, ovatko tarkistettava arvo ja auton arvo tyhjiä tai onko vain tarkistettava arvo tyhjä. Rivillä seitsemän tarkistetaan, onko tarkistettava arvo kahden yksikön sisällä auton arvosta. Riveillä 10-11 tarkistetaan, onko tarkistettava arvo auton minimi- ja maksimiarvojen sisällä.

```
1 private checkRangeOrValue(output: any, input: any) {
2     for (const outputValue of output) {
3         if (!outputValue && !input) {
4             return true;
5         } else if (outputValue && !input) {
6             continue;
7         } else if (Math.abs(outputValue - input) <= this.DEVIATION) {
8             return true;
9         } else if (outputValue && outputValue.min) {
10            return outputValue.min <= input &&
11                outputValue.max >= input;
12        }
13    }
14 }
```

Koodi 2: Tämä kirjaston funktio tarkistaa, onko annetun parametrin arvo sama tai sillä välillä, kuin autoehdokkaan tiedoissa on. Funktion syöte ”output” sisältää autoehdokkaan tiedot ja ”input” sisältää ladattavan auton tiedot.

MAC-osoitteelle ja RunID:lle on omat algoritmit. Lisäksi oma algoritmi on parametreille, joista tarkistetaan ainoastaan yksittäinen arvo, kuten maksimijännite. Myös sellaisille parametreille on oma algoritmi, joista tarkistetaan, onko ladattavan auton arvo tiettyjen arvojen sisällä, kuten tavoitevirta.

Tavoitejännitettä (työkoneiden ja bussien osalta) ja akkujännitettä verrataan tietyllä akun varaustasolla mitattujen arvojen mediaaniin. Kaikkia muita akun varaustasoon verrannollisia parametreja verrataan tietyllä akun varaustasolla mitattujen arvojen maksimiin ja minimiin. Muut varaustasoon verrannolliset arvot kuin jännitearvot, ovat hyvin olosuhderiippuvaisia, joten niitä ei voida verrata mittauksien mediaaniin. Virran suuruuteen vaikuttavia asioita käsitellään kappaleessa 3.2.2. Taulukon 3.6 akun varaustasoon verrannollisten parametrien arvoja käytetään tunnistamiseen vain, jos kyseisestä autosta ei ole saatavilla tiedostoa, joka sisältää kyseisten parametrien mittaukset kaikilla eri varaustasoilla. Tällainen tilanne on esimerkiksi autoilla, joiden MAC-osoite ei ole tiedossa.

Annetun arvon ja auton arvon yhtenäisyyttä vertaavat algoritmit ovat muokattavissa. Niistä voidaan valita, kuinka monta yksikköä annettu arvo saa poiketa autoehdokkaan arvosta. Esimerkiksi Volkswagen e-Golfin kertoma maksimijännite voidaan hyväksyä oikeaksi parametriksi välillä 367 - 371 V, jos jännitteelle sallitaan korkeintaan kahden yksikön poikkeama. Mitä suuremmaksi sallittu poikkeama asetetaan, sitä todennäköisemmäksi kaikki autoehdokkaat tulevat. Toisaalta jos poikkeama on liian pieni, laskee myös oikean auton todennäköisyys.

Kirjastolle ei tarvitse antaa kaikkia mahdollisia parametreja, kaikki autot eivät edes käytä vapaaehtoisia kenttiä viesteissään ja toisinaan käytettävien vapaaehtoisten kenttien määrä vaihtelee. Mitä enemmän parametreja kirjastolle annetaan, sitä tarkemmaksi tunnistaminen tulee ja mitä vähemmän parametreja annetaan, sitä todennäköisempiä kaikki autot ovat.

4.2 Autotietojen päivitys

Autontunnistusalgoritmin lisäksi tehtiin toinen algoritmi, joka hakee tietokannasta uusimmat autotiedot ja ilmoittaa, mikäli jokin arvo muuttuu merkittävästi. Tällöin voidaan tarkastella mahdollista virhettä tai muutosta autossa. Esimerkiksi jos jonkin auton akkujännite muuttuu usealla eri akun varaustasolla lyhyen aikavälin sisällä, on autoon saatettu tehdä päivitys, joka on muuttanut jännitettä. Algoritmilla päivitettäviä autotietoja ovat parametrit, jotka sisältävät minimi- ja maksimi-arvot. Lisäksi algoritmilla haetaan kaikki akun varaustasosta riippuvat parametrit. Muut arvot haetaan tietokannasta käsin, kun auto lisätään algoritmin hakemiin autotietoihin mahdolliseksi autoksi.

4.3 Algoritmin pätevyyden todennus

Algoritmin pätevyys todennettiin testitapauksella jokaisesta autosta. Myös kolmesta tunnistamattomasta autosta otettiin testitapaukset. Kaikkein helpoiten algoritmi tunnistaa Hyundai Konan ja Audi e-tronin. Näillä molemmilla on tunnistettava RunID ja molemmat ovat niin erilaisia muihin verrattuna, että muut autot saivat todennäköisyydeksi korkeintaan 3/10 e-tronin ja 2/10 Konan tapauksessa, kun e-tron ja Kona saavat molemmat todennäköisyydeksi täydet 10. Kaikkein lähimmäksi toista autoa tulee Tesla Model S todennäköisyydellä kymmenen, jolloin Tesla Model 3 saa todennäköisyydeksi seitsemän. Jos ladattavan Model S:n jännitelukema poikkeaisi enemmän kuin sallitun maksimipoikkeaman, jäisi todennäköisysero Model 3:een vielä kahden päähän. Lisäksi Model 3:n maksimijännite poikkeaa Model S:stä 58 V, joten Model 3 ei voi saada akkujännitteellä todennäköisyyttä lähemmäksi Model S:ää. Myös BMW i3 (2019) on kolmen todennäköisyyden päässä vanhemmasta i3:sta. Näillä maksimijännitteen ero on vain kymmenen voltia, joten ääritilanteessa saattaisi ehkä olla mahdollista, että molempien todennäköisyys olisi yhtä suuri.

Kolmella tunnistamattomalla autolla autovaihtoehdoiksi saatiin Hyundai Kona ja IONIQ sekä BMW i3 todennäköisyyksillä 4, 5 ja 4. Todennäköisyydellä viisi muut parametrit ovat täsmänneet paitsi maksimi- ja tavoitejännite sekä jännite, RunID ja MAC. Keskimäinen tunnistamaton auto saattaa siis hyvinkin olla Hyundai valmistama. Toisaalta vähintään puolet parametreista on väärin, joten voidaan myös olettaa, että auto ei ole yksikään autolistassa olevista yksilöistä.

4.4 Algoritmin päivitysheidotukset

Algoritmiin voisi lisätä loputkin hyödylliseksi nähdyt parametrit latauksen valmistelusta sekä SLAC-vaiheesta. Myös Control Pilotin voisi lisätä tunnistamisen avuksi. Tämän tekemiseksi arvoja kyseisistä latauksen vaiheista pitäisi ensin tallentaa tietokantaan muutamasta lataustapahtumasta, jonka jälkeen saatua tietoa voisi analysoida ja kirjoittaa algoritmi tiedon pohjalta. Samoin jos ympäristön lämpötila olisi lisätty muiden parametrien mukana tallennettavaksi arvoksi, muutaman lataustapahtuman jälkeen tunnistamisesta saataisiin vieläkin tarkempaa, sillä autot voivat reagoida lämpötilan muutoksiin eri tavoin.

Algoritmi voisi kertoa esimerkiksi MAC-osoitteella tunnistetun automerkin, vaikka automalli ei olisikaan tunnettu. Merkin tunnistaville parametreille voisi myös lisätä enemmän painoarvoa muihin parametreihin verrattuna. Tällaisia parametreja voisivat olla esimerkiksi MAC-osoite, RunID, maksimijännite tai tavoitejännite (henkilöautojen tapauksessa).

Arvojen yhtenäisyyttä vertaavien algoritmien poikkeamien pitäisi olla jokaisen auton koh-

dalla erilainen, sillä jokaisesta autosta on eri määrä lataustapahtumia. Poikkeaman pitäisi myös olla erilainen erikokoisilla akkupaketeilla, sillä suuremmalla akulla akun varaustaso nousee hitaammin kuin pienemmällä akulla, jolloin myös kaikki varaustasoon verrannolliset parametrit voivat saada useampia arvoja.

Jos algoritmi antaa tulokseksi kaksi mahdollista autoa, voisi auton lataajalta kysyä kumpi auto on kyseessä. Tästä voisi myös tehdä oppivan siten, että jos riittävän monta vastaa kysymykseen, niin sen jälkeen algoritmi tietäisi itsekin kumpi auto on kyseessä.

Jatkossa kun tunnistettavien autojen määrä lisääntyy entisestään, näyttää autotietoja päivittävä algoritmi yhä suurempaa osaa tunnistuksen oikeellisuuden varmistamisesta. Jo nyt 11 erilaisen auton kanssa osa tietojen päivittämisestä käsin on aikaa vievää, myöhemmin todennäköisesti ei enää edes realistista. Tällöin algoritmin pitää itse osata päätellä, mitkä saaduista arvoista ovat vain yksittäisiä ”väärä” arvoja.

5 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin miten CCS-ladattavan sähköauton merkki ja malli voidaan tunnistaa pikalatauksen aikana auton ja latauslaitteen välisestä kommunikaatiosta. Eri pikalatausvaihtoehdoista valittiin CCS, koska se on Euroopassa laajimmin käytössä. Työn rajausta tarkennettiin tekemisen aikana, jotta työhön saatiin vain tavoitteen kannalta keskeisimmät asiat. Työ tehtiin sekä teoreettisena tutkimuksena että empiirisin kokein. Teoreettisen tutkimuksen tulokset eroavat empiirisistä kokeista odotetunlaisesti, standardoidusta latauskommunikaatiosta huolimatta autonvalmistajat erottuvat edukseen sähköauton latauksessa. Eroja on esimerkiksi viestiketjun yksilöivän tunnuksen luomisessa ja latauksen turvallisuuteen liittyvissä asioissa, kuten latauksen jälkeisen kontaktorien kiinnihitsauksen tarkastamisessa.

Sähköauton merkki voidaan tunnistaa auton ilmoittaman maksimi- ja tavoitejännitteen, viestiketjun yksilöivän tunnuksen ja laturin mittaaman latausjännitteen sekä auton latauskommunikaatioyksikön MAC-osoitteen avulla. Näistä ainoastaan MAC-osoitteen alku ja latausjännite ovat voineet olla samanlaiset eri merkkisillä autoilla. Auton mallin tunnistamiseen ainoastaan MAC-osoite ja viestiketjun yksilöivä tunnus eivät käy edellä mainituista. Näiden lisäksi latauskommunikaatiossa on lukuisia mahdollisia eroavaisuuksia eri autojen välillä. Käytännön ongelmista johtuen latauskommunikaation empiiriset kokeet rajoittuivat muun kuin latauksen aikaisen viestinnän osalta vain viiteen eri merkkiseen autoon.

Tutkimuksen tavoite sähköauton merkin ja mallin tunnistamisesta saavutettiin ja sen pohjalta kirjoitettiin algoritmi, joka tunnistaa sähköauton sen latauksen alkaessa. Sähköautojen kenttä on tällä hetkellä hyvin nopeasti kehittyvä, jonka vuoksi tietoja joihin algoritmi vertaa ladattavaa autoa, on päivitettävä jatkuvasti tunnistamisen toiminnan varmistamiseksi. Työn tekemisen aikana useat auton ilmoittamat latauskommunikaation vapaaehtoiset arvot olivat välillä kiinteitä, toisinaan akun varaustason mukaan muuttuvia ja joskus jopa kokonaan puuttuvia. Lisäksi ainakin Audi e-tronin akun nettokapasiteettia muutettiin valmistajan tekemällä etäpäivityksellä, joka muutti auton akun varaustason verrannollisia arvoja merkittävästi. Latauslaitteen saamat päivitykset saattoivat vaikuttaa autonkin latauskäyttäytymiseen.

Tulevaisuudessa kun V2G ja PnC otetaan käyttöön, lisäävät ne mahdollisia erilaisuuksia autoihin tunnistamisen tueksi. Monet tunnistuksessa käytettävistä arvoista ovat kuitenkin verrannollisia auton akkuun, joten jos eri merkkisissä autoissa aletaan käyttämään samoja akkuja, voi tunnistamisesta pudota pois monta käytettävää arvoa. Myöskin kun markkinoille tulee uusia sähköautoja, voi muitakin nyt esille tulleista eroavaisuuksista poistua.

Nykyisellään autontunnistus mahdollistaa asiakasprofiloinnin, jolla latausoperaattorit voivat tarjota asiakkailleen kohdennettuja palveluita tai esimerkiksi tehdä asiakastutkimusta. Laajemmalla tiedonkeruulla ja jatkojalostamalla algoritmia voidaan tunnistuksen avulla tuoda lataajalle lisätietoa autostaan ja meneillään olevasta latauksesta. Lisätieto saattaisi

olla esimerkiksi tieto auton akun kunnosta tai tarkempi aika latauksen valmistumiseen. Japanilaisen pikalatauspistokkeen CHAdeMO:n latauskommunikaatio sisältää samoja arvoja kuin CCS, joten tunnistaminen voitaisiin laajentaa CHAdeMO-lataukseen tämän tutkimuksen avuin. Tutkimus myös valottaa CCS-pikalatauksen tämänhetkistä tilannetta. Jokainen auto ei toimi standardin määrittämällä tavalla, joten latureiden autokohtaista räätälöintiä tullaan tarvitsemaan vielä lähitulevaisuudessakin.

Lähteet

- ACEA (2019). *NEW PASSENGER CAR REGISTRATIONS BY FUEL TYPE IN THE EUROPEAN UNION Quarter 3 2019*. url: https://www.acea.be/uploads/press_releases_files/20191107_PRPC_fuel_Q3_2019_FINAL.pdf.
- Ajzh2074 (2014). *Español: Conector CCS combinado Tipo 2 según estándar IEC 62196. Llamado también Combo2. Usado en Europa para la recarga de vehículos eléctricos como el BWW i3, VW e-up!, VW e-Golf y GM Spark EV*. url: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCSCombo2.svg>. [viitattu 13.2.2020].
- Baker, R. & Martinovic, I. (2019). *Losing the car keys: Wireless phy-layer insecurity in EV charging*. ISBN 9781-939133069.
- Blanton, E., Paxson, D.V., & Allman, M. (2009). *TCP Congestion Control*. url: <https://rfc-editor.org/rfc/rfc5681.txt>. doi:10.17487/RFC5681.
- BMW (2019). *Sähköauto 2020: Kaikki sähköauton ostamisesta | BMW:n mallivalikoima*. url: <https://www.bmw.fi/fi/aiheet/tuotteet-tarjoukset/s%C3%A4hk%C3%B6autot/s%C3%A4hk%C3%B6autot.html>. [viitattu 7.2.2020].
- Chacko, S. & Chung, Y.M. (2012). *Thermal modelling of Li-ion polymer battery for electric vehicle drive cycles*. url: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877531200746X>. doi:10.1016/j.jpowsour.2012.04.015, ISBN 0378-7753. ID: 271367.
- Cotton, M., et al. (2011). *Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Procedures for the Management of the Service Name and Transport Protocol Port Number Registry*. url: <https://rfc-editor.org/rfc/rfc6335.txt>. doi:10.17487/RFC6335.
- Deering, D.S.E. & Hinden, B. (2006). *IP Version 6 Addressing Architecture*. url: <https://rfc-editor.org/rfc/rfc4291.txt>. doi:10.17487/RFC4291.
- Deering, D.S.E. & Hinden, B. (2017). *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*. url: <https://rfc-editor.org/rfc/rfc8200.txt>. doi:10.17487/RFC8200.
- DIN (2014). *DIN - German Institute for Standardization*. url: <https://www.din.de/en/technical-rule/din-spec-70121/224350045>. [viitattu 21.2.2020].
- eTec (2010). *Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines for the Greater San Diego Area*. url: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/EVProj/EVChrgInfraDeployGuidelinesSanDiegoVer3.2.pdf>.
- EVgo (2019). *EVgo is first North American EV Charging Network to Deploy Autocharge Technology, Enabling an Instant Start-Your-Charge Experience Without Apps or Cards*. url: <https://www.evgo.com/about/news/evgo->

is-first-north-american-ev-charging-network-to-deploy-autocharge-technology-enabling-an-instant-start-your-charge-experience-without-apps-or-cards/. [viitattu 2.3.2020].

Fastned (2020). *Autocharge*. url: <http://support.fastned.nl/hc/en-gb/articles/115012747127-Autocharge->. [viitattu 2.3.2020].

HomePlug (2010). *Home Plug Green PHY. The Standard For In-Home Smart Grid Powerline Communications*. url: https://www.codico.com/fxdata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/HomePlug_Green_PHY_whitepaper_100614%5B1%5D.pdf.

HomePlug (2012). *HomePlug GREEN PHY Specification Release Version 1.1*. url: https://www.cise.ufl.edu/~nemo/plc/refs/HomePlug%20GP_Specification_v1.1-Jan_23_2012%20DRAFT.docx.

IEC 61851-1 (2010). *Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements*. Standard. Geneva, CH: International Electrotechnical Commission.

IEC 61851-23 (2014). *Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station*. Standard. Geneva, CH: International Electrotechnical Commission.

IEEE (2014). *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture*. doi:10.1109/IEEESTD.2014.6847097.

ISO 15118-1 (2019). *Road vehicles. Vehicle to grid Communication interface. Part 1: General information and use-case definition*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization.

ISO 15118-2 (2014). *Road vehicles. Vehicle to grid Communication interface. Part 2: Network and application protocol requirements*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization.

ISO 15118-3 (2016). *Road vehicles. Vehicle to grid Communication interface. Part 3: Physical and data link layer requirements*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization.

Marc, M. (2019a). *ISO 15118 Manual. Mastering the Vehicle-2-Grid (V2G) Communication Interface*.

Marc, M. (2019b). *Vehicle-to-Grid Services for Both AC and DC Charging – Meet ISO 15118-20*. In: *be.connected Conference 2019*. Munich: V2G Clarity. url: https://www.dropbox.com/s/erjcx35uq8cm7t/be.connected-2019-V2G_Clarify.pdf?dl=0.

Mercedes-Benz (2019). *EQC*. url: <http://tools.mercedes-benz.co.uk/current/passenger-cars/e-brochures/eqc.pdf>.

- Motoaki, Y., Yi, W., & Salisbury, S. (2018). *Empirical analysis of electric vehicle fast charging under cold temperatures*. url: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518304828>. doi:10.1016/j.enpol.2018.07.036, ISBN 0301-4215. ID: 271097.
- Nicholas, M. & Hall, D. (2018). Lessons learned on early electric vehicle fast-charging deployments. *The International Council on Clean Transportation*. url: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ZEV_fast_charging_white_paper_final.pdf.
- OFA (2017). *Autocharge. Automatic charging start and authorization of electric vehicles*. url: <https://github.com/openfastchargingalliance/openfastchargingalliance/blob/master/autocharge-final.pdf>. [viitattu 2.3.2020].
- Porsche (2019). *The charging process: Quick, comfortable, intelligent and universal*. url: <https://newsroom.porsche.com/en/products/taycan/charging-18558.html>. [viitattu 19.11.2019].
- Renault (2019). *New ZOE - Driving Range, Battery & Charging - Renault UK*. url: <https://www.renault.co.uk/electric-vehicles/zoe/battery.html>. [viitattu 3.2.2020].
- Tesla (2018). *Onboard Charger*. url: <https://www.tesla.com/support/home-charging-installation/onboard-charger>. [viitattu 18.11.2019].
- Trentadue, G., et al. (2018). Evaluation of Fast Charging Efficiency under Extreme Temperatures. *Energies*, 11(8), p. 1937. doi:10.3390/en11081937.
- Volkswagen (2019). *Electric car charging times*. url: <https://www.volkswagen.co.uk/electric/car-charging/times>. [viitattu 19.11.2019].
- Zhu, Y., Wu, W., & Li, D. (2016). *Efficient Client Assignment for Client-Server Systems*. doi:10.1109/TNSM.2016.2597269, ISBN 2373-7379.

Liite 1. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisessa

- **CM_SLAC_Parm.Req:**

- Time

31.235920

0:00:00:31.235

- General

Type: Ethernet Packet

Channel: Eth 1

Packet Length: 60 bytes 3C

Direction: Tx

Data

Length 60 bytes

000h FF FF FF FF FF FF 02 00 00 00 00 01 88 E1 01 64 60 00 00 00 00
0B 56 E5 52 69 1F 54 E2 00 00 00 ÿÿÿÿÿÿ.....^á.d'.....VåRi.Tâ...

020h 00
00 00 00 00 00 00

- Ethernet

Destination: broadcast FF:FF:FF:FF:FF:FF

Source: 02:00:00:00:00:01

Type: 35041 88E1

Payload

Length 46 bytes

000h 01 64 60 00 00 00 00 0B 56 E5 52 69 1F 54 E2 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .d'.....VåRi.Tâ.....

020h 00
.....

- Sublines

Application Type PEV-EVSE Association

Security Type No Security

RunID 0B56E552691F54E2

.
. .
. .

Liite 1. Auton lähetämät viestit yhteyden muodostamisessa

- **CM_Start_Atten_Char.Ind:** ... Sublines
 - NumSounds 0A
 - TimeOut 06
 - RespType Another GP STA
 - Forwarding Station 02:00:00:00:00:01
- **CM_MNBC_Sound.Ind:** ... Sublines
 - Sender ID 00000000000000000000000000000000
 - Cnt 09
 - Reserved Field 0000000000000000
 - Random Number B2519F6BDE2D0FB8329096411033E8C8
- **CM_Atten_Char.Rsp:** ... Sublines
 - Source Address 02:00:00:00:00:01
 - Source ID 00000000000000000000000000000000
 - Resp ID 00000000000000000000000000000000
 - Result Success
- **CM_SLAC_Match.Req:** ... Sublines
 - MVF Length 003E
 - PEV ID 00000000000000000000000000000000
 - PEV Mac Address 02:00:00:00:00:01
 - EVSE ID 00000000000000000000000000000000
 - EVSE Mac Address EC:A2:9B:0*:**:**
- **SECC Discovery Request:**
- Time
 - 39.743162
 - 0:00:00:39.743
- General
 - Type: Ethernet Packet
 - Channel: Eth 1
 - Packet Length: 72 bytes 48
 - Direction: Tx
 - Data

Length 72 bytes

000h 33 33 00 00 00 01 02 00 00 00 00 01 86 DD 60 00 00 00 00 12 11
3C FE 80 00 00 00 00 00 04 00 33.....†Ý‘.....<þ€.....
020h 00 FF FE 00 00 01 FF 02 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01 EA F2 3B 0E 00 12 37 43 01 FE .ÿþ...ÿ.....êð;...7C.þ
040h 90 00 00 00 00 02 10 00

- Ethernet

Destination: multicast IPv6 33:33:00:00:00:01

Source: 02:00:00:00:00:01

Type: IPv6 86DD

Payload

Length 58 bytes

000h 60 00 00 00 00 12 11 3C FE 80 00 00 00 00 00 04 00 00 FF FE
00 00 01 FF 02 00 00 00 00 00 00 ‘.....<þ€.....ÿþ...ÿ.....
020h 00 00 00 00 00 00 01 EA F2 3B 0E 00 12 37 43 01 FE 90 00 00
00 00 02 10 00êð;...7C.þ.....

- IPv6

Version: 6 06

Traffic Class: 0 00

Flow Label: 0 00000

Payload Length: 18 bytes 12

Next Header: UDP 11

HopLimit: 60 3C

Source: FE80:0:0:0:400:FF:FE00:1

Destination: multicast link-local - all nodes FF02:0:0:0:0:0:1

Payload

Length 18 bytes

000h EA F2 3B 0E 00 12 37 43 01 FE 90 00 00 00 00 02 10 00
êð;...7C.þ.....

- UDP

Source Port: 60146 EAF2

Destination Port: 15118 3B0E

Length: 18 bytes 0012

Checksum: 14147 3743

Liite 1. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisessa

Payload

Length 10 bytes

000h 01 FE 90 00 00 00 00 02 10 00 .p.....

- Sublines

Security No Transport Layer Security

Transport Layer TCP

Liite 2. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisen jälkeen

- **Supported App Protocol Request:**

- Time

39.875990

0:00:00:39.875

- General

Type: Ethernet Packet

Channel: Eth 1

Packet Length: 150 bytes 96

Direction: Tx

Data

Length 150 bytes

000h EC A2 9B 09 90 75 02 00 00 00 00 01 86 DD 60 00 00 00 00 60 06
3C FE 80 00 00 00 00 00 04 00 ìç>.u.....†Ý‘....‘.<þ€.....

020h 00 FF FE 00 00 01 FE 80 00 00 00 00 00 00 EE A2 9B FF FE 09 90
75 C4 14 D4 31 00 00 33 17 15 FE .ÿþ...þ€.....îç>ÿþ.uÄ.Ô1..3..þ

040h 32 B0 50 18 02 00 46 D3 00 00 01 FE 80 01 00 00
00 44 80 00 DB AB 93 71 D3 23 4B 71 D1 B9 81 89
2°P...FÓ...þ€....D€.Û«“qÓ#KqÑ¹%o

060h 91 89 D1 91 81 89 91 D2 6B 9B 3A 23 2B 30 02 00
00 08 04 01 D7 57 26 E3 A6 97 36 F3 A3 13 53 13
‘%oÑ‘%o‘Òk>:#+0.....xW&ã!—6ó£.S.

080h 13 83 A3 23 A3 23 03 13 33 A4 D7 36 74 46 56 60 04 00 00 08 00
80 .f£#£#.3Ï×6tFV‘.....€

- Ethernet

Destination: EC:A2:9B:0*:*:*:

Source: 02:00:00:00:00:01

Type: IPv6 86DD

Payload

Length 136 bytes

000h 60 00 00 00 00 60 06 3C FE 80 00 00 00 00 00 04 00 00 FF FE
00 00 01 FE 80 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
‘....‘.<þ€.....ÿþ...þ€.....

020h EE A2 9B FF FE 09 90 75 C4 14 D4 31 00 00 33 17 15 FE 32 B0 50
18 02 00 46 D3 00 00 01 FE 80 01 îç>ÿþ.uÄ.Ô1..3..þ2°P...FÓ...þ€.

Liite 2. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisen jälkeen

```
040h 00 00 00 44 80 00 DB AB 93 71 D3 23 4B 71 D1 B9
      81 89 91 89 D1 91 81 89 91 D2 6B 9B 3A 23 2B 30
      ...D€Ű«“qÓ#KqÑ¹%Ű‘%ŰÑ‘%Ű‘Òk>:#+0
060h 02 00 00 08 04 01 D7 57 26 E3 A6 97 36 F3 A3 13
      53 13 13 83 A3 23 A3 23 03 13 33 A4 D7 36 74 46
      .....xW&ã!—6ó£.S..f£#£#..3Ïx6tF
080h 56 60 04 00 00 08 00 80 V‘.....€
```

- IPv6

```
Version: 6 06
Traffic Class: 0 00
Flow Label: 0 00000
Payload Length: 96 bytes 60
Next Header: TCP 06
HopLimit: 60 3C
Source: FE80:0:0:0:400:FF:FE00:1
Destination: FE80:0:0:0:EEA2:9BFF:FE0*:*****
```

Payload

```
Length 96 bytes
000h C4 14 D4 31 00 00 33 17 15 FE 32 B0 50 18 02 00
      46 D3 00 00 01 FE 80 01 00 00 00 44 80 00 DB AB
      Ä.Ô1..3..p²°P..FÓ...p€.....D€Ű«
020h 93 71 D3 23 4B 71 D1 B9 81 89 91 89 D1 91 81 89
      91 D2 6B 9B 3A 23 2B 30 02 00 00 08 04 01 D7 57
      “qÓ#KqÑ¹%Ű‘%ŰÑ‘%Ű‘Òk>:#+0.....xW
040h 26 E3 A6 97 36 F3 A3 13 53 13 13 83 A3 23 A3 23
      03 13 33 A4 D7 36 74 46 56 60 04 00 00 08 00 80
      &ã!—6ó£.S..f£#£#..3Ïx6tFV‘.....€
```

- TCP

```
Source Port: 50196 C414
Destination Port: 54321 D431
Sequence Number: 13079 00003317
Acknowledgement Number: 368980656 15FE32B0
Data Offset: 20 bytes 05
Flags ACK, PSH 18
CWR: 0 0... ..
ECE: 0 .0.. ..
```

URG: 0 ..0.
ACK: 1 ...1
PSH: 1 1...
RST: 00..
SYN: 00.
FIN: 00
Window: 512 0200
Checksum: 18131 46D3
Urgent Pointer: 0 0000

Payload

Length 76 bytes

000h 01 FE 80 01 00 00 00 44 80 00 DB AB 93 71 D3 23
4B 71 D1 B9 81 89 91 89 D1 91 81 89 91 D2 6B 9B
.p€....D€.Û«“qÓ#KqÑ¹%‘%Ñ‘%‘Òk>
020h 3A 23 2B 30 02 00 00 08 04 01 D7 57 26 E3 A6 97
36 F3 A3 13 53 13 13 83 A3 23 A3 23 03 13 33 A4
:#+0.....xW&ã!—6ó£.S..f£#£#..3☐
040h D7 36 74 46 56 60 04 00 00 08 00 80 x6tFV‘.....€

- Sublines

AppProtocol (0)

ProtocolNamespace urn:din:70121:2012:MsgDef
VersionNumberMajor 2
VersionNumberMinor 0
SchemaID 2
Priority 2

AppProtocol (1)

ProtocolNamespace urn:iso:15118:2:2013:MsgDef
VersionNumberMajor 2
VersionNumberMinor 0
SchemaID 1
Priority 1

.
. .
. .

Liite 2. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisen jälkeen

- **Session Setup Request:** ... Sublines
Session ID 0000000000000000
EVCCID 007dfa0*****
- **Service Discovery Request:** ... Sublines
ServiceScope *
ServiceCategory *
- **Payment Service Selection Request:** ... Sublines
SelectedServiceList
SelectedService → ServiceID 1
SelectedService → *ParameterSetID* †
SelectedPaymentOption ExternalPayment
- **Authorization Request:** ... Sublines
Id †
GenChallenge †
- **Charge Parameter Discovery Request:** ... Sublines
MaxEntriesSAScheduleTuple ‡
DC_EVChargeParameter
EVMaximumPowerLimit *
EVEnergyCapacity *
EVEnergyRequest *
FullSOC *
BulkSOC *
DC_EVStatus → *EVcabinConditioning* §
DC_EVStatus → *EVRESSConditioning* §
DC_EVStatus → EVReady TRUE
DC_EVStatus → EVErrorCode NO_ERROR
DC_EVStatus → EVRESSSOC 44 %
DepartureTime ‡ 0
EVMaximumCurrentLimit 125 A
EVMaximumVoltageLimit 369 V
RequestedEnergyTransferMode DC_extended
- **Cable Check Request:** ... Sublines

- **Pre Charge Request:** ... Sublines

EVTargetVoltage 323.2 V

EVTargetCurrent 1 A

- **Power Delivery Request (Power On):** ... Sublines

ChargingProfile *

ChargingProfile → *ChargingProfileEntryStart* ‡

ChargingProfile → *ChargingProfileEntryMaxPower* ‡

ChargingProfile → *ChargingProfileEntryMaxNumberOfPhasesInUse* ‡

DC_EVPowerDeliveryParameter

BulkChargingComplete *

ChargingComplete FALSE

ChargeProgress Start

SAScheduleTupleID 1

- **Current Demand Request:** ... Sublines

Session ID 7668C707F3227DF6

DC_EVStatus

EVcabinConditioning §

EVRESSConditioning §

EVReady TRUE

EVErrorCode NO_ERROR

EVRESSSOC 44 %

EVMaximumPowerLimit *

BulkChargingComplete *

RemainingTimeToBulkSoC *

EVTargetCurrent 73 A

EVMaximumVoltageLimit * 369 V

EVMaximumCurrentLimit * 125 A

ChargingComplete FALSE

RemainingTimeToFullSoC * 3900 s

EVTargetVoltage 369 V

- **Power Delivery Request (Power Off):** ... Sublines

Liite 2. Auton lähettämät viestit yhteyden muodostamisen jälkeen

- **Welding Detection Request:** ... Sublines
- **Session Stop Request:** ... Sublines
ChargingSession Terminate

*Vapaaehtoinen kenttä/elementti ISO 15118 ja DIN SPEC 70121 standardeissa.

†Vapaaehtoinen kenttä/elementti ISO 15118 standardissa, DIN SPEC 70121 käyttö ei sallittu.

‡Vapaaehtoinen kenttä/elementti ISO 15118 standardissa.

§Vapaaehtoinen kenttä/elementti DIN SPEC 70121 standardissa.