

LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Technology

Degree Program in Electrical Engineering

Aarni Falkman

**KUORMANHALLINNAN TOTEUTUS SÄHKÖAUTOJEN
ÄLYKKÄISSÄ LATAUSJÄRJESTELMISSÄ**

Tarkastajat: Professori Pertti Silventoinen

Tutkijaopettaja Jukka Lassila

Ohjaaja: Professori Pertti Silventoinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Aarni Falkman

Kuormanhallinnan toteutus sähköautojen älykkäissä latausjärjestelmissä

Diplomityö

2018

99 sivua, 25 kuvaa, 1 liite

Tarkastajat: Professori Pertti Silventoinen

Tutkijaopettaja Jukka Lassila

Ohjaaja: Professori Pertti Silventoinen

Hakusanat: Sähköauton lataus, älykäs lataus, dynaaminen kuormanhallinta, OCPP, V2G, induktiolataus, taustajärjestelmä, latausstrategia, latausjärjestelmä, latausarkkitehtuuri

Sähköautojen määrä on kasvanut viime vuosien aikana nopeasti. Sähköautojen latausjärjestelmät saattavat aiheuttaa merkittävää kuormitusta kiinteistöjen sähköjakelussa latauspisteiden määrästä ja tehosta riippuen. Sähköautojen latausjärjestelmien kuormanhallinnan ratkaisuilla voidaan parantaa latausjärjestelmien käytettävyyttä ja turvata lataustoimintojen jatkuvuus sähköjakelun kapasiteetti huomioiden. Tämän työn tarkoituksena oli tutkia sähköautojen latausjärjestelmien mahdollisia kuormanhallinnan toteutusvaihtoehtoja ja arvioida niiden tuomia hyötyjä sekä soveltuvuutta erilaisissa latauskohteissa. Työ toteutettiin kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuksessa tarkasteltiin Schneider Electricin latausasemien ja niihin liittyvien tuotteiden soveltuvuutta erilaisten latausjärjestelmäarkkitehtuurien ja kuormanhallinnan toteutusvaihtoehtojen osalta. Työssä selvennettiin miten latausjärjestelmän arkkitehtuuri ja latauslaitteiden ominaisuudet vaikuttavat kuormanhallinnan toteutusmahdollisuuksiin. Työn tuloksena on esitetty erilaisissa latauskohteissa merkittävimmät kuormanhallintaan vaikuttavat vaatimukset ja rajoitteet. Tutkimuksessa kävi ilmi, että latausjärjestelmän kuormanhallinnalla voidaan saavuttaa moninaisia hyötyjä, jotka ovat riippuvaisia latauskohteesta ja niiden käyttäjien lataustarpeista.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
School of Energy Systems
Degree Program in Electrical Engineering

Aarni Falkman

Energy Management in Smart Charging Systems for Electric Vehicles

Master Thesis

2018

99 pages, 25 figures, 1 appendix

Examiners: Professor Pertti Silventoinen
Postdoctoral Researcher Jukka Lassila

Supervisor: Professor Pertti Silventoinen

Keywords: EV charging, smart charging, dynamic load control, OCPP, V2G, wireless charging, back-end system, charging strategy, charging system, charging architecture

The number of electric vehicles has increased rapidly in recent years. Electric vehicle charging systems may cause significant load for electric power distribution in buildings depending on the number of charging points and power. Electric vehicles charging system usability and continuity of operations can be improve by using load management solutions in electric vehicles charging systems. The purpose of this study was to research possible load management options for electric vehicle charging systems and evaluate their benefits and suitability in different charging places. The research was carried out as a literature review. The study examined the suitability of Schneider Electric charging stations and related products for different charging system architectures and load management options. The thesis clarified how the load system architecture and the features of charging devices affect load management implementation possibilities. As a result of this research, the most important requirements and constraints affecting load management in various charging places are presented. The study showed that load management of the charging system can provide a variety of benefits that depend on the charging object and users' needs for charging.

ALKUSANAT

Haluan kiittää työnantajaani Schneider Electriciä tästä diplomityömahdollisuudesta. Vaikka diplomityön sovittaminen muiden työtehtävien oheen on ollut haastavaa, on työn tekeminen ollut antoisaa ja opettavaista.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni sekä opiskelukavereita saamastani tuesta ja kannustuksesta diplomityön ja opiskeluvuosien aikana.

Espoossa 30.7.2018

Aarni Falkman

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	10
1.1	TYÖN TAUSTA.....	10
1.2	SCHNEIDER ELECTRIC YRITYKSENÄ.....	10
1.3	TYÖN TAVOITE JA RAJAUS.....	11
1.4	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	13
1.5	TYÖN RAKENNE.....	14
2	SÄHKÖAUTOJEN LATAUKSEN JAOTTELU.....	16
2.1	LATAUSTAVAT.....	16
2.1.1	<i>Hidas/tilapäinen lataus.....</i>	<i>17</i>
2.1.2	<i>Peruslataus.....</i>	<i>18</i>
2.1.3	<i>Pikalataus.....</i>	<i>19</i>
2.1.4	<i>Induktiolataus.....</i>	<i>21</i>
2.1.5	<i>Kaksisuuntainen lataus.....</i>	<i>22</i>
2.2	LATAUSKOHTEET.....	23
2.2.1	<i>Julkiset latauskohteet.....</i>	<i>24</i>
2.2.2	<i>Puolijulkiset latauskohteet.....</i>	<i>26</i>
2.2.3	<i>Yksityiset latauskohteet.....</i>	<i>27</i>
3	SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄ.....	29
3.1	LATAUSJÄRJESTELMÄN OSAKOKONAISUUDET.....	29
3.1.1	<i>Sähköauton sisäiset latauskomponentit.....</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Latausasemat.....</i>	<i>32</i>
3.1.3	<i>Latausasemien etukojeet ja oheislaitteet.....</i>	<i>35</i>
3.1.4	<i>Latausasemien hallintajärjestelmät.....</i>	<i>37</i>
3.1.5	<i>Latauksen hallinnan taustajärjestelmät ja -toimijat.....</i>	<i>39</i>

3.2	LATAUSJÄRJESTELMÄN RAKENNE.....	41
3.2.1	<i>Itsenäinen latausjärjestelmä.....</i>	42
3.2.2	<i>Latausoperaattorin taustajärjestelmään liitetty latausjärjestelmä.....</i>	44
3.2.3	<i>Kiinteistöautomaatioon liitetty latausjärjestelmä.....</i>	45
3.3	LATAUKSEN TIEDONSIIRTO JA KOMMUNIKOINTI	45
3.3.1	<i>Käyttäjän tunnistus</i>	47
3.3.2	<i>Latauksen ohjaussignaali sähköauton ja latauspisteen välillä.....</i>	48
3.3.3	<i>Tiedonsiirto latausjärjestelmän ja taustajärjestelmän välillä.....</i>	50
3.3.4	<i>Latausasemien ja kiinteistönhallintajärjestelmän välinen tiedonsiirto.....</i>	52
3.3.5	<i>Roaming-palvelun tiedonsiirto Clearing House ja latauspalveluntarjoajien välillä</i>	53
3.3.6	<i>Jakeluverkko-yhtiön ja latausjärjestelmän välinen tiedonsiirto</i>	55
3.4	MITTAUS.....	55
3.4.1	<i>Mittaukseen vaikuttavat vaatimukset</i>	56
3.4.2	<i>Mittauksen toteutus</i>	56
3.4.3	<i>Mitattuun energiaan perustuva latauksen laskutus</i>	59
4	LATAUKSEN KUORMANHALLINTA	61
4.1	LATAUKSEN KUORMANHALLINNAN ULKOISET AJURIT	61
4.1.1	<i>Sähköauton käyttäjien lataustarpeet.....</i>	62
4.1.2	<i>Latauskohteen sähköjakelun kapasiteetti.....</i>	64
4.1.3	<i>Sähköjakeluverkon tila.....</i>	65
4.1.4	<i>Yhteiskunnalliset vaikutukset</i>	65
4.2	LATAUKSEEN KÄYTETTÄVÄT LATAUSSTRATEGIAT	67
4.2.1	<i>Nopea ja välitön lataus</i>	67
4.2.2	<i>Lataus halvimman hinnan mukaan</i>	68
4.2.3	<i>Optimoitu latausratkaisu</i>	69
4.3	LATAUKSEN KUORMANHALLINNAN TOTEUTUSMALLIT	71
4.3.1	<i>Staattinen latausjärjestelmän kuormanhallinta.....</i>	71
4.3.2	<i>Dynaaminen latausjärjestelmän kuormanhallinta.....</i>	73
5	KUORMANHALLINNAN TOTEUTUS LATAUSKOHEITTAIN.....	75

5.1	LATAUKSEN KUORMANHALLINTA YKSITYISISSÄ ASUINKIINTEISTÖISSÄ.....	75
5.2	LATAUKSEN KUORMANHALLINTA TALOYHTIÖIDEN HALLINNOIMISSA KOHTEISSA	78
5.3	LATAUKSEN KUORMANHALLINTA JULKISISSA KOHTEISSA	80
5.4	LATAUKSEN KUORMANHALLINTA YRITYSTEN LATAUSPISTEILLÄ	81
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	83
	LÄHTEET.....	90
 LIITTEET		
	Liite 1: Latausjärjestelmän toteutuksen suunnittelukaavio	

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

Merkinnät

$E_{häviöt}$	latauksen energiahäviöt
$E_{Lataustapahtuma}$	lataustapahtuman latausenergia
P	latausteho
Q_n	akuston nimelliskapasiteetti
SOC_{alku}	akuston varaustaso lataustapahtuman alussa
$SOC_{tavoite}$	tavoitteellinen akuston varaustaso
T	latausaika
t_0	latauksen aloitusaika

Lyhenteet

BEV	Battery Electric Vehicle, täyssähköauto
BRP	Balance Response Party, sähköverkon tasapainoa säätelevä taho
CCS	Combined Charging System, yhdistetty pikalatausliitäntä
CP	Control Pilot, peruslatauksen ohjaussignaali latausaseman ja sähköauton välillä
CPO	Charge Point Operator, latausoperaattori
CSP	Charging System Provider, latauspalveluntarjoaja
DSO	Distribution System Operator, jakeluverkkoyhtiö
eMIP	eMobility Inter-Operation Protocol, tiedonsiirto latauksen roaming-palveluihin
eMSP	eMobility Service Provider, sähköisen liikkuvuuden palveluntarjoaja
EV	Electric Vehicle, sähköauto
EVSE	Electrical Vehicle Supply Equipment, sähköauton latausasema
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, hypertekstin siirtoprotokolla tiedonsiirtoon
JSON	JavaScript Object Notation, avoimen standardin tiedostomuoto tiedonsiirtoon
LAN	Local Area Network, lähiverkko

OCA	Open Charge Alliance, sähköauton lataukseen avoimia tiedonsiirtoprotokollia kehittävä konsortio
OCHP	Open Clearing House Protocol, avoin tiedonsiirtoprotokolla latauksen roaming-palveluihin
OCPI	Open Charge Point Interface, avoin tiedonsiirtoprotokolla latausoperaattorin ja latauspalveluntarjoajan välillä
OCPP	Open Charge Point Protocol, avoin latauspisteen tiedonsiirtoprotokolla
OEM	Original Equipment Manufacturer, alkuperäinen laitevalmistaja
OICP	Open InterCharge Protocol, avoin roaming-tiedonsiirtoprotokolla
OpenADR	Open Automated Demand Response, avoin tiedonsiirtoprotokolla jakeluverkkoyhtiön ja latausjärjestelmän välillä
OSCP	Open Smart Charging Protocol, avoin älykkään latauksen protokolla jakeluverkkoyhtiön ja latausoperaattorin tai latauspalveluntarjoajan välillä
PEV	Plug-in Electric Vehicle, ladattava sähköauto tai akkusähköauto
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle, ladattava pistokehybridi
PnC	Plug & Charge, liitä ja lataa tyyppinen välitön tunnistautuminen
PP	Proximity Pilot, lataussignaali latausaseman ja sähköauton välillä
PWM	Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
SOAP	Simple Object Access Protocol, tietoliikenneprotokolla proseduurien etäkutsulle
SOC	State of Charge, akun varaustaso
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol, yhdistetty TCP ja IP protokolla
TLS	Transport Layer Security, salausprotokolla tietoliikenteelle IP-verkkojen yli
TSO	Transmission System Operator, sähkön siirrosta vastaava taho
V2B	Vehicle to Building, lataus autosta kiinteistöön
V2G	Vehicle to Grid, lataus autosta verkkoon
V2X	Vehicle to Everything, lataus autosta johonkin kohteeseen
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Sähköautojen määrä on kasvanut viime vuosien aikana nopeasti globaalilla tasolla. Myös Suomessa sähköautokanta on lisääntynyt vauhdilla. Sähköautoilun kasvua ovat kiihdyttäneet autovalmistajien miljardiluokan investoinnit sähköautoihin ja eri tahojen asettamat päästötavoitteet erityisesti liikenteen sektorille. Suomessa valtio on asettanut sähköautokannan tavoitteeksi 20000 sähköautoa vuoteen 2020 mennessä ja 250000 sähköautoa vuoteen 2030 mennessä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017, s. 3). Tavoitteiden asettamisella vastataan EU:n asettamiin päästötavoitteisiin. Nopeasti kasvava sähköautokanta luo paineita lisätä latauspisteiden määrää kaikentyyppisissä latauskohteissa. Lisäksi EU on uudistamassa rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä, jossa tullaan vaatimaan latauspistevalmiuksia tai vähimmäislatauspisteiden määrää kaikentyyppisiin uusiin ja laajasti korjattaviin kiinteistöihin tietyin reunaehdoin (Valtioneuvosto 2018). Latauspistehankkeita pyritään vauhdittamaan erilaisin tukimenettelyin. Julkisiin latauspisteisiin voi saada hankintatukea sillä ehdolla, että latausjärjestelmä on älykäs eli se on varustettu tietoliikenneyhteydellä latausaseman ja auton sekä latausaseman ja latauspalveluntuottajan välillä ohjauksen, mittauksen ja latausvirtojen säätämiseksi lataustapahtumien aikana (Era 2017). Julkisten latauspisteiden lisäksi latausasemia tarvitaan koteihin ja työpaikoille, joissa tapahtuu yli 90 % lataussuoritteista (Motiva 2016).

Latausjärjestelmien määrien ja kokojen kasvu synnyttää tarpeen seurata ja hallinnoida lataussuoritteita, kun järjestelmien sähkötekniset mitoituskoost kasvavat. Sähköautojen latausjärjestelmien kuormanhallinnan ratkaisuilla voidaan parantaa latausjärjestelmien käytettävyyttä ja turvata lataustoimintojen jatkuvuus latauskohteiden sähköjakelun kapasiteetti ja käyttöaste huomioiden. Sähköautoja ladataan hyvin erilaisissa latauskohteissa, jolloin kuormanhallintaratkaisuiden tulee skaalautua latauskohteiden tarpeiden mukaan.

1.2 Schneider Electric yrityksenä

Schneider Electric on ranskalainen globaali yritys, joka on liiketoiminnassaan keskittynyt energianhallintaan ja automaatioon. Schneider Electricillä on liiketoimintaa yli 100 maassa

ja yhtiö työllistää 160000 työntekijää. Vuonna 2015 Schneider Electricin liikevaihto oli noin 27 miljardia euroa. Suomessa Schneider Electricillä on toimipisteitä 20:llä paikkakunnalla. Schneider Electric konserni on johtava toimija energia- ja infrastruktuurimarkkinoilla, teollisissa prosesseissa, rakennusautomaatiossa sekä tietoliikennekeskuksissa ja -verkoissa. Lisäksi laajaa osaamista löytyy myös asuinkiinteistösovelluksissa. (Schneider Electric Lehdistölle 2017)

Sähköauton latausmarkkinoilla Schneider Electric on tehnyt jatkuvaa kehitystyötä keskittyen erityisesti latausasemien, ja niiden tarvikkeiden sekä varaosien valmistukseen ja toimittamiseen. Schneider Electricin latausasemia on asennettu globaalisti vuoteen 2017 mennessä noin 56000 kappaletta (Schneider Electric EVlink 2017, s. 5). Sähköautojen lataus Schneider Electricin liiketoiminnassa on kasvanut viime vuosien aikana ja sähköautojen lataukseen liittyvää liiketoimintaa on tarkoitus kasvattaa myös jatkossa.

1.3 Työn tavoite ja rajaus

Sähköautojen latausjärjestelmät saattavat aiheuttaa merkittävää kuormitusta kiinteistöjen sähköjakelussa latauspisteiden määrästä ja tehosta riippuen. Latauksen kuormanhallinnalla halutaan parantaa sähkön kysyntäjoustoa latausjärjestelmillä varustetuissa kiinteistöissä, jolloin voidaan saavuttaa kustannushyötyjä kiinteistön sähköjärjestelmän ja yksittäisten lataussuoritteiden osalta. Tämän työn tarkoituksena on syventyä latauksen kuormanhallinnan mahdollistavien latausjärjestelmien toteutusrakenteisiin, ja löytää käyttökelpoisia kuormanhallinnan toteutusvaihtoehtoja erityyppisissä latauskohteissa. Lisäksi tässä tutkimuksessa arvioidaan latausjärjestelmien kuormanhallinnan tuomia hyötyjä, jotta voitaisiin löytää kustannustehokkaita ja toimivia sähköautojen latausratkaisuja latausjärjestelmien suunnittelijoille ja niihin investoiville osapuolille. Tutkimuksessa tarkastellaan Schneider Electricin latausasemien ja niihin liittyvien tuotteiden soveltuvuutta erilaisiin latauksen kuormanhallinnan toteutustapoihin.

Tutkimuksessa otetaan myös kantaa laajemman latausarkkitehtuurin rakenteeseen ja tiedonsiirtoon. Latausjärjestelmän ulkopuolisten tiedonsiirtomahdollisuuksien tutkimista voidaan pitää työn kannalta tärkeänä, koska älykkäälle latausjärjestelmälle on tarpeellista saada tietoliikenneyhteyden välityksellä ulkopuolisia ohjaussignaaleita, jotka vaikuttavat latausjärjestelmän kuormanhallintaan.

Sähköautojen lataus on tuore tutkimusaihe ja siihen liittyvää tutkimustietoa on rajoitetusti saatavilla. Tämän takia tutkimusaihetta on lähestytty laajemmassa mittakaavassa, jotta lukija kykenisi hahmottamaan kokonaiskuvan sähköautojen latauksesta ja kuormanhallinnan merkityksestä osana latauskokonaisuutta. Sähköautojen lataukseen on käytössä erilaisia vakiintuneita lataustapoja. Schneider Electricin latausasemien valikoima on keskittynyt peruslatauksen eli lataustavan 3 lataussemiin, jonka takia tutkimuksessa latausjärjestelmiä ja latauksen kuormanhallintaa lähestytään kyseisen lataustavan kannalta. Tutkimuksessa on kuitenkin haluttu esitellä kaksisuuntaisen ja johdottaman latauksen mahdollisuus, koska kyseiset lataustavat tulevat todennäköisesti yleistymään tulevaisuudessa.

Tässä tutkimuksessa sähköautojen latauksen kuormanhallinnalla tarkoitetaan latausjärjestelmän energianhallintaa koko järjestelmän ja yksittäisten latauspisteiden osalta. Älykkäällä latausjärjestelmällä puolestaan viitataan tässä tutkimuksessa sähköautojen, latausasemien ja niiden ohjainlaitteen tai ohjainlaitteiden muodostamaan kokonaisuuteen tiedonsiirtopiireineen ja mittauskomponentteineen. Lisäksi latausjärjestelmään voidaan tuoda ulkoisia ohjaussignaaleita tai latausjärjestelmän ohjaus ja hallinta voidaan liittää tietoliikenneyhteydellä osaksi ulkopuolista latauspalveluntuottajan järjestelmää, jolloin latausjärjestelmästä tulee osa suurempaa latausarkkitehtuuria. Tutkimuksessa otetaan kantaa myös latauksen ohjaukseen laajemmasta latausarkkitehtuurin näkökulmasta, ja tarkastellaan erilaisia latausjärjestelmän toteutusrakenteita sekä niiden tuomia mahdollisuuksia ja rajoituksia latauksen kuormanhallintaan. Latauskohteita tarkastellaan ja rajataan tutkimuksessa latausjärjestelmän vaatimusten pohjalta, sillä tämän kaltainen jaottelu mahdollistaa ja helpottaa kuormanhallinnan toteutusratkaisujen suunnittelua ja niiden soveltuvuuden arvioimista erilaisissa latauskohteissa.

Koska erilaiset latauskohteet ja niiltä vaadittavat ominaisuudet poikkeavat paljon toisistaan, tutkimuksessa ei pyritä antamaan tarkkaa yksittäistä ratkaisumallia latausjärjestelmälle ja sen kuormanhallinnan toteutukselle. Kuormanhallinnan kannalta tutkimuksessa tuodaan esille erilaisia näkökulmia, jonka pohjalta latauksen kuormanhallintaa voidaan ohjata ottaen huomioon latausjärjestelmän ja sen tiedonsiirron mukanaan tuomat rajoitteet. Lisäksi työssä tuodaan esille kuormanhallintaan liittyviä mahdollisuuksia, joita voitaisiin teoriatasolla toteuttaa, mutta joita yleiset käytänteet eivät vielä mahdollista.

Tutkimuksessa tiedostetaan, mutta ei tarkemmin syvennyttä latauksen kuormanhallintaan liittyviin haittoihin ja turvallisuusriskeihin, joita saattaa aiheutua esimerkiksi avointen tiedonsiirtoprotokollien käytöstä latausjärjestelmän ja kolmansien osapuolien välillä, tietoliikenneyhteyksien katkoista tai latausjärjestelmään kohdistuvista ulkopuolisista sähkömagneettisista häiriöistä.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Työ on toteutettu kirjallisuustutkimuksena. Työn taustatietona on käytetty erilaisia uutisartikkeleita, selvityksiä, yleisiä havaintoja ja Schneider Electricin sisäistä asiantuntemusta sähköauton lataukseen liittyen. Jotta tutkimuksessa on voitu syventyä tarkemmin sähköauton latauksen kuormanhallintaan, tutkimuksessa on perehdytty ensin saatavilla olevaan aineistoon sähköauton latauksesta yleisellä tasolla. Tutkimuksessa on käytetty lataustapojen ja latauksen tiedonsiirron sekä kommunikoinnin tarkastelussa tutkimusaineistona niihin liittyviä voimassa olevia tai vahvistusasteella olevia IEC ja SFS -standardeja sekä voimassa olevia direktiivejä ja lainsäädäntöä. Työn latauskohdejaottelu on tehty latausstandardeista ilmenneiden vaatimustenmukaisuuksien ja aiheeseen liittyvien aiempien selvitysten mukaisesti. Latausjärjestelmärakenteiden tarkastelussa osakokonaisuuksien, tiedonsiirron ja mittauksen lähdeaineistona on käytetty niihin liittyviä standardeja, direktiivejä, selvityksiä ja IEEE-artikkeleita. Lisäksi latauksen tiedonsiirrossa on perehdytty tiedonsiirtoprotokollia tarjoavien tahojen yleisesti saatavilla oleviin materiaaleihin.

Tutkimuksen lähdeaineistoksi valikoitujen latauksen kuormanhallintaa käsittelevien artikkelien valinnassa on käytetty aineistoa, joissa on hyödynnetty aiheeseen liittyviä latausstandardeja lähteenä. Kuormanhallinnan malleja ja näkökulmia on pystytty saamaan selville tutkimuksessa aiemmin ilmenneiden tulosten perusteella. Schneider Electricin latauslaitteisiin ja -ratkaisuihin liittyviin materiaaleihin, kuten tuotekatalogeihin ja -manuaaleihin perehtymällä on voitu arvioida Schneider Electricin latauslaitteiden soveltuvuutta erilaisiin kuormanhallinnan toteutusmalleihin. Tutkimuksessa kertyneen tiedon perusteella on tehty päätelmiä kuormanhallinnan eduista ja tarpeellisuudesta erilaisissa latauskohteissa latauskohteen tyypilliset vaatimukset ja rajoitteet huomioiden.

1.5 Työn rakenne

Tutkimuksen alussa Sähköautojen latauksen jaottelu -kappaleessa käydään läpi sähköautojen lataukseen käytettävät lataustavat, jotta lukija ymmärtää millaisilla menetelmillä sähköautoja voidaan ladata, ja minkälaiseen lataukseen erilaiset lataustavat soveltuvat. Tämän jälkeen työssä selvennetään lukijalle erilaisia latauskohteita, jotka on luokiteltu latausjärjestelmän teknisten vaatimusten mukaan. Teknisissä vaatimuksissa on keskitytty kuormanhallinnan toteutuksen ja latausasemien teknisten vaatimusten näkökulmaan.

Sähköautojen latausjärjestelmä -kappaleessa syvennyttään aluksi latausjärjestelmän rakenteeseen perehtymällä ensin latausjärjestelmän erilaisiin osakokonaisuuksiin. Latausjärjestelmän rakenteiden tarkastelussa selvennetään, mistä osakokonaisuuksista erilaiset latausjärjestelmän toteutusvaihtoehdot voivat koostua. Saatujen havaintojen ja päätelmien avulla on tarkoituksena kyetä arvioimaan eri osakokonaisuuksien merkitystä ja vaikutuksia suhteessa muuhun latausjärjestelmään kuormanhallinnan toteutuksen näkökulmasta. Latauksen eri osakokonaisuuksien välinen tiedonsiirto ja kommunikointi ovat edellytyksenä latauksen kuormanhallinnan toteutukselle ja datan välitykselle latauksen erilaisten toimintojen mahdollistamiseksi. Tutkimuksessa käydään läpi erilaisia tiedonsiirtoprotokollia latausjärjestelmään ja latausarkkitehtuuriin liittyen, jotta tiedetään, minkälaista dataa voidaan eri latauksen osakokonaisuuksien välillä siirtää. Osana älykkään latauksen tiedonsiirtoa ja kommunikointia tutkitaan erilaisia käyttäjän tunnistuksen vaihtoehtoja, jotka mahdollistavat tiettyjä lisäominaisuuksia latauksen kuormanhallintaan ja laskuttamiseen liittyen. Kuormanhallinnan perustuessa mitattuun tietoon Sähköautojen latausjärjestelmä -kappaleessa perehdytään myös mittauksen näkökulmaan. Tarkoituksena on havainnoida mittauksen toteutusta ja vaatimuksia erilaiset latausratkaisut huomioiden.

Latauksen kuormanhallinta -kappaleessa tutkitaan erilaisia ulkoisia ajureita, jotka voivat ohjata latauksen kuormanhallintaa ja antaa käskyjä latausjärjestelmälle. Erilaisissa latausstrategioissa tuodaan esille sitä, miten lataus reagoi lataustapahtuman aikaiseen ulkopuoliseen hintasignaaliin tai kiinteistön muuhun sähkökuormaan. Lopuksi esitetään latausjärjestelmän kokonaisohjauksen kannalta kaksi keskeistä kuormanhallinnan toteutusmallia. Latauksen ulkoisten ajureiden, latausstrategioiden ja kuormanhallinnan

toteutusmallien kohdalla pohditaan myös kunkin tekijän vaatimuksia sähköautojen latausjärjestelmän tekniselle toteutukselle.

Työn lopussa kuormanhallinnan toteutusvaihtoehtoja tarkastellaan latauskohteittain arvioimalla tiettyjen kuormanhallintaratkaisujen soveltuvuutta kyseiselle latauskohteelle. Tutkimuksen latauskohteita ja niiden asettamia vaatimuksia sekä rajoituksia tarkastellaan yleisellä tasolla. Arvioidessa latausjärjestelmän ja sen mahdollisen kuormanhallinnan soveltuvuutta eri latauskohteille otetaan huomioon tutkimuksessa aiemmin tulleita näkökulmia, joita ovat mm. tiedonsiirtoyhteydet, mittausratkaisut, latauksen ohjauksen ulkoiset ajurit, latausstrategiat ja kuormanhallinnan toteutusmallit.

2 SÄHKÖAUTOJEN LATAUKSEN JAOTTELU

Tutkimuksessa sähköautolla viitataan täyssähköautoon eli BEV:iin tai ladattavaan hybridiin eli PHEV:iin. Sähköauton lataaminen voidaan toteuttaa latausteknisesti eri tavoin hyödyntäen erilaisia lataustapoja sekä latausteknologioita. Kun käsitellään sähköauton latausta, on hyvä ymmärtää eri latausvaihtoehtojen tekniset eroavaisuudet ja erityispiirteet, jotta voidaan esimerkiksi valita sopiva latausmenetelmä haluttuun latausympäristöön. Sähköautoille tyypillisiä latauskohteita ovat mm. erityyppiset asuinkiinteistöt, liikekiinteistöt, yritysikiinteistöt, parkkihallit, kauppakeskukset, tienvarsien latauspaikat ja huoltoasemat. Voidaan siis todeta, että sähköautojen latausympäristöt voivat vaihdella hyvinkin laajalti. Erilaiset latauskohteet voidaan jaotella julkisiin, puolijulkisiin ja yksityisiin kohteisiin (Salonen 2015, s. 9-10). Tämän kaltaisesta jaottelusta tekee selkeän se, että julkiseen, puolijulkiseen ja yksityiseen lataukseen rinnastetaan kuhunkin tapaukseen omat lataustekniset vaatimukset ja ominaisuudet latausjärjestelmän osalta. Erityisesti julkiselle latauskohteelle on säädetty tarkempia säädöksiä EU:n toimesta. Jos latauskohteet jaoteltaisiin eri tyyppisiin kohteisiin latauskiinteistön mukaan, olisi kohdetta huomattavasti haasteellisempaa lähestyä latausteknisesti. Esimerkiksi parkkihalli voi olla latauskohteena julkinen, puolijulkinen tai yksityinen riippuen siitä, miten itse lataus ja pääsy latauspisteille halutaan kyseisessä kohteessa toteuttaa.

2.1 Lataustavat

Sähköauton lataamiseen on standardisoitu kansainvälisesti neljä erilaista lataustapaa eli moodia. Lataustavan 1 latauksessa liitäntäjohto eli latauskaapeli kytketään suoraan standardisoidulla pistokkeella vaihtosähkösyöttöön ilman erillistä ohjausta. Lataustavassa 2 liitäntäjohtoon on integroitu erillinen latausyksikkö, joka sisältää latauksessa tarvittavat ohjaus- ja suojauslaitteet mukaan lukien vikavirtasuojan. Lataustavassa 3 lataus suoritetaan vaihtosähköverkkoon kiinteästi asennetulla vaihtovirtaa syöttävällä latauslaitteella ohjaussignaalia hyödyntäen. Lataustavassa 4 lataus suoritetaan tasavirtaa syöttävällä latauslaitteella, joka on kytketty vaihto- tai tasavirtaverkkoon. Latauslaite voi lataustavassa 4 olla asennettuna kiinteästi syöttävään verkkoon tai syöttö voidaan toteuttaa myