

Miika Lundell

SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMIEN TEKNINEN TOTEUTUS

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaatintyö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Miika Lundell: Sähköautojen latausjärjestelmien tekninen toteutus
Kandidaatintyö, 33 sivua
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelma
Pääaine: Sähkövoimatekniikka
Tarkastaja: tutkijatohtori Antti Rautiainen
Toukokuu 2019

Maailmalla monissa suurissa kaupungeissa ilmanlaatu on heikentynyt niin, että ilman hengityssuojaimia ulkona on terveydelle haitallista liikkua. Ilmaston lämpeneminen on kiihtynyt muun muassa liiallisten CO₂-päästöjen seurauksena. Maapallon rajallisista öljyvarannoista ollaan riippuvaisia. Nämä ovat eräitä syitä sähköautoiluun siirtymiselle, koska sähköauton sähkömoottori ei polttomoottorista poiketen aiheuta lainkaan päästöjä ja öljystä jalostettujen polttoaineiden sijaan on mahdollista hyödyntää myös muita energialähteitä.

Sähköautot tulevat yleistymään tulevaisuudessa ja Suomessa ennustetaan olevan vuonna 2030 jopa 250 000 sähköautoa. Sähköautojen yleistyessä niiden latausmahdollisuuksien tulee myös yleistyä. Tämän työn keskeisenä tarkoituksena on tutustua erilaisiin sähköauton lataustapoihin teknisestä näkökulmasta.

Sähköautoa voidaan ladata johtimen välityksellä vaihto- tai tasavirralla. Auton akkua ladataan tasavirralla, joten verkosta otetulle virralle tehdään AC/DC -muunnos joko latauslaitteessa tai autossa. Sähköautolle on kehitteillä langattomia lataustapoja ja paikallaan pysyvän auton lataaminen on tulossa jo kuluttajienkin saataville.

Yhtenä vaihtoehtona auton akun lataamiselle on sen vaihtaminen kokonaisuudessaan täysinäiseen akkupakettiin. Sähköauton yleisin latausmuoto on johdon välityksellä joko suoraan pistorasasta tai erillisestä latauslaitteesta tapahtuva vaihtovirtalataus.

Avainsanat: sähköauton lataus, latausasema, AC-lataus, DC-lataus, langaton lataus, akunvaihtoasema, latauspistokytin, kiinteistön latauspaikat, sähköauton viestintä

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. SÄHKÖAUTOT	2
2.1 Akkukäyttöiset autot	2
2.1.1 Täyssähköautot	2
2.1.2 Hybridit	4
2.2 Tiestä sähköistetyt autot	4
2.3 Akut	5
3. LANGALLISET LATAUSTAVAT	8
3.1 Vaihtovirralla lataaminen	8
3.2 Tasavirralla lataaminen	10
3.3 Pistokytkimet sähköautojen latauksessa	12
4. LANGATON LATAUS	15
4.1 Staattinen langaton lataus	15
4.2 Dynaaminen langaton lataus	17
5. AKUNVAIHTOASEMAT	19
6. AUTOJEN LATAUS JA KIINTEISTÖJEN SÄHKÖVERKOT	21
7. SÄHKÖAUTOJEN VIESTINTÄ	25
8. YHTEENVETO	27
LÄHTEET	29

1. JOHDANTO

Maapallon ilmasto on lämmennyt aina 1800-luvun lopulta alkaen. Viimeisen kuudenkymmenen vuoden aikana lämpötilan nousu on ollut suurinta. Lämpenemisen merkittävimpänä aiheuttajana pidetään ilmakehän ihmisen toiminnan seurauksena kasvanutta kasvihuonekaasujen ja etenkin hiilidioksidin määrää. Mikäli kasvihuonekaasujen päästöä ilmakehään jatketaan nykyiseen tapaan, tulee ilmaston lämpeneminen aiheuttamaan erilaisia luonnonilmiöitä. Euroopassa ennustetaan muun muassa leudompia talvia, Atlantin merivirtojen heikkenemisiä ja kuivuutta Etelä-Eurooppaan. [1] Ilmaston lämpenemisen ja sen seurausten hillitsemiseksi pyritään kasvihuonepäästöjä pienentämään.

Suomessa tieliikenteen osuus kaikista hiilidioksidipäästöistä on vajaan viidenneksen. [1] Vuonna 2017 energiasektorin päästöt, joihin lasketaan kaikki polttoaineiden käytöstä johtuvat päästöt, pienenevät 5 % edelliseen vuoteen 2016 verrattuna. Suurin päästöjen pienentämiseen vaikuttanut tekijä oli fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen ja liikenteessä biopolttoaineiden osuuden kasvu. [2] Jatkamalla tätä kehitystä ja tekemällä lisäksi sähköautot entistä helpommin useampien ulottuville, voidaan päästöjen pienentämistä jatkaa liikenteen osalta.

Sähköautojen yleistymisen myötä niiden latauspaikkoja tullaan tarvitsemaan entistä enemmän. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on tarkastella sähköautojen erilaisten lataustapojen toteutusta teknisestä näkökulmasta. Tässä työssä ei tulla juurikaan käsittelemään sähköautojen käyttöä energiavarastoina sähköverkossa, vaan pääpaino tulee olemaan autoissa ja latausasemissa.

Luvussa 2 tarkastellaan sähköä käyttäviä autoja kuten akkusähköautoa ja hybridejä sekä niissä käytettäviä akkuja. Tämän jälkeen lukujen 3 ja 4 myötä tutustutaan johdinta hyödyntäviin latausmenetelmiin ja erilaisiin latauspistokytymiin sekä langattomaan lataukseen. Tästä jatketaan edelleen tarkastelemaan akuston vaihtoa yhtenä lataamisen vaihtoehtona ja selvitetään sähköauton vaikutuksia kiinteistöjen sähköverkoissa luvuissa 5 ja 6. Lopulta luvussa 7 käsitellään sähköautojen viestintää ja luvussa 8 esitetään yhteenveto työn keskeisistä asioista.

2. SÄHKÖAUTOT

Sähköautojen tarkastelu aloitetaan standardin IEC 61851-1 sähköauton määritelmällä: *"[Electric vehicle is] any vehicle propelled by an electric motor drawing current from a rechargeable storage battery or from other portable energy storage devices (rechargeable, using energy from a source off the vehicle such as a residential or public electric service), which is manufactured primarily for use on public streets, roads or highways."* [3, s. 10] Tämän määritelmän mukaisesti tässä työssä tullaan sähköautosta puhuttaessa tarkoittamaan autoja, joita voidaan ladata ulkoapäin. Tässä pääluvussa tutustutaan sähköautoihin ja akkuteknologiaan.

2.1 Akkukäyttöiset autot

2.1.1 Täyssähköautot

Täyssähköautosta (electric vehicle, EV) käytetään kirjallisuudessa myös nimeä akkusähköauto (battery electric vehicle, BEV). Se saa kaiken tarvitsemansa energian akusta eikä siinä ole muuta energianlähdettä. Akku voidaan ladata jostakin auton ulkopuolisesta lähteestä.

Auton toimintamatka riippuu akun koosta ja siihen vaikuttavat auton tavallisten vastusvoimien kuten ilmanvastuksen ja vierintävastuksen lisäksi kaikki auton energiaa kuluttavat toiminnot. Esimerkiksi lämmityslaitteen, ilmastoinnin ja muiden sähköä kuluttavien lisälaitteiden käyttö pienentävät auton toimintamatkaa. Toimintamatkan suhteen nyrkki-sääntönä voidaan pitää sitä, että yhtä kilowattituntia kohden akkusähköllä voidaan ajaa keskimäärin noin 6 km. [4, s. 282–293] Esimerkiksi jos autossa on 50 kWh akkupaketti, sen toimintamatka on noin 300 km. Sähköauton energiankulutuksesta voi antaa konkreettisemmän kuvan vertailu kotien lämmitykseen. Koko vuoden lämmitysenergiasta laskettuna keskimääräinen viikko 120 m² sähkölämmitteisen asunnon lämmittämistä vastaa keskimäärin yli 1000 km ajoa täyssähköautolla [5].

Seuraavaksi verrataan täyssähköauton hyötysuhdetta polttomoottorikäyttöiseen autoon. Polttomoottoria käyttävän auton polttoaineesta olevasta energiasta noin 12–30 % käytetään auton eteenpäin viemiseen. Valtaosa häviöistä kuluu moottorissa ja voimansiirrossa sekä pieni osa lisälaitteissa [6]. Sen sijaan täyssähköauton tapauksessa yli 70

% auton akkujen energiasta voidaan käyttää auton liikuttamiseen. Täyssähköautossa häviöitä tapahtuu esimerkiksi akussa, akun latauksessa ja voimansiirrossa sekä lisälaitteissa. [7]

Ilmastonmuutoksen ja kasvihuonekaasupäästöjen kannalta täyssähköauton on polttomootoriautoa parempi ratkaisu. Polttomootoriautolla ajaessa aiheutetaan katalyysaattoreista huolimatta kasvihuonekaasupäästöjä, kun taas sähkömoottorista ei tule ajossa lainkaan päästöjä. Suurissa kaupungeissa sähköautoilla on positiivinen vaikutus ilmanlaatuun ja suuripäästöisten autojen käyttöä on alettu rajoittaa joissain suurkaupungeissa. Esimerkiksi Saksan Stuttgartissa EU:n asettamiin ilmanlaadun rajoihin ei päästy, vaikka suuripäästöisille tieosuuksille asennettiin kaupungissa puhdistuslaitteita. Viimeisenä ratkaisuna ongelmaan kaupungissa kiellettiin suuripäästöisillä diesel-autoilla ajo ja liikenteessä olevien autojen tulee täyttää EURO 5 päästoluokka. [8] Ihmisten liikkumista autolla rajoittavat tekijät tulevat viimeistään ohjaamaan ihmisiä siirtymään vähäpäästöisiin autoihin, kuten sähköautoihin. Esimerkiksi kuvassa 1 näkyvä Tesla model S täyssähköauto on ajaessa täysin päästötön.



Kuva 1. Tesla model S täyssähköauto Supercharger-latausasemalla Paimiossa. [9]

Täyssähköauton kokonaispäästöihin vaikuttavat esimerkiksi sen käyttämän energian tuottamisessa, auton valmistuksessa ja auton elinkaaren aikana aiheutuneet muut päästöt. Täyssähköauton kokonaispäästöt voidaan minimoida varastoimalla sen akkuihin uusiutuvista energianlähteistä, kuten auringosta ja tuulesta saatavaa energiaa.

2.1.2 Hybridit

Hybridi (hybrid electric vehicle, HEV) on ajoneuvo, jossa kaikki auton käyttämä energia tuotetaan nestemäistä polttoainetta käyttämällä esimerkiksi polttomoottorin ja generaattorin yhdistelmällä. Hybridin alaluokka on *pistokehybridi* (plug-in hybrid electric vehicle, PHEV). Pistokehybridissä keskeistä on, että kaikkea auton käyttämää energiaa ei tuoteta polttoaineella, vaan se saadaan osin auton ulkopuolisesta lähteestä kuten sähköverkosta. Auton ulkopuolelta otettu energia varastoidaan auton akkuun. [10, s. 207–210]

On olemassa eritasoisia hybridejä, joista korkeamman tasoiset sisältävät enemmän sähköllä avustettuja ominaisuuksia. Alimman tason hybrideissä on Stop and start -järjestelmä ja jarrutusenergian osittainen talteenotto. Keskimmäisen tason hybridiautossa on edellisten lisäksi ominaisuutena sähkömoottorin käyttö auton muun voimansiirron rinnalla. Korkeimman tason niin kutsutulla täyshybridillä sähkömoottoria voidaan käyttää akkuvirralla yksistään auton liikuttamiseen. [10, s. 207–210]

Hybridiautot voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan niiden voimansiirron perusteella. Niin kutsutussa *sarjahybridissä* polttomoottorin tuottama energia varastoidaan ensin akkuun ja vasta sitten käytetään auton sähkömoottoreiden ajamiseen. *Rinnakkaishybridissä* sen sijaan polttomoottorin energia jaetaan vaihteistossa voimansiirron ja akkua lataavan generaattorin kesken. Edellisten yhdistelmää kutsutaan *rinnakkaissarjahybridiksi*. Rinnakkais- ja rinnakkaissarjahybridit voivat käyttää polttomoottoria suoraan auton liikuttamiseen, kun taas sarjahybridin tulee varastoida energia ensin akkuun. Rinnakkaissarjahybridi monimutkaistaa voimansiirtoa, mutta tuottaa polttoainetalouden osalta paremman lopputuloksen kuin kumpikaan voimansiirtotapa yksin. Rinnakkaissarjahybridi on esimerkiksi Toyotan Prius. [11]

2.2 Tiestä sähköistetyt autot

Tiestä sähköistetyt autot (roadway-powered electric vehicle, RPEV) saavat kaiken käyttämänsä energian tiestä joko johtimen välityksellä tai langattomasti. Tiestä sähköistetyt autoja voidaan ladata dynaamisesti eli ajon aikana.

Tavallisesti sähköautot nojaavat paljon akkuun, koska suurempi akku mahdollistaa suuremman toimintamatkan. Tiestä sähköistetyissä autoissa etuna on, että suurta akkukapasiteettia ei tarvita, koska saa jatkuvasti sähköä ajon aikana. Näin ollen ajoneuvon hinta on todennäköisesti alhaisempi kuin muilla sähköautoilla, joissa akku aiheuttaa toistaiseksi merkittävän osan kustannuksista. Jotta tiestä sähköistetyt autot olisivat käyttökelpoisia, tulee olettaa, että sähköistetyt tiet ovat kaikkialla yleisiä. Sähköistetyn

tieverkoston rakentaminen on kuitenkin huomattavan kallista ja sen kustannuksia voi verrata rautatien rakentamiseen. [12, s. 1118–1129]

Tiestä sähköistettyihin ja dynaamisesti ladattaviin autoihin voidaan laskea esimerkiksi johdinlinja-autot. Ne käyttävät yläpuoleltaan johtimesta saamaansa sähköä liikkumiseen. Kuluttajille langaton dynaaminen lataus on varteenotettavampi vaihtoehto kuin johdinta käyttävä tapa etenkin turvallisuuden näkökulmasta, sillä suuria virtoja johtavien johtojen tulisi olla korkealla ihmisten ulottumattomissa. Sähköautoihin pitää ensin tuoda ominaisuudeksi langattoman latauksen mahdollisuus, jotta lataaviin tierakenteisiin voidaan harkita investoimista. Muut latausmenetelmät ovat toistaiseksi kustannuksiltaan huomattavasti alhaisempia.

2.3 Akut

Sähköauton akku koostuu suuresta määrästä kennoja, jotka pyrkivät muuttamaan varastoimansa kemiallisen energian sähköenergiaksi. Kennot muodostavat moduuleja, joista kootaan sähköauton akkupaketti. [13] Tässä luvussa keskitytään pääasiassa litiumioniakkuihin, koska ne ovat sähköautoissa yleisimmin käytettyjä. Lisäksi tarkastellaan hieman muitakin yleisimpiä akkutyyppejä ja akkujen ikääntymistä.

Yksi akkukenno pitää sisällään anodin ja katodin, joita tavallisessa sormiparistossa vastaavat negatiivinen ja positiivinen napa, sekä elektrolyytin, joka ympäröi kumpaakin napaa. Anodi pyrkii tavallisesti hapettumaan eli luovuttamaan elektroneja ja katodi pelkistymään eli ottamaan elektroneja vastaan. [13] Litiumioniakkujen kohdalla tämä ei aina pidä paikkaansa, koska ladatessa ja purkaessa elektronien liikesuunta vaihtuu. Selkeyden vuoksi litiumioniakuista puhuttaessa on yleistä käyttää negatiivisesta navasta nimeä anodi ja positiivisesta katodi riippumatta siitä ladataanko vai puretaanko akkua. [14]

Elektrolyytti mahdollistaa reaktioissa syntyneiden ionien liikkumisen napojen välillä. Elektrolyytti on usein neste, jonka vuoksi anodi ja katodi tulee pitää toisistaan erillään mekaanisesti kennonsisäisen oikosulun välttämiseksi. Yksittäinen kenno toimii yleensä 1–4 V jännitteellä. [13] Suurten, kymmenien tai satojen, lataustehojen siirtäminen pienellä jännitteellä tarkoittaa valtavia virtoja. Esimerkiksi 50 kW lataustehon siirtäminen 4 V jännitteellä tarkoittaa noin 12,5 kA virtaa. Tämän vuoksi akkukennot liitetään sarja- ja rinnankytkennöillä 100–500 V järjestelmiksi [13]. Latausvirta saadaan näin laskettua alle muutaman sadan ampeerin.

Akusto sisältää pelkän energiavaraston lisäksi kennoja suojaavan kuoren, elektroniikkaa ja lämpötilansäätelyjärjestelmän. Kuori suojaa kennoa ulkoisilta esineiltä, jotka voi-

vat pahimmillaan läpäistä kennon, aiheuttaa oikosulun ja johtaa energian purkautumiseen palamalla. Samoin kolaritilanteissa kuori toimii akun suojana ja pitää akun eristettynä kokonaisuutenaan. Elektroniikkaa ohjaa akun hallintajärjestelmä, joka seuraa tietoa muun muassa monista sensoreista. Mittaamalla latausvirtaa, jännitettä ja kennojen lämpötiloja hallintajärjestelmä huolehtii, että pysytään kennojen turvallisella toiminta-alueella, kun akkua ladataan ja puretaan. Akun hallintajärjestelmä viestii myös ulkoisen latausaseman kanssa oikeasta lataustehosta, tarkkailee liitännän turvallisuutta ja katkaisee latauksen tarvittaessa. Akuston lämpötilan pitäminen sopivalla alueella on tärkeää paitsi turvallisuuden takia, niin myös tehokkaan latauksen ja akun mahdollisimman pitkän käyttöiän takaamiseksi. [13] Kuvassa 2 nähdään Nissan Leaf sähköauton oranssi akkupaketti, joka on kokonaisuudessaan muovisen suojakuoren sisällä. Akkupaketti sijoitetaan lähes aina auton alaosaan, koska painavana osana se laskee auton painopistettä ja parantaa siten ajettavuutta.



Kuva 2. Nissan Leafin akkupaketti auton läpileikkauskuvassa. [15]

Litiumioniakkujen kustannuksia lisäävät akun hallintajärjestelmän lisäksi akun sisäiset johdotukset, jotka takaavat kennojen purkautumisen samanaikaisesti. [13] Sähköautoissa käytettäville akkupaketeille sovelletaan standardeja ISO 12405-1, -2, -3 ja akuston kennoille standardeja SFS-EN 62660-1, -2, -3. Sähköauton turvallisuutta käsitellään standardeissa ISO 6469 ja 17409 ja sähköauton sähkömagneettisia häiriöitä standardeissa ISO 7637, 11451 ja 11452. [16]

Seuraavaksi tarkastellaan hieman muita yleisiä akkutyyppejä. Aloitetaan kaikkien tuntemasta lyijyakusta, joka löytyy lähes jokaisesta autosta. Lyijyakua käytetään starttimoottorin pyörittämiseen ja lisälaitteiden käyttämiseen. Lyijyakku on edullinen valmistaa, mutta se on painavampi kuin saman kapasiteetin omaava litiumioniakku. Lisäksi

käyttöikä on lyijyakuilla korkeintaan muutama sata täyttä latauskertaa. Lyijyakut soveltuvatkin parhaiten paikallaan pysyviin energiavarastoihin tai pienellä käytöllä oleviksi energiavarastoiksi.

Nikkelimetallihydridiakku (nickel metal hydride, NiMH) on energiatiheydeltään (Wh/kg) parempi kuin lyijyakku. Kuitenkin litiumioniakun energiatiheydestä jäädään noin 40 %. NiMH-akut ovat yleisiä hybridiautoissa, mutta litiumioniakut ovat alkaneet viedä niiltä markkinaosuutta myös hybrideissä litiumioniakun valmistuskustannuksien tultua alas-päin. [17] Nikkelimetallihydridiakun käyttöikä on karkeasti puolet pidempi kuin lyijyakulla. Akkua pitää ladata kuukausittain, koska se tyhjenee melko nopeasti itsestään [18].

Akun käytettävän kapasiteetin on tapana pienentyä ajan ja käytön myötä. Ilmiötä kutsutaan vanhenemiseksi. Muutaman vuoden vanhan kannettavan tietokoneen tai puhelimen litiumioniakku kuluu täydestä varauksesta loppuun nopeammin kuin uutena. Sähköauton tapauksessa akun kapasiteetin pieneneminen on hitaampaa, mutta olemassa. Akkujen ikääntymistä voidaan hidastaa monin tavoin. Keinoja ovat esimerkiksi akuista otettavan suurimman virran ja akun purkamisen rajoittaminen turvalliselle tasolle, akulle sopivan latausvirran käyttö sekä akun jäähdytyksen riittävyden varmistaminen. Keinot akuston käyttöiän pidentämiseksi, jäähdytystä lukuun ottamatta rajoittavat auton suorituskykyä, kuten kiihtyvyyttä ja latausnopeutta. Näin ollen lopullinen toteutus on aina kompromissi akuston ikääntymisen ja auton suorituskyvyn välillä. [19]

Monet valmistajat sisällyttävät akuston takuuseen vuosimäärän ja ajetun kilometrimäärän lisäksi myös jäljellä olevan akun kapasiteetin prosentteina takuuajan lopussa verrattuna uuteen autoon. Osa valmistajista antaa akuilleen viiden, kahdeksan tai jopa kymmenen vuoden takuuajan, jonka jälkeen akun kapasiteetin luvataan olevan vähintään 60–70 % alkuperäisestä. Tällainen takuu luvataan esimerkiksi BMW i3, Chevrolet Bolt, Kia Soul, Nissan Leaf ja VW e-Golf sähköautoille. [20]

3. LANGALLISET LATAUSTAVAT

Sähköauton laturi voi sijaita joko autossa itsessään tai auton ulkopuolella. Erona vaihtoehtoisissa on, että autossa sijaitseva latausjärjestelmä liittyy tavallisesti yleiseen sähköverkkoon ja vaihtovirran tasavirraksi muuttava tehoelektroniikka sijaitsee autossa eikä latausasemalla. Autossa sijaitsevan laturin etu on, että aina, kun sähköä on saatavilla, voidaan autoa ladata. Haittapuolia ovat latauslaitteen tuoma lisäpaino ja tilankäyttö, joiden takia autoissa on yleensä vain pienitehoisia latureita, jotka ovat pienikokoisia, mutta niillä lataaminen kestää kauan. [21]

Julkiset latauspisteet ovat yleistyneet ja esimerkiksi päivittäistavarakauppojen, huoltoasemien ja kauppakeskusten pihoilla näkyy yhä useammin latauspisteitä. Se helpottaa sähköautoilijoiden arkea, kun auton voi jättää latautumaan tavallisten päivittäisten tapahtumien ajaksi.

3.1 Vaihtovirralla lataaminen

Autoissa käytettyjä akkuja ei voida ladata vaihtovirralla, joten vaihtovirralla lataaminen perustuu sähköautossa itsessään olevaan tehoelektroniikkaan, jossa vaihtovirta muutetaan tasavirraksi. Latausnopeus riippuu näin ollen auton järjestelmästä, sillä jos auto voi hyödyntää esimerkiksi 3 kW suuruisen tehon, ei auta, vaikka latausasema mahdollistaisi suuremman lataustehon. Tällä hetkellä 22 kW on käytännössä suurin latausteho vaihtovirtalatauksessa.

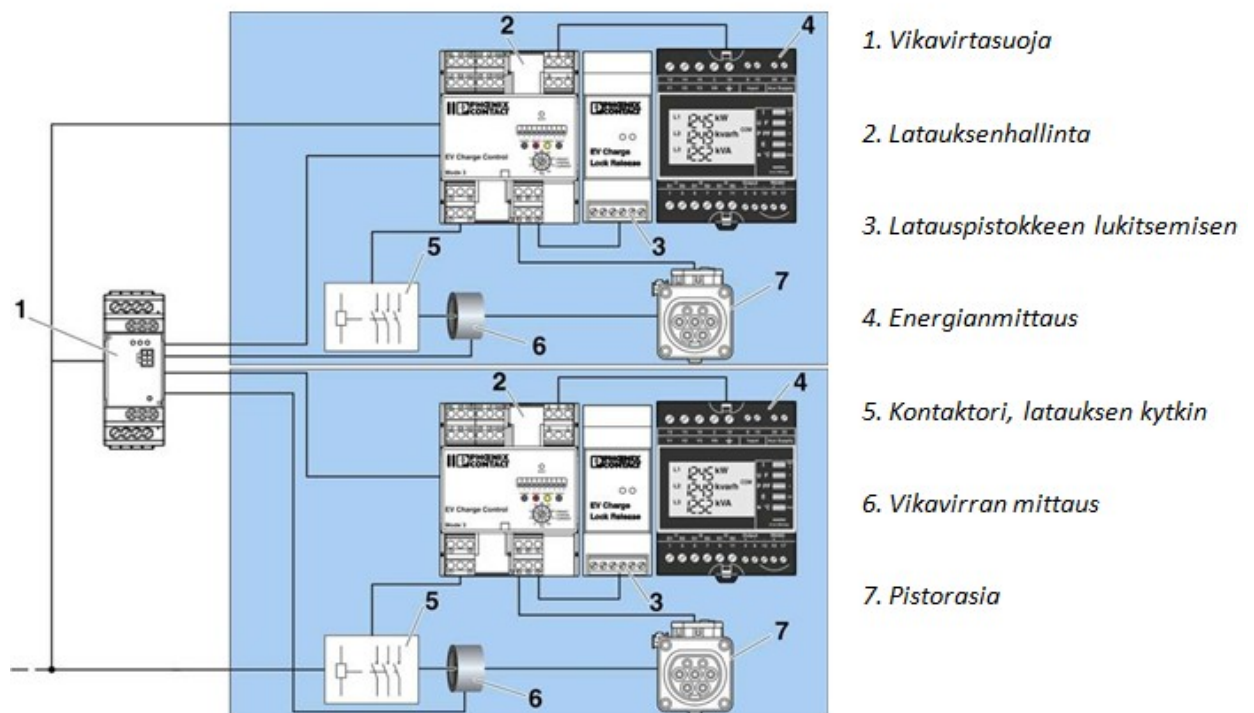
Vaihtovirtalatauksen edullisuus tasavirtalataukseen verrattuna johtuu siitä, että AC-latausasema on kustannuksiltaan alhaisempi kuin DC-pikalatausasema ja myöskään sähköverkon kapasiteettia ei tarvitse yleensä suurentaa toisin kuin DC-latauksen kohdalla. Vaihtovirralla lataaminen on myös helppoa, sillä lähes kaikkialla on käytettävissä kotitalouspistorasioita, josta autoa voi ladata. Kaupunkien keskustoissa vaihtovirtalataus tulee olemaan yleinen latausmuoto, sillä kaupunkien sähköverkkoa on kallista laajentaa suurelle pikalatauspisteiden määrälle riittäväksi. [21]

Vaihtovirralla toimivat ajoneuvojen latausmenetelmät jaotellaan standardin IEC-61851-1 mukaan kolmeen lataustapaan tehojen mukaan. Lataustavat 1–3 ovat vaihtovirralla toimivia. Näistä ensimmäinen on **lataustapa 1** (mode 1). Se on tarkoitettu kevyiden sähköajoneuvojen kuten sähköpyörien lataamiseen. Lataaminen tapahtuu 30 mA vika-

virtasuojalla varustetusta kotitalouspistorasiasta. Tällä lataustavalla ei ladata sähköautoja. [22]

Lataustapa 2 (mode 2) on tarkoitettu sähköauton hitaaseen lataamiseen kotitalouspistorasiasta. Suomessa toimivan sähköteknisen alan standardoimisjärjestö SESKO:n lataussuosituksen (2018) mukaan siitä voidaan ladata maksimissaan 8 A virralla, sillä kotipistorasia on tehty kestäämään maksimivirtaa 16 A vain kaksi tuntia. Tällä lataustavalla saavutetaan noin 1,8 kW latausteho. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kolmivaiheista teollisuuspistorasiaa, jolloin voidaan saavuttaa 16 A latausvirta ja 11 kW latausteho. Jokaisen sähköauton mukana toimitetaan yleensä lataustavan 2 mahdollistava latausjohto. [22]

Lataustapa 3 (mode 3) on sähköauton ensisijainen lataustapa. Lataustavalla päästään teoriassa maksimissaan 63 A latausvirtaan ja noin 43 kW lataustehoon. Käytännössä autoissa tasavirtamuunnoksen tekevän elektroniikan koko ja paino sallivat tällä hetkellä korkeintaan 22 kW lataustehon [23]. Autoa ladataan latausjohdolla, jonka liittimet lukittuvat kiinni ladattaessa ja katkaisevat latauksen mikäli johdin irtoaa. [22] Lataustapa 3 on yleisesti käytetty lataustapa julkisilla ja yksityisillä latauspaikoilla. Kuvassa 3 esitetään piirros lataustavan 3 mukaisesta kahden latauspaikan latausasemasta. Kuvan oikeasta reunasta nähdään kunkin laitteen osan keskeinen toiminta.



Kuva 3. Piirros kaksi latauspistettä sisältävän latausaseman sisällöstä. [24]

Kuva 3 nähdään Phoenix contactin lataustavan 3 mukainen 22 kW lataustehoon kykenevä latausasema piirroksena. Latauslaite käyttää 400 V jännitettä ja 32 A virtaa. Kaikissa laitteissa energiamittari ja vikavirtasuojat eivät ole sisäänrakennettuina kuten piirroksessa, vaan ne on usein asennettava erikseen.

Taulukko 1 esitetään turvallisuusstandardeja, jotka koskevat sähköauton latausjärjestelmää. Latausjärjestelmä sisältää tässä tapauksessa autoon sisäänrakennetun tai ulkoisen latauslaitteen ja latausjohdon. Taulukossa 1 näkyvät standardit koskettavat lähinnä latausjärjestelmien ja -laitteiden valmistajia, joten niihin ei tässä työssä syvennyttä. Asennusta koskevat turvallisuusstandardit esitetään Luvussa 6.

Taulukko 1. *Turvallisuusstandardit latausjärjestelmille. [16]*

Yleiset turvallisuusvaatimukset	SFS-EN 61851-1
Autossa ja auton ulkopuolella sijaitsevan latauslaitteen sähkömagneettiset häiriöt, verkkovaikutukset	SFS-EN 61851-21
Tasavirtalatausasema	SFS-EN 61851-23
Tasavirtalatausaseman ja auton kommunikaatio	SFS-EN 61851-24
Vaihtovirtalatauksen pistokytin	SFS-EN 62196-1, -2
Tasavirtalatauksen pistokytin	SFS-EN 62196-1, -3
Latauskaapeli	SFS-EN 50620
Latauskaapelin suojaiteyksikkö	SFS-EN 62752
Kiinteä vikavirtasuojat lataustavan 3 mukaisella asemalla	IEC 62955

Vaihtovirtalataus ovat yleisin lataustapa ja saman trendin odotetaan jatkuvan tulevaisuudessa, sillä vaihtovirtalatausasema on tasavirta-asemaa edullisempi hankkia ja toisaalta kaikkien sähköautojen mukana toimitetaan johto vaihtovirtalatausta varten. Vaihtovirtalatauksen odotetaan olevan yli 80 % kaikesta sähköautojen latauksesta vuonna 2020. [21]

3.2 Tasavirralla lataaminen

Tasavirralla ladatessa vaihtovirta muunnetaan tasavirraksi asemalla sijaitsevassa yksikössä. Latausaseman tulee tietää millainen auto ja akku siihen on kytketty, joten latausaseman tulee keskustella auton kanssa akun varauksen tilasta. Saadun informaation perusteella latausasema osaa valita oikean latausvirran ja jännitteen. Tasavirtalataus tulee olemaan suurten teiden varsilla ja kaupunkien ulkopuolella yleisin latausmuoto nopeutensa ansiosta. [21] Tasavirralla lataaminen on yleensä pikalatausta.

Pikalatauksesta käytetään kirjallisuudessa usein myös nimiä teholataus ja **lataustapa 4** (mode 4). Se poikkeaa aiemmin esitellyistä siten, että vaihtovirta muutetaan tasavirraksi latausasemalla eikä autossa kuten aiemmissa. Tämä siksi, että suuriin lataustehoihin pystyvän tehoelektronikan sijoittaminen autoon olisi taloudellisesti kannattamattomaa. Pikalatauksella päästään yli 22 kW tehoihin ja yläraja riippuu vasta kehitteillä

olevasta tekniikasta. [22] Tällä hetkellä yli 400 kW huippulatausteho on saavutettu Porchen kokeissa. [25] Suurilla lataustehoilla johdon, aseman, ja auton akuston lämpeneminen on huomattavaa ja tarvitaan ilmajäähdytystä tehokkaampaa jäähdytysmenetelmää kuten nestejäähdytystä. Esimerkiksi Teslan Supercharger-latausasemat ovat nestejäähdytettyjä [26].

Pikalatauksella voidaan kompensoida esimerkiksi pientä toimintamatkaa, jolloin pitkillä ajomatkoilla akku voidaan ladata nopeasti. Jos akun voi ladata lyhyen pysähdyksen aikana, voidaan käyttää pienempää akkuratkaisua ja säästää tilankäytössä ja painossa. Pikalatausasemat ovat Suomessa vielä harvinaisia. Suomen ensimmäinen yli 300 kW lataustehoon pystyvä latausasema avattiin loppuvuonna 2018 Helsingin ja Turun välisen moottoritien varrelle Fortumin toimesta. [27]

Tällä hetkellä valtaosa pikalatausasemista käyttää 50 kW lataustehoa Teslan Supercharger-latausasemia lukuun ottamatta. Teslan viimeisimmästä maaliskuussa 2019 julkaistusta kolmannen sukupolven Supercharger-asemasta on mahdollista ladata tiettyjä Teslan model 3 autoja jopa 250 kW latausteholla. Kolmannen sukupolven Supercharger kykenee Teslan mukaan lataamaan 120 km edestä energiaa 5 minuutissa. Toisen sukupolven latausasemat on suunniteltu maksimissaan 150 kW latausteholle, mutta toistaiseksi ne on rajoitettu ohjelmallisesti 120 kW tasolle. [26]

On arvioitu, että noin 30 kilometriä minuutissa lataava asema olisi kaikki tarpeet tyydyttävä latausnopeus. Tällaisen kaikkia tyydyttävän aseman latausnopeus vastaa noin 400 kW keskimääräistä lataustehoa. Monille tosin riittää ainoastaan kotitalouspistokkeesta tehtävä hidas lataus ja pikalatauksen tarve riippuu täysin auton käyttötavasta. Esimerkiksi yleisillä 50 kW pikalatausasemilla saavutetaan 4 km/min latausnopeus, joka on monille täysin riittävä. [28, s. 322–331]

Tulevaisuudessa sähköautojen latausajat tulevat lyhenemään, kun nyt vallitseva akkujen aiheuttama pullonkaula saadaan ohitettua. Vuonna 2020 Porche suunnittelee julkaisevansa 350 kW teholla lataukseen kykenevän auton, jossa auton akku latautuu 80 prosenttisesti alle 10 minuutissa. Suuret lataustehot tulevat aiheuttamaan auton sähköjärjestelmän muutosten lisäksi tarpeita sähköverkon siirtokyvyn kasvattamiselle tai vaihtoehtoisesti käytön rajoittamiselle. [29]

Kaksisuuntaisen energiansiirron tukeminen auton ja sähköverkon välillä on mahdollista tasa- ja vaihtovirtalatauspisteille. Tasavirtalatauslaitteiden valmistajat voivat itse vaikuttaa niiden olemassaoloon toisin kuin vaihtovirtalatauksessa, jossa tehoelektroniikka sijaitsee autossa ja autovalmistajien tulee implementoida ne itse. [14]

3.3 Pistokytkimet sähköautojen latauksessa

Tässä luvussa käsitellään Suomessa yleisiä sähköautojen lataukseen käytettäviä pistokytkimiä. Aloitetaan Euroopassa standardoiduista pistokytkimistä.

Euroopan unionin direktiivin 2014/94/EU mukaan kaikki julkiset vaihtovirtalatauspisteet tulee varustaa standardin IEC 62196-2 mukaisen tyyppin 2 latauspistokkeella tai pistorasialla, jotka esitetään kuvassa 4. Vastaavasti kaikki julkiset tasavirtaa käyttävät pikalatauspisteet tulee varustaa standardin IEC 62196-2 mukaisella CCS 2 (Combined charging system) DC-pikalatauspistokkeella, joka esitetään kuvassa 5. Lataukseen voidaan käyttää myös muita pistokkeita, kunhan latauspisteessä on myös direktiivin mukainen pistoke tai pistorasia. [30]



Kuva 4. EU:ssa standardoitu tyyppin 2 ("Mennekes") pistokytkin. Ylhäällä latauspistoke ja auton kojevastake. Alhaalla pistotulppa ja pistorasia. [31] [32] [33]



Kuva 5. EU:ssa standardoitu CCS 2 "Combo 2"-DC-pikalatauspistoke ja auton kojevastake. [32] [34]

EU:n direktiivissä kuvan 4 mukainen tyyppin 2 pistokytkin on määritelty ainoastaan liiketoimen osalta ja esimerkiksi lukitusmekanismi voi vaihdella eri valmistajien välillä. [30] Tyyppin 2 pistokytkintä voidaan käyttää niin autossa kuin latauslaitteessakin. Tyyppin 2 pistokytkin mahdollistaa sähköauton lataamisen lataustavoilla 2 ja 3. Ladatessa voi-

daan maksimissaan käyttää yksivaiheisesti 70 A ja kolmivaiheisesti 63 A virtaa. Lataus-teho voi olla maksimissaan 43 kW. [14]

Kuvan 5 CCS 2 latauspistoke mahdollistaa ainoastaan pikalatauksen, mutta auton ko-jevastakkeeseen sopii myös tyypin 2 pistoke. Nimensä mukaisesti yhdistelmäpistokyt-kimestä voidaan ladata autoa niin vaihto- kuin tasavirrallakin. Auton kojevastakkeeseen sopivat lataustavat 2, 3 ja 4, eli tyypin 2 pistokkeen lisäksi myös tasavirtalataus. CSS 2 pistokytkin mahdollistaa lataustavan 4 mukaisen pikalatauksen tasavirralla. Pistokytki-men läpi voidaan siirtää tasavirtaa käyttäen maksimissaan 200 A virta ja 170 kW teho. Pistokkeen jännitteenkesto on 850 V. [14]

SESKO:n lataussuosituksen mukaan pikalatausjohto tulee olla aina kiinteästi kiinni la-tausasemassa toisesta päästään. Sen sijaan vaihtovirtalatauksessa käytettävän lataus-johdon molemmissa päissä voi olla pistokytkin. Tällöin latausasemassa on kiinni aino-astaan pistorasia kiinteän johdon sijaan. [22]

Edellä kuvattujen standardin mukaisten liittimien lisäksi Suomessa ovat yleisiä myös seuraavat liittimet. Sähköauton mukana tulevan latausjohdon päässä oleva kotilatauk-seen tarkoitettu pistotulppa on tyypiltään Schuko, jollainen esitetään kuvassa 6. Kotila-tauksessa auton puolen kytkentä tehdään tavallisesti tyypin 2 pistokytkimellä. Kuvassa 7 esitetään toinen vaihtoehto Schuko-pistotulpalle, joka on kolmivaiheinen teollisuus-pistokytkin. Schuko- ja teollisuuspistokytintä käytetään kiinteistön ja latausjohdon vä-lissä, ei sähköautossa itsessään.

Lataustavan 3 mukainen pistokytkin voi olla tyypin 1 niin kutsuttu Yazaki, standar-doidun tyypin 2 pistokytkimen sijaan. Tyypin 1 pistokytkin esitetään kuvassa 8. Pikala-tauksessa tasavirralla on käytössä niin kutsuttu CHAdeMO-pistokytkin (charge de mo-ve), jollainen näytetään kuvassa 9. [14]



Kuva 6. Schuko pistokytkin. [35] [36]



Kuva 7. Kolmivaiheinen teollisuuspistokytin. [37]



Kuva 8. Tyypin 1 ("Yazaki") pistokytin. [32]



Kuva 9. CHAdeMO-pistokytin. [32] [34]

Kuvassa 6 näkyvän Schuko-pistokytimen virrankesto on maksimissaan 16 A hetkellisesti. Kuitenkin käytännössä luvussa 3.1 esitetty 8 A latausvirta on käyttökelpoinen pidempiaikaiseen käyttöön. Tällöin saavutetaan noin 1,8 kW latausteho. [14] Kuvassa 7 esiintyvän teollisuuspistokytimen kohdalla virrankesto on 32 A ja tehonkesto 22 kW. Schuko- ja teollisuuspistokytimiä voidaan käyttää lataustapojen 1 ja 2 latausjohdoissa. [14]

Kuvan 8 tyyppiä 1 oleva pistokytin on yksivaiheinen ja sillä voidaan ladata käyttäen lataustapoja 2 ja 3. Se mahdollistaa 32 A maksimivirran ja 7,2 kW maksimitehon. [14] Kuvassa 9 näkyvä CHAdeMO-pistokytin mahdollistaa pikalatauksen lataustavalla 4. Sillä voidaan ladata tasavirralla käyttäen enintään 200 A virtaa, 600 V jännitettä ja 120 kW lataustehoa. [14] Kaksisuuntaista energiansiirtoa tukevat pikalatauspistokytimet CSS 2 ja CHAdeMO sekä tyypin 2 vaihtovirtapistokytin. [14]

4. LANGATON LATAUS

Tässä luvussa tutustutaan sähköautoille merkittäviin langattoman latauksen menetelmiin. Langaton lataus eroaa johtimella tapahtuvasta latauksesta siten, että johdon sijaan energia siirretään latauslaitteen ja auton välillä ilman kosketusta. Langaton lataus poistaa lataustapahtumasta johdon kiinnittämisen vaivan, minkä vuoksi se on yleinen ominaisuus esimerkiksi monissa matkapuhelimissa ja sähköhammasharjoissa. Myös sähköautojen langatonta latausta kehitetään samasta syystä. Toistaiseksi sähköautojen langaton lataaminen on harvinaista langallisiin latausmuotoihin verrattuna.

4.1 Staattinen langaton lataus

Staattinen langaton lataus on paikallaan pysyvän ajoneuvon lataamista. Toistaiseksi staattinen lataaminen on ainoa yleiseen käyttöön valmis tapa ajoneuvojen langattomaan lataamiseen. Liikkuvan ajoneuvon langaton lataaminen on vielä kehitysvaiheessa. Johtimella tapahtuvaan lataukseen verrattuna lataustapahtuma yksinkertaistuu siten, että oikeaan kohtaan pysäköiminen aloittaa auton latauksen.

Langaton lataaminen perustuu tyypillisesti induktioon, jossa latauslaitteen käämistä indusoidaan virta laitteen käämiin. Pienten laitteiden välillä ilmaväli on tavallisesti lähes olematon, kun laite on asetettuna latausalustalle. Sähköautojen induktiivisessa langattomassa latauksessa ilmaväli on jopa kymmeniä senttimetrejä. Ilmaväli tulee jättää siksi, että auton alustan ja maan väliin tulee luonnollisesti jäädä maavara esteiden ylittämistä varten. Ilmaväli aiheuttaa energiansiirrossa häviöitä. Vähemmän tunnettuja vaihtoehtoja sähkömagneettiselle induktiolle ovat energian siirtäminen säteilyn ja sähkökentän välityksellä. Säteilystä ja sähkökentästä aiheuttavat ihmiselle enemmän haittoja kuin magneettikenttä, minkä vuoksi ensin mainitut ovat jääneet lataustavoissa vähemmälle huomiolle. [38]

Sähköauton langattomalle lataukselle on olemassa IEC 61980-1 standardi, joka kuvaa järjestelmän yleisiä vaatimuksia. Valmisteilla ovat myös standardit IEC/TS 61980-2 ja 61980-3. Ne kuvaavat auton ja latausalustan välisen viestinnän sekä magneettikenttien vaatimuksia. [16]

Sähköauton induktiivinen latausjärjestelmä koostuu latausalustan ja auton puolen järjestelmästä. Latausalustan puolella sijaitsee joko yksi- tai kolmivaiheinen virtalähde riippuen tarvittavasta tehosta. Verkosta otettava vaihtovirta muunnetaan korkeammalle taajuudelle AC/DC ja DC/AC muunnoksilla. Ennen käämiin ohjaamista ja sen jälkeen virta kulkee niin kutsutun kompensointipiirin läpi. Kompensointipiirissä on induktiivisia, kapasitiivisia ja resistiivisiä komponentteja kytkettyinä suunnitellulla tavalla, jotta saadaan vähennettyä käämien kohdistuksen virheestä johtuvia häviöitä. Käämien kohdistuksen virhe tarkoittaa, että latausalustan ja auton käämit eivät ole täysin kohdakkain. [39]

Sähköauton julkisissa paikoissa käytettävät langattomat latauslaitteet sijaitsevat tavallisesti maan pinnalla ja autojen vastaanottimet autojen pohjarakenteeseen kiinnitettyinä, jolloin niiden tulee kestää olosuhteiden ja vuodenajan vaihtelut. Tienpinnan alapuolelle julkisiin paikkoihin asennettava latausalusta koostuu monista kerroksista. Tukikerrokset tuottavat alustalle auton painon kestävä rakenteen ja ne voivat sisältää esimerkiksi PVC-muovia. Tukikerrosten lisäksi latausalustassa ovat sähkömagneettisesti ihanteelliset ominaisuudet tuottavat kerrokset. Ne voivat pitää sisällään esimerkiksi alumiinilevyn päälle sijoitetun rautaseoksesta tehdyn ferriittilevyn ja käämityksen. [39] Kuluttajille myytävät latausalustat tulevat olemaan kevytrakenteisempia ja ne tullaan kustannusyistä asettamaan parkkipaikan lattian päälle.

Maassa sijaitseva käämi indusoi auton käämiin sähkövirran, joka muunnetaan auton puolella akulle sopivaksi tasavirraksi. Auton muuntaja on yhteydessä akun hallintajärjestelmään, jotta kulloinkin akulle sopiva latausvirta voidaan tuottaa. [38]

BMW on tuomassa ensimmäisenä suurena autovalmistajana tänä vuonna 2019 markkinoille 530e iPerformance hybridiin sopivan langattoman latauslaitteen. Kuluttajien omaan käyttöön tarkoitettu laite käyttää 3,2 kW lataustehoa, jolla auton 9,2 kWh litiumioni akku latautuu 0–100 % noin 3,5 tunnissa [40]. Laitteeseen kuuluvat lattialle tai maahan sijoitettava latausalusta ja auton pohjaan ammattilaisen toimesta asennettava vastakappale. [41] Kuvassa 10 nähdään BMW:n langaton latauslaite.

Latausalustan ja auton vastakappaleen kohdistaminen on tärkeää. Käytännössä auto tulee ajaa tarkasti latausalustan yläpuolelle. Esimerkiksi BMW:n ratkaisussa auto näyttää kuljettajalle auton etupuskurissa olevaa kameraa hyödyntäen, mihin suuntaan autoa tulee ohjata oikean paikan löytämiseksi [41]. Jo nyt automaattiset pysäköintiajastajat ovat tuttu ominaisuus uusissa autoissa, joten tulevaisuudessa autot hyvin todennäköisesti ajavat itsensä tarkasti myös latausalustojen päälle.



Kuva 10. BMW:n 530e iPerformance hybridin erikseen myytävä langaton latausalusta. [41]

Etenkin julkiset ajoneuvot, jotka pysähtyvät lyhyeksi aikaa, voivat hyötyä langattomasta latauksesta. Esimerkiksi taksitolpilla hitaasti etenevässä jonossa langaton lataus mahdollistaa autojen lataamisen, koska johdinta ei haluta kiinnittää lähtövalmiuden säilyttämiseksi. Langattoman latauksen ansiosta taksikuljettajien ei myöskään tarvitse varata erikseen aikaa ajaakseen latauspaikalle ja odottaa akun latautumista, vaan lataus voidaan tehdä samalla, kun odotetaan seuraavaa asiakasta. Maailman ensimmäinen sähkötaksien langattoman latauksen verkosto on rakenteilla Norjan Osloon. Osloon kaupunki, energiayhtiö Fortum ja Amerikkalainen yhtiö Momentum Dynamics yhdessä tuovat 75 kW lataustehoon pystyvät latausalustat Osloon taksitolpille. Projektin tavoitteena on tehdä Osloon taksit päästöttömiksi vuoteen 2023 mennessä. [42] Myös linja-autoille vastaava toteutus on mahdollinen esimerkiksi reittien päätepysäkeillä.

4.2 Dynaaminen langaton lataus

Langatonta lataamista auton ollessa liikkeessä kutsutaan dynaamiseksi. Dynaamisen langattoman latauksen tavat ovat vasta kehitteillä. Puolijohdevalmistaja Qualcomm esitteli omaa ajonaikaisen langattoman latauksen mahdollistavaa Halo järjestelmäänsä vuonna 2017. Sadan metrin testiradalla osoitettiin, että maantienopeudessa autoa voidaan ladata langattomasti jopa 20 kW teholla. Tekniikkaa ei ole vielä kuitenkaan nähty yleisessä käytössä. [43] Dynaaminen langaton lataus perustuu tiehen lyhyin välimatkoin upotettuihin latausalustoihin, joista yliajavat autot saavat vastaanottimien kautta energiaa. Energian siirtäminen tapahtuu samalla tekniikalla kuin staattisessa langattomassa latauksessa eli tavallisesti induktiolla. [39]

Langattomasti tiestä latauksen mahdollistavia induktiivisia järjestelmiä on kehitetty kuusi sukupolvea. Viidennen sukupolven latausjärjestelmässä asfaltin alle asennettavan

latausalustan leveys on vain 4 cm ja sen asennuskustannukset ovat alhaisemmat kuin aiemmillä sukupolvilla. Asennuskustannusten pienentäminen on oleellista, sillä dynaamisen latausjärjestelmän kustannuksista noin 80 % koostuu tien alle tulevan latausalustan asentamisesta. [12, s. 1118–1129] Kuudennen sukupolven laite on suunniteltu siten, että sitä voidaan käyttää sekä liikkuvan, että paikallaan pysyvän auton lataamiseen. Myös sen asennuskustannuksia on edelleen pienennetty yksinkertaistamalla tien alle asennettavan laitteiston rakennetta. [44]

Dynaamisen langattoman lataamisen etuna on muihin latausmuotoihin verrattuna se, että auto ei tarvitse suurta akustoa, koska latausta voidaan tehdä ajon aikana. [38] Korean tieteen ja teknologian tutkimuslaitoksen tekemässä raportissa vertailtiin paikallaan ladattavien sähköbussien linjan kustannuksia dynaamisesti lataavaan järjestelmään, jossa autoissa on pienemmät akut. Tulos on, että akkujen korkeasta hinnasta johtuen tällä hetkellä määrättyllä linja-auto reitillä, jonka ajoaika on yhteen suuntaan 55 min, on noin 20 % edullisempaa asentaa dynaamisesti lataavia latausalustoja sopivin välimatkoin, kuin hankkia huomattavasti suuremman akkukapasiteetin omaavia linja-autoja. [45] Tulevaisuudessa litiumioniakkujen valmistuskustannusten laskiessa entisestään tulee dynaaminen lataus olemaan entistä vähemmän taloudellisesti kannattavaa julkisissakaan käyttötarkoituksissa. Yksityisautojen kulkemat reitit ovat niin vaihtelevia, että dynaamisen latauksen hyödyntäminen on niillä taloudellisesti kannattamatonta suurten asennuskustannusten vuoksi. Kuluttajille dynaamisen latauksen hyötyjä pienentää se, että lataavia teitä tulee olla kaikkialla, jotta yleisesti käytettävien sähköautojen akustojen kokoa voidaan pienentää ja siten laskea auton hankintakustannusta. Suomessa pitkien etäisyyksien ja pienen asukasmäärän vuoksi teiden sähköistäminen ei ole näillä näkymin taloudellisesti kannattavaa.

Auton vastaanottavien käämien integroiminen renkasiin on vaihtoehto auton pohjaan asennettavalle käämitykselle. [39] Renkaisen sisäinen käämitys olisi lähempänä tienpintaa, jolloin energian siirrossa olisi pienempi ilmapäli. Jatkuvasti pyörivän liitoksen tekeminen renkaan ja auton korin välillä pitäisi ratkaista kestäväällä tavalla. Tiessä sijaitsevan latausalustan tulee tällöin olla leveä, jotta erikokoiset autot voivat hyötyä siitä. Suuren koon lisäksi lisäkustannuksia aiheuttaa, että latauslaitteiston tulee kestää jatkuvaa yliajamista. Vastaanottavien käämien sijoittaminen renkasiin vaatii vielä monien haasteiden ratkaisemista ennen kuin se on toteutuskelpoinen idea.

5. AKUNVAIHTOASEMAT

Sähköauton akuston vaihtaminen kokonaisuudessaan toiseen täysinäiseen akkupakettiin erityisellä akunvaihtoasemalla on vaihtoehto muille latausmuodoille. Konseptissa sähköauto ajetaan asemalle, jossa auton akku irrotetaan ja tilalle asennetaan täyteen ladattu ja huollettu akku. Vaihtotapahtuma voidaan toteuttaa roboteilla tai ihmisten ja koneiden yhteistyöllä. Konseptilla on monia etuja tavalliseen kuluttajan suorittamaan lataukseen nähden. Akun vaihtaminen tapahtuisi muutamassa minuutissa ja olisi verrattavissa jopa bensiinikäyttöisen auton tankkausnopeuteen. Asemalla akut ladattaisiin aina optimaalisella nopeudella, joka pidentäisi niiden käyttöikää. Myös suuren energian varastoimiskapasiteetin hyödyntäminen muihin tarkoituksiin, kuten sähköverkon teho- tasapainon ylläpitämiseen, on mahdollista. [46]

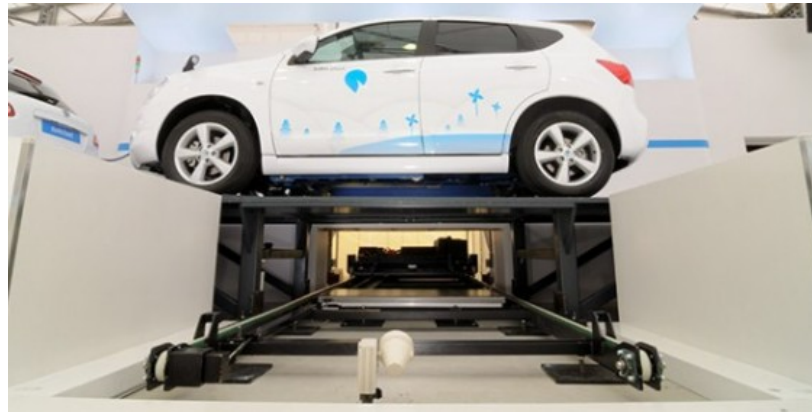
Haasteen tuottaa ensinnäkin akkujen yhteensopivuus, mikäli yhteisiä asemia halutaan käyttää. Eri autovalmistajien akkujen tulisi ideaalilanteessa sopia toistensa autoihin. Tällöin sähköauton akku tulisi standardoida ainakin koon, kiinnitystavan, virran, jännitteen, akunhallintajärjestelmän ja jäähdytyksen osalta. Aluksi muutamankin valmistajan yhteistyö olisi erinomainen asia akunvaihtoasemien yleistymisen kannalta. Akku on usein tärkeä osa auton runkoa. Volkswagenin edustajan mukaan akkua ei voida turvallisuuden takia kiinnittää auton pohjaan vain muutamalla ruuvilla, vaan se pitää integroida osaksi auton runkoa. [47] Akunvaihtoasemille on olemassa standardi IEC 62840-1, joka asettaa järjestelmän yleiset määrittelyt. Lisäksi IEC 62840-2 kertoo turvallisuusvaatimukset. [16]

Akuston vaihtamiseen erikoistuneen aseman hankintakustannukset tulevat olemaan suuret ja vanhentuneiden tai rikkoutuneiden akkujen korvaaminen uusilla on kallista. Laajan verkoston rakentaminen akkujen vaihtamiseksi on merkittävä investointi. Suurten kustannusten vuoksi valmistajat voisivat esimerkiksi ulkoistaa akkujen toimittamisen kokonaisuudessaan siten, että auto hankitaan kokonaan ilman akkua. Auton hankintahinta olisi edullinen ilman akkua ja siihen ostettaisiin kuukausimaksulla standardoitu akku ja vaihtopalvelu joltakin palveluntarjoalta.

Akunvaihtoasema voi kuormittaa sähköverkkoa vähemmän kuin suuritehoinen pikalatausasema. Akunvaihtoasemalla akkuja voidaan varastoida ja ladata pienellä, esimerkiksi 10 A, virralla sekä välttää lataamista suurimpien kulutushuippujen aikaan. Pikala-

tausasema sen sijaan pyrkii lataamaan auton akun mahdollisimman nopeasti suurella teholla, jolloin sähköverkosta täytyy ottaa suuria, jopa satojen ampeerien, virtoja.

Better place -niminen yritys esitteli jo vuonna 2009 täysin automatisoidun akunvaihtojärjestelmän. Idea oli aikaansa edellä, koska kymmenen vuotta sitten ihmisillä ei vielä ollut samassa mittakaavassa sähköautoja kuin nyt. Yritys ajautui muutaman vuoden päästä konkurssiin. Kuvassa 11 esitetään Better placen toiminnassa ollut automaattinen akunvaihtojärjestelmän prototyyppi. [48]



Kuva 11. *Automatisoitu akunvaihtojärjestelmän prototyyppi. [48]*

Kuvassa 11 nähdään auton alla kiskoilla liikkuva robotti, joka käsittelee kuvassa keskellä näkyvää akkupakettia. Kun auto on pysäköitynä tarkasti paikalleen, robotti liikkuu auton kohdalle ja nousee ylöspäin. Auton pohjasta robotti irrottaa käytössä olleen akun ja kiinnittää täyteen ladatun tilalle. Tässä ratkaisussa robotti kiinnittää akun auton pohjarakenteeseen kiertämällä mekaaniset koukut ulos akkupaketin sivuilta, jolloin akkupaketti pysyy tiukasti paikallaan.

Akunvaihtoasemat kilpailevat suoraan pikalatauspisteitä vastaan, sillä molemmista sähköauton omistaja voi ajaa pois akku täynnä lyhyen ajan kuluttua. Tesla on jättänyt oman, vuonna 2013 esitellyn, akunvaihtojärjestelmänsä kehittämisen taka-alalle ja panostanut ensisijaisesti Supercharger-pikalatausverkostoon. Akuston vaihtamisen kiinnostusta vähensi Supercharger-asemien maksuttomuus ja helppo saatavuus, kun samaan aikaan akuston vaihtaminen tehtiin tilauksesta ja se maksoi noin 80 dollaria. [49]

Akunvaihtorintamalla ehti olla hiljaista useamman vuoden ennen kuin vuoden 2018 lopussa Kiinalainen Nio oli rakentanut maahan 18 akunvaihtoasemaa G4 valtatievarrelle. Nion oman sähköauton (ES8s) omistajat saavat vuodessa 12 ilmaista akuston vaihtoa. Yrityksen on tarkoitus rakentaa seuraavan vuoden aikana yli 1000 uutta asemaa ja mahdollisesti laajentua maailmalle. Tulevaisuus näyttää, tullaanko akunvaihtoasemia näkemään muuallakin kuin Kiinassa. Tällä hetkellä kotilataus ja pikalataus vaikuttavat yksinkertaisemmilta ratkaisuilta niin kuluttajan kuin valmistajankin näkökulmasta.

6. AUTOJEN LATAUS JA KIINTEISTÖJEN SÄHKÖVERKOT

Sähköautojen lataaminen kiinteistöissä tulee yleistymään sähköautojen lukumäärän kasvaessa. Vuoteen 2030 mennessä Suomessa arvioidaan olevan jopa 250 000 täys-sähköautoa tai hybridiä. Taloyhtiöissä sähköautojen lataamisen järjestäminen tulee tavallisesti ajankohtaiseksi, kun joku yhtiössä hankkii sähköauton. Taloyhtiössä yhtiökoukous tekee päätöksen latauspisteiden rakentamisesta. [50] Pientalossa asuvilla latausjärjestelmän hankkiminen tulee luonnollisesti esille sähköautoa hankittaessa. Kiinteistöissä sähköautoa voidaan ladata erikseen asennettavalla latauslaitteella tai kotitalouspistokkeesta lataustavalla 2 maksimissaan 8 A virralla. Eriksään asennettaessa vaihtoehtoja ovat vaihtovirralla lataustapa 3 ja tasavirralla lataustapa 4. [22] Tässä luvussa ei käsitellä taloyhtiön päätöksentekoprosessia, vaan keskitytään latausjärjestelmän hankintaan.

Taloyhtiöissä ja pientaloissa sähköautolle *lataustapa 3 on suositeltavin* standardointijärjestö SESKO:n mukaan. Huoltoasemilla ja julkisilla paikoilla, joilla halutaan pikaladata suurilla tehoilla, voidaan käyttää lataustapaa 4. Kustannuksissa on latausasemien välillä merkittävä ero. Lataustavan 3 mukainen latausasema asennuksineen maksaa joitain tuhansia euroja, kun taas yksi 50 kW pikalatausasema maksaa tyypillisesti noin 50 000 euroa [51].

Kotitalouspistorasiasta ladattaessa tulee varmistaa, että pistorasia ja sitä syöttävän ryhmäjohton liitokset ovat hyväkuntoiset ja että ryhmäjohto on asianmukaisesti asennettu. Mikäli pistotulppa kuumenee, tulee lataus keskeyttää. Lataustavan 2 mukaisissa johdoissa vikavirtasuojaja on integroitu, jolloin latausjohton suojalaiteyksikkö tulee tukeaa. Sähköauton latauksessa jatkojohtoa ei saa käyttää. [22] Kuvassa 12 esitetään lataustavan 3 mukaiset maahan ja seinälle asennettavat latauspisteet. Seinälle sopivissa laitteissa on usein myös kattokiinnityksen mahdollisuus. [52]



Kuva 12. Lataustavan 3 mukainen maahan asennettava latauspiste vasemmalla ja seinälle asennettava laite oikealla. [52]

Taloyhtiöön asennettavasta latauspisteestä ei yleensä voi ladata autoa muiden kustannuksella, vaan käyttäjä maksaa sähköstä kulutuksen mukaan. Myös kauppakeskuksista tuttu lataamisen tarjoaminen kaikille on mahdollista. Latauspiste asennetaan tavallisesti omaan sulakeryhmäänsä ja siihen liitetään mittari, josta kulutus nähdään ja se saadaan laskutettua käyttäjältä. Vaihtoehtoisesti, jos latauspiste on yleisessä tai tietyn käyttäjäryhmän käytössä, voidaan laskutus hoitaa esimerkiksi pilvipalvelun kautta [53]. Tällöin jokainen lataaja tunnistautuu ennen latauksen aloittamista esimerkiksi omalla tunnusluvulla, erillisellä kortilla tai matkapuhelimella, jotta laskutus voidaan kohdistaa oikein. [52]

Sen sijaan, että taloyhtiö itse omistaa ja ylläpitää latauspisteitä, on mahdollista toimia yhteistyössä muiden taloyhtiöiden kanssa tai ulkoistaa palvelu jollekin yritykselle. Ulkoistetun latauspisteen käytöstä aiheutuvat kustannukset käyttäjät itse kattavat. [54]

Valtio pyrkii helpottamaan latauspisteiden yleistymistä kiinteistöissä. Latauspisteiden asentamista tuetaan valtion asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen toimesta vielä ainakin vuoden 2019 ajan. Projektin määrätyistä kustannuksista 35 % hyvitetään 90 000 euroon asti. [54] Ennen projektin aloittamista kannattaa selvittää, millaisiin kustannuksiin tukea voi saada.

Seuraavaksi käsitellään olemassa olevien kiinteistöjen ja uudisrakennusten latausjärjestelmien hankinnan vaiheita, jotka koskevat kotitalouksiin suositeltavaa lataustavan 3 mukaista järjestelmää. Hankinnan vaiheista esitetään yksi mahdollinen toteutustapa, mutta muita toteutustapoja voi olla yhtä monia kuin on tekijöitäkin. Tässä työssä latausjärjestelmän hankinnan suunnittelu alkaa kiinteistön nykyisten ja tulevien tarpeiden kartoituksella. Niin kutsutussa tarvekartoituksessa selvitetään kiinteistön tarpeet latausjärjestelmän osalta, kuten esimerkiksi montako latauspaikkaa tarvitaan, mikä taho latauspisteet tulee omistamaan ja tuleeko lataaja tunnistaa. Lisäksi selvitetään, millainen on kiinteistön nykyisen sähköjärjestelmän tila. [52]

Ammattilaisen suorittaman sähköjärjestelmän selvityksen perusteella saadaan tietoon voidaanko nykyisen sähköliittymän kuormitusta kasvattaa vai täytyykö sitä muuttaa esimerkiksi liittymisjohdon, pääsulakkeen tai keskuksen osalta [22]. Mikäli nykyinen sähköjärjestelmä ei sellaisenaan sovellu suunnitellulle latausjärjestelmälle, voidaan selvittää soveltuuko se käytettäväksi kuormanhallintajärjestelmän kanssa [52]. Jos latauspaikkoja tarvitaan niin paljon, ettei kuormanhallinnasta huolimatta voida käyttää vanhaa sähköjärjestelmää, voidaan sähköliittymän kasvattamisesta sopia mahdollisuuksien mukaan verkkoyhtiön kanssa [50].

Kiinteistön kuormanhallintaan on kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kuormanhallinta toteutetaan siten, että kaikkien latauspisteiden virtaa rajoitetaan mitoitettun maksimikuormituksen mukaisesti. Tällöin ei huomioida lataavien autojen määrää eikä kiinteistön muita kuormittavia laitteita, vaan rajoitus on kiinteä. Toinen vaihtoehto on käyttää älykästä kuormanhallintaa. Älykkäässä kuormanhallinnassa ladattavien autojen määrä ja kiinteistön muut kuormitukset voidaan huomioida, jolloin liitetyt autoja ladataan suurimmalla mahdollisella teholla. Tyhjiä latauspaikkojen vapauttama kapasiteetti ikään kuin jaetaan sillä hetkellä lataavien autojen kesken. [52]

Uudisrakennuksissa, joissa ei ole valmista sähköjärjestelmää lasketaan, paljonko sähköautojen latauspisteiden rakentaminen tulisi kasvattamaan sähkön tarvetta. Laskennan tuloksen perusteella arvioidaan liittymä kasvattamisen kustannukset ja tehdään päätös hankinnasta. [52]

Kun kiinteistön tarveselvitys on tehty, voidaan aloittaa niin kutsuttu hankesuunnittelu. Hankesuunnittelussa määritetään kiinteistön tarpeiden mukainen järjestelmä eli asetetaan projektin vaatimukset koskien esimerkiksi projektin laajuutta, aikataulua, kustannuksia ja ylläpitoa. Hankesuunnittelun perusteella saadaan projektille suurpiirteinen hinta ja voidaan kilpailuttaa järjestelmän suunnittelijat. Suunnittelussa latauspisteet sijoitetaan niin, että tavallisen pituiset latausjohdot ylettyvät niistä autoihin, jottei kielletty-

jä jatkojohtoja käytetään [22]. Ennen valitun suunnitelman toteuttamista on tarpeen ottaa huomioon mahdolliset rakennuslupa-asiat ja kilpailuttaa urakoitsija. [52]

Latausjärjestelmän asennuksessa tukeudutaan pääasiassa aiemmin tehtyyn sähkösuunnitelmaan. Asennusvaiheessa varmistetaan, että laitteiden ympärille jää tarvittava tila huoltoa varten. Laitteiden maakaapelit tulee asentaa suojaputkeen, jotta uusia kaapeleita saadaan myöhemmin tarvittaessa lisättyä esimerkiksi tiedonsiirtoa varten. Kaikissa sähköauton latauslaitteissa tulee käyttää joko tyyppin B maksimissaan 30 mA vikavirtasuojaa tai tyyppin A vikavirtasuojaa, jolloin virran kulku tulee katkaista 6 mA tasavirran ylittyessä vikavirtana [22]. Taulukossa 2 esitetään sähköauton latauspisteen asennuksen turvallisuusstandardit. Standardit koskettavat lähinnä latausjärjestelmien kanssa toimivia sähköalan ammattilaisia, joten niiden käsittely jätetään maininnan tasolle.

Taulukko 2. *Latauspisteen asennuksen turvallisuusstandardit.* [16]

Latauspisteen asennus ja syöttö	SFS 6000-7-722
Latauspisteen ei-sähköiset ominaisuudet	IEC/TS 61439-7
Sähkömagneettiset häiriöt, niiden sieto ja tuotto	SFS-EN 61000-6-2, -3
Sähköiskuilta suojaus	SFS-EN 61140
Sähköjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus	SFS-EN 61508

Laitteiden kytkemisessä on syytä huomioida vaiheiden vuorottelu kuormituksen jakamiseksi, koska iso osa autoista ottaa vastaan vain yhden tai kahden vaiheen tehon. Laitteiden konfiguroinnissa ohjelmistolle kerrotaan tietokoneen välityksellä, mihin vaiheisiin kukin laite on liittyneenä ja ohjelmisto tekee tarvittavat toimenpiteet. Laitteiden keskinäiseen tiedonsiirtoon suositellaan käytettäväksi Ethernet-yhteyttä, mutta mahdollisen pilvipalvelun kanssa kommunikointiin voidaan tarpeen mukaan käyttää mobiilitiedonsiirtoa. [55] Lopuksi laitteiden käyttöönotossa tehdään laitteiden käyttöohjeiden mukaiset tarkastukset ja annetaan käyttökoulutus ensisijaisille käyttäjille ja esimerkiksi mahdollisen huoltoyhtiön ja isännöitsijän edustajille. [52]

7. SÄHKÖAUTOJEN VIESTINTÄ

Tässä luvussa tutustutaan sähköauton viestinnän muotoihin ja siihen, kuinka viestintämahdollisuuksia voidaan tulevaisuudessa hyödyntää. Sähköautojen viestinnässä latauksen aikana on ISO 15118-1 standardin mukaan kaksi tasoa; perustaso ja korkeataso. Perustason viestinnällä huolehditaan lataustapahtuman turvallisuudesta ja muista välttämättömistä ominaisuuksista, kuten akuston tilan välittämisestä latauslaitteelle. Vaihtovirtalatauksessa auto ohjaa latausta itse ja tasavirtalatauksessa sen tekee ulkoinen latauslaite. [56] Informaatio liikkuu akun hallintajärjestelmän ja latauslaitteen välillä. Latauslaitteen ja auton välinen data salataan osittain sen sisällön tarkoituksellisen muokkaamisen varalta ilkvallan tarkoituksessa.

Perustason viestinnässä auton akunhallintajärjestelmä lähettää määrätyin väliajoin latauslaitteelle tiedon tarvittavasta latausvirrasta. Tietoa latausvirrasta lähetetään tyypillisesti sekunnin kymmenyksien välein. Sähköauton ja latauslaitteen välillä on käynnissä latauksen aikana jatkuva mittaus, joka varmistaa, että latauskaapeli pysyy lukittuna. DC-latauslaitteiden tulee tuottaa latausvirtaa $\pm 2,5$ A tarkkuudella auton ilmoittamasta tarvittavasta latausvirrasta. [23] *Korkean tason viestinnässä* lisätään ominaisuuksia, kuten lataajan tunnistautuminen, lataajan laskutus, latauksen ohjaus ja muut mahdolliset ominaisuudet, jotka eivät ole lataustapahtuman kannalta välttämättömiä. Korkean tason viestinnän mahdollistamiseksi niin auton kuin latausasemankin on tuettava sitä. [56] Taulukossa 3 esitetään sähköautojen latausjärjestelmien ja niiden taustajärjestelmien tietoliikennettä ja tietoturva koskevia standardeja, jotka määrittävät tarkasti esimerkiksi tiedonsiirrossa käytettävät protokollat ja laitteet. Standardit ovat merkityksellisiä lähinnä laitteita kehittäville ammattilaisille, joten niihin ei syvennytä enempää.

Taulukko 3. *Tietoliikennettä ja tietoturva koskevat standardit. [16]*

Tiedonsiirto ajoneuvon ja verkon välillä	ISO/IEC 15118 -sarja
Sähköauto energiavarastona, Data	SFS-EN 61850-7-420
Tietoturva	ISO/IEC 15408 -sarja, 27001-1
Protokolla auton lataamiseksi ja purkamiseksi etäohjauksella	IEC 63110
Tiedonsiirto pilvipalvelussa	IEC 63119

Sähköautoja voidaan ladata sähköverkon kannalta kahdella tavalla; itsenäisesti, ajoitustusti ja lisäksi sähköauto voi toimia energiavarastona. Itsenäisesti tapahtuvassa latauksessa energiaa siirretään auton akkuun kunnes se on täynnä ja tapahtumaa ei voida

etäohjata ulkopuolelta. Sähköauto on tällöin yksi energiaa kuluttava laite muiden joukossa. Ajoitetussa latauksessa sähköauton latauslaitetta voidaan ohjata siten, että sen lataustehoa säädellään välillä 0 – 100 % ja lataus voidaan tarvittaessa kokonaan keskeyttää. Se toimii kuin kiuas, jonka lämpötilaa voi etäohjauksella säätää ja tarvittaessa kytkeä pois päältä. Lisäksi esimerkiksi sähkön hintatason perusteella voidaan asettaa signaali latauksen aloittamiseksi. Kun sähkön hinta laskee tietyn rajan alapuolelle, aloitetaan lataus. Näin voitaisiin sähkön hinnoittelulla ohjata kuormitusta. Hinnoittelu tulee määrittää oikealla tavalla, jottei se aiheuta suurta kuormituspiikkiä sähkönhinnan laskukohtaan, kun iso määrä sähköautoja kytetään lataukseen samanaikaisesti. [57] [14]

Energiavarastona toimivasta sähköautosta voidaan tarvittaessa ottaa energiaa sähköverkkoon tehotasapainon eli sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainon ylläpitämiseksi. Olemassa olevat sähköverkot on suunniteltu yksinkertaistaen niin, että tuotanto on toisessa päässä verkkoa ja kulutus toisessa. Näin ollen tuotantokapasiteetin, kuten voimalan tai älykkäästi ohjattavien sähköautojen lisääminen verkkoon ei ole aivan ongelmattonta. Sähköauton omistajalta tarvittaisiin sähkön ottamiseksi jonkinlainen hyväksyntä, sillä ei ole mukavaa, jos liikkeelle lähtiessä huomaa akusta otetun virtaa yleiseen käyttöön. Yksityisessä energian varastoinnissa esimerkiksi omakotitalon pihalla olevaa sähköautoa voisi sähkökatkon aikana käyttää tilapäisesti varavirtapankkina, josta otetaan virtaa kodin tärkeimpiin laitteisiin. [57]

Kaksisuuntainen lataus on mahdollista niin tasa- kuin vaihtovirtalatauksessakin. Tasavirtalatauksessa kaksisuuntaisen elektroniikan sijoittaminen on yksinkertaisempaa, sillä laite sijaitsee omana yksikkönään auton ulkopuolella. Vaihtovirtalatauksessa taas autossa tulee olla AC-DC ja DC-AC muunnoksiin kykenevä tehoelektroniikka nykyisen AC-DC muuntimen sijaan. Elektroniikan lisääminen tarkoittaa autolle lisää painoa ja lisätilan varausta latauslaitteistolle ja autovalmistajalle lisää kustannuksia. Toistaiseksi kaksisuuntaista energiansiirtoa tukevat lähinnä vain tasavirtalatauspisteet. [14]

Viestintää tapahtuu myös lataustapahtuman ulkopuolella. Sähkötakseille on kokeiltu latausasemien ja taksien väliseen viestintään perustuvaa järjestelmää, jossa sovellus ehdottaa autolle nopeimman latauspalvelun tarjoavaa latausasemaa. Sovellus laskee ehdotuksen muun muassa taksin sijainnin, sen mahdollisesti vastaanottaman kyydin ja latausaseman nykyisen asiakasmäärän sekä aiemmin toteutuneen historian perusteella. Myös latauksen hinta voidaan ottaa huomioon sopivinta latauspaikkaa valitessa. Taksien on tärkeää saada auto nopeasti uudelleen ajoon ja autoa voi olla tarpeen ladata useampaan kertaan päivän aikana. Tulevaisuudessa takseilla kokeiltua järjestelmää voi olla mahdollista laajentaa yksityisautoihin, jolloin palvelua käyttävät saisivat tiedon, missä auton voi ladata nopeimmin ja halvimmalla. [58]

8. YHTEENVETO

Sähköautoilun yleistymisen puolesta puhuvat muun muassa suurten kaupunkien heikentyneen ilmanlaadun parantaminen, öljyriippuvuuden vähentäminen ja ilmaston muutosta kiihdyttävien kasvihuonekaasupäästöjen pienentäminen. Oleellista on, että sähkömoottori ei aiheuta lainkaan päästöjä toisin kuin polttomoottori ja sähköä on tunnetusti mahdollista tuottaa uusiutuvista energialähteistä. Sähköautojen yleistymisen myötä ne tarvitsevat lisää latauspaikkoja. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on käsitellä sähköauton latausjärjestelmien toteutusmahdollisuuksia teknisestä näkökulmasta.

Sähköautojen yleisin lataustapa on vaihtovirtalataus. Kiinteistöissä lataustavan 3 mukainen erillinen latauslaite on suositeltu lataustapa. Lataustavan 3 latauslaitteet ovat moninkertaisesti edullisempia hankkia kuin lataustavan 4 pikalatauslaitteet ja pikalataus vaatii sähköverkolta suurta kapasiteettia. Siksi taloyhtiöihin sopii paremmin lataustavalla 3 tapahtuva AC-lataus. Erillisiin latauslaitteisiin on esimerkiksi mahdollista yhdistää käyttäjän tunnistus, jolloin latauspisteen käyttäjiä laskutetaan energiankulutuksen mukaan. Latauspisteen käyttäjät voivat tunnistautua esimerkiksi tunnusluvulla tai erillisellä kortilla.

Kun latauslaitteiden hankinta aloitetaan taloyhtiössä, alussa on tärkeää selvittää kiinteistön olemassa olevan sähköjärjestelmän kapasiteetti eli se, soveltuuko järjestelmä sellaisenaan käytettäväksi sähköautojen lataukseen. Jos kiinteistön sähköjärjestelmä ei kuormanhallinnasta huolimatta sovellu sellaisenaan autojen lataukseen, voidaan sähköliittymän koon kasvattamisesta sopia verkkoyhtiön kanssa. Sähköliittymän kasvattaminen voi kasvattaa kustannuksia huomattavasti. Tällä hetkellä valtio tukee latauslaitteiden asennuksia kiinteistöihin, joten ennen projektin aloittamista kannattaa selvittää, minkälaisiin kustannuksiin tukea voi saada. Latauslaitteiden hankinta kiinteistöön voidaan jakaa karkeasti viiteen osaan; tarveselvitykseen, hankesuunnitteluun, suunnitteluun, asennukseen ja käyttöönottoon. Taloyhtiön yhtiökokous tekee päätöksen latauslaitteiden hankinnasta. Huomionarvoista on, että taloyhtiön ei välttämättä tarvitse hankkia omia latauslaitteita, vaan autojen lataus voidaan esimerkiksi ulkoistaa jollekin yritykselle.

Kotitalouksissa voidaan erillisen latauslaitteen sijaan ladata myös sähköauton mukana tulevalla lataustavan 2 latausjohdolla, joka kytketään kotipistorasiaan. Kotilatauksessa tulee latausvirta asettaa noin 8 A tasolle ja tarkastaa, että pistorasia on hyväkuntoinen

eikä pistotulppa kuumene latauksen aikana. Teollisuuspistorasia tai erikseen asennettava latauslaite mahdollistavat latauksen suuremmalla virralla, jolloin akku latautuu täyteen nopeammin kuin kotipistorasiasta.

Pikalatauslaitteita nähdään paikoin julkisilla latausasemilla. Pikalatausasemat ovat tällä hetkellä yleisesti latausteholtaan noin 50 kW. Etelä-Suomessa on jo muutama yli 300 kW lataustehoon pystyvä asema ja tulevaisuudessa lataustehot tulevat entisestään kasvamaan akkuteknologian kehittyessä. Akun lataamisen sijaan voidaan harkita koko akkupaketin vaihtamista toiseen täysinäiseen pakettiin. Akunvaihtoasemat kilpailevat suoraan pikalatausta vastaan, koska molemmista kuljettaja voi ajaa pois lyhyen ajan kuluttua akku täynnä.

Langallisten lataustapojen lisäksi vaihtoehtona ovat langattoman latauksen muodot. Langattomasti on mahdollista ladata autoa niin sen paikallaan ollessa kuin liikkeessakin. Sähköauton langaton lataus perustuu tavallisesti samaan tekniikkaan kuin hammarjoissa ja puhelimissa eli sähkömagneettiseen induktioon. Toistaiseksi langattomia latauslaitteita on vasta kokeiltu julkisen liikenteen käytössä maailmalla.

Sähköautojen viestinnässä on kaksi tasoa; perustaso ja korkeataso. Perustason viestintä sisältää vain välttämättömät esimerkiksi lataustapahtuman turvallisuuteen liittyvät ominaisuudet. Korkean tason viestinnällä voidaan lisätä muita hyödyllisiä toimintoja, kuten lataajan tunnistaminen ja laskutus. Tulevaisuudessa sähköautojen viestintä tulee nykyistä tärkeämmäksi, jos latausta halutaan etäohjata ja autoja käyttää sähköverkon energiavarastoina. Nykyiset latauspistokytkimet mahdollistavat kaksisuuntaisen energiansiirron, mutta sitä ei ole toistaiseksi hyödynnetty.

LÄHTEET

- [1] Ilmatieteen laitos ja Suomen ympäristökeskus, Ilmasto-opas, 13.6.2018, verkkosivu, Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/> (viitattu 22.3.2019)
- [2] Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut[verkkojulkaisu] Kokonaispäästöjen kehitys sektoreittain, Helsinki:Tilastokeskus, 2017, ISSN=1797-6049, verkkosivu, Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-12-11_kat_001_fi.html (viitattu 22.3.2019)
- [3] SFS-EN 61851-1, ELECTRIC VEHICLE CONDUCTIVE CHARGING SYSTEM - PART 1: GENERAL REQUIREMENTS, Suomen standardoimisliitto, Helsinki, 2011, s. 10.
- [4] Fuller T. F., Harb J. N., Electrochemical engineering, New Jersey, USA, John Wiley & Sons, Inc, 2018, s. 282–293: ISBN 9781119446583.
- [5] Vattenfall, Kodin sähkönkulutus, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/> (viitattu 17.4.2019)
- [6] US department of energy, Where the Energy Goes: Gasoline Vehicles, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml> (viitattu 8.3.2019)
- [7] US department of energy, Where the Energy Goes: Electric Cars, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml> (viitattu 8.3.2019)
- [8] Helsingin Sanomat, Saksa sallii dieselautojen kiellot Düsseldorfissa ja Stuttgartissa – ajokiellot voivat koskea miljoonia autoilijoita, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.hs.fi/ulkomaat/art-2000005584045.html> (viitattu 25.5.2019)
- [9] Mtv uutiset, Kuva: Tesla Supercharger latausasemalla Paimiossa, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/teslalla-sahattiin-yli-320-000-kilometria-vuodessa-mita-kaikkea-tapahtui/6097868#gs.7bgvo5> (viitattu 25.5.2019)
- [10] Pistoia, C., Lithium-Ion batteries advances and applications; Part 10. EVs and HEVs using Lithium-Ion batteries, Oxford, United Kingdom: Elsevier, 2014, s. 207–210.
- [11] Vanek F., Albright L., Angenent L., Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation, Third Edition, New York, McGraw-Hill Education, 2016, s. Chapter 15-4.2 Hybrid Vehicles; ISBN: 9781259585098.
- [12] Rashid, M. H., Power electronics handbook fourth edition, Elsevier, 2018, s. 1118–1129, ISBN: 978-0-12-811407-0.
- [13] Linden D., Reddy T. B., Linden's Handbook of Batteries, Fourth Edition, New York: USA, McGraw-Hill Education, 2011, ISBN: 9780071624213.

- [14] Rautiainen A., Vuorilehto K., Supponen A., Rekola J., Mäkinen J., Electrical Energy Storages and Electric Vehicles; Luentomoniste, 2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://moodle2.tut.fi/pluginfile.php/560898/course/section/98270/DEEE-54206%20Lecture%20notes.pdf?time=1543656178846> (viitattu 20.3.2019)
- [15] Fleetkarma, Kuva: Nissan Leafin akkupaketti, 15.3.2017. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.fleetcarma.com/todays-electric-car-batteries/> (viitattu 25.4.2019)
- [16] Sesko, Sähköautojen latausjärjestelmiä koskeva standardointi, 8.1.2019. verkkosivu, Saatavissa: https://www.sesko.fi/files/1051/Sahkoautojen_latausjarjestelmat_perusesitys_2018_dec.pdf (viitattu 17.4.2019)
- [17] Alex Oagana, Autoevolution, Sähköauton akkuteknologioiden vertailua, 27.12.2017. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.autoevolution.com/news/hybrids-plug-ins-and-electric-cars-what-batteries-are-best-104634.html> (viitattu 20.3.2019)
- [18] Greencycle, Erilaiset akkutyytit, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.greencycle.fi/page/23/erilaiset-akkutyytit> (viitattu 20.3.2019)
- [19] Sabatini S., Corno M., IEEE, European Control Conference (ECC), tekijä: Battery aging management for Fully Electric Vehicles, Limassol, Kypros, 2018, ISBN: 978-3-9524-2698-2.
- [20] Green car reports, Sähköauton akkujen takuiden vertailu, 2016. verkkosivu, Saatavissa: https://www.greencarreports.com/news/1107864_electric-car-battery-warranties-compared (viitattu 21.3.2019)
- [21] Ensto group, AC or DC? Which EV charging should you choose and does it differ from country to country?, 27. 2. 2019. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.ensto.com/company/newsroom/blogs/ac-or-dc-which-ev-charging-should-you-choose-and-does-it-differ-from-country-to-country/> (viitattu 27. 2. 2019)
- [22] Sesko, Sähköajoneuvojen lataussuositus, 8.3.2018. verkkosivu, Saatavissa: https://www.sesko.fi/files/889/Lataussuositus_2018_2018-03-08.pdf (viitattu 14.3.2019)
- [23] Mouli G., Katein J., Bauer P., Zeman M., Implementation of dynamic charging and V2G using Chademo and CCS/Combo DC charging standard, tekijä: IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), USA: Dearborn, 2016; ISBN: 978-1-5090-0403-4.
- [24] Phoenix contact, Tuoteluettelo - lataustekniikkasetit - Set-EV-SET-T2AC-ADV-RCM2-32ASE12 -1628082, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1628082&library=fifi&pcck=P-29-01-01&tab=1&selectedCategory=ALL#setitems> (viitattu 16.4.2019)
- [25] Electrek, Porchen 400 kW prototyyppi, 3.12.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://electrek.co/2018/12/13/porsche-electric-car-prototype-record-400-kw-charge-rate/> (viitattu 7.3.2019)

- [26] The Verge, Tesla launches faster third generation Supercharger, 6.3.2019. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.theverge.com/2019/3/6/18253618/tesla-supercharger-250kw-v3-specs-location> (viitattu 16.4.2019)
- [27] Fortum, Suomen ensimmäinen suurteholatauspiste, 1.11.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2018/11/suomen-ensimmainen-sahkoautojen-suurteholatauspiste-avattiin-helsinki-turku-moottoritien-varrelle> (viitattu 7.3.2019)
- [28] Bryden, T. S. et al., Electric vehicle fast charging station usage and power requirements, Elsevier, 28.3.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0360544218305589> (viitattu 7.3.2019)
- [29] Donaldson L., Making fast-charging electric vehicles a possibility, 3/2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S1369702118300579> (viitattu 7.3.2019)
- [30] EU direktiivi 2014/94/EU, 22.10.2014. verkkosivu, Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094> (viitattu 29.3.2019)
- [31] Mennekes, Kuva tyypin 2 latauspistokkeesta, 30.1.2012. verkkosivu, Saatavissa: [http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&L=2&tx_ttnews\[tt_news\]=929&cHash=46a00bad7f0d569c00bea9537556bbeb](http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&L=2&tx_ttnews[tt_news]=929&cHash=46a00bad7f0d569c00bea9537556bbeb) (viitattu 29.3.2019)
- [32] Plugit, Types of charging plugs for electric vehicles, verkkosivu, Saatavissa: <https://plugit.fi/en-gb/article/etusivu/types-of-charging-plugs-for-electric-vehicles/135/> (viitattu 29.3.2019)
- [33] Phoenix contact, Latauspistokejärjestelmät, verkkosivu, Saatavissa: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/fifi/web/main/products/subcategory_pages/Charging_systems_P-29-03/df8e2122-37ca-4529-8a17-ed17e8eba258 (viitattu 17.4.2019)
- [34] Charge.net, Kuvat CHAdeMO ja CCS 2 auton puolen liittimistä, verkkosivu, Saatavissa: <https://charge.net.nz/faq/what-cars-are-compatible-2/> (viitattu 1.4.2019)
- [35] Verkkokauppa.com, Schuko pistoke uros (kuva), verkkosivu, Saatavissa: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/15823/hftg/Fuj-tech-kannettavan-tietokoneen-3-pinninen-virtakaapeli-1-0> (viitattu 31.3.2019)
- [36] Bauhaus, Kuva Schuko pistokeesta, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.bauhaus.fi/uppopistorasia-jussi-1-os.html> (viitattu 29.3.2019)
- [37] Biltema, Kuvat teollisuusliittimestä, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.biltema.fi/rakentaminen/sahkoasennustarvikkeet/cee-tarvikkeet/liitantarasia-3-vaihe-2000018411> (viitattu 31.3.2019)
- [38] Sun L., Ma D., Tang H., A review of recent trends in wireless power transfer technology and its applications in electric vehicle wireless charging, Elsevier, 8.4.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S1364032118302247> (viitattu 3.4.2019)

- [39] Panchal C., Stegen S., Lu J., Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system, 27.6.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S221509861830154X> (viitattu 5.4.2019)
- [40] BMW, 530e iPerformance hybridin tekniset tiedot, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.bmwusa.com/vehicles/5-series/sedan/530e-iperformance/specifications.html> (viitattu 5.4.2019)
- [41] Sytner group, BMW:n langaton latauslaite tulossa kuluttajille, 1.7.2019. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.sytner.co.uk/news/bmw-wireless-charging/> (viitattu 5.4.2019)
- [42] FORTUM CORPORATION PRESS RELEASE 21 March 2019, Fortum and the City of Oslo are working on the world's first wireless fast-charging infrastructure for taxis, 21.3.2019. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.fortum.com/media/2019/03/fortum-and-city-oslo-are-working-worlds-first-wireless-fast-charging-infrastructure-taxis> (viitattu 23.5.2019)
- [43] ProQuest, Qualcomm demonstrates driving while charging, 15.6.2017. verkkosivu, Saatavissa: <https://search-proquest-com.libproxy.tuni.fi/docview/1910409575?pq-origsite=summon> (viitattu 8.4.2019)
- [44] Su C. & Chun R., 6th International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA) 2015: Recent progress in developments of on-line electric vehicles, 4.2.2016; China: Hong Kong; ISBN: 978-1-5090-0063-0. verkkosivu, Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/7398964> (viitattu 24.5.2019)
- [45] S. Jeong, D. Kum, Y. Jang, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 30, NO. 11: Economic Analysis of the Dynamic Charging Electric Vehicle, 11.10.2015. verkkosivu, Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/276136726_Economic_Analysis_of_the_Dynamic_Charging_Electric_Vehicle (viitattu 24.5.2019)
- [46] Farzin H., Moeini-Aghtaie M., Fotuhi-Firuzabad M., Reliability studies of distribution systems integrated with electric vehicles under battery-exchange mode, 12.11.2015. verkkosivu, Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/7328299> (viitattu 8.4.2019)
- [47] Digital trends, VW says battery-swapping stations are a pipe dream, not an imminent reality, 13.4.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.digitaltrends.com/cars/volkswagen-no-battery-swapping-technology-us/> (viitattu 10.4.2019)
- [48] Green car reports, Better Place Video Showing EV Battery-Pack Quick Swap: We're Not Convinced, 12.5.2009. verkkosivu, Saatavissa: https://www.greencarreports.com/news/1020699_better-place-video-showing-ev-battery-pack-quick-swap-were-not-convinced (viitattu 12.4.2019)

- [49] Business insider, Tesla's battery-swapping plan has a mere shadow of the promise it once showed, 27.6.2015. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.businessinsider.com/teslas-battery-swapping-plan-isnt-working-out-2015-6?r=US&IR=T&IR=T> (viitattu 10.4.2019)
- [50] Motiva, Latauspisteopas, 5.11.2018. verkkosivu, Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/15446/Kiinteistojen_latauspisteet_kuntoon_paivitetty_05.11.2018.pdf (viitattu 29.3.2019)
- [51] VTT, Miksi sähköautoa ei kannata ladata kotona 15 sekunnissa?, 30.8.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://vttblog.com/2018/08/30/miksi-sahkoautoa-ei-kannata-ladata-kotona-15-sekunnissa/> (viitattu 27.3.2019)
- [52] Ensto group, Suunnittelijan opas, verkkosivu, Saatavissa: <https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/opaat/suunnittelijan-opas/> (viitattu 14.3.2019)
- [53] Ensto group, Webinaari, 14.3.2019. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/webinaarit/>
- [54] Tekniikka ja talous, Sähköauton latauspisteprojekti voi tulla kalliiksi - hintaa tulee äkkiä auton verran , 4.9.2018. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/autot/sahkoauton-latauspisteprojekti-voitulla-kalliiksi-hintaa-tulee-akkia-auton-verran-6739186> (viitattu 27.3.2019)
- [55] Ensto group, Webinaari, 11.4.2019. verkkosivu, Saatavissa: <https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/webinaarit/>
- [56] SFS-EN ISO 15118-1, Road vehicles. Vehicle to grid communication interface. Part 1: General information and use-case definition, Suomen standardoimisliitto, Helsinki, 2015. verkkosivu, Saatavissa: <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/388359.html.stx> (viitattu 23.4.2019)
- [57] Nour M., Said S., Ali A., Farkas C., Smart Charging of Electric Vehicles According to Electricity Price; 2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE), 21.2.2019. verkkosivu, Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee.org.libproxy.tuni.fi/document/8646425/authors#authors> (viitattu 25.4.2019)
- [58] Tian Z. et al., Real-Time Charging Station Recommendation System for Electric-Vehicle Taxicabs; IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14.4.2016. verkkosivu, Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/document/7452655> (viitattu 23.4.2019, ISSN: 1558-0016)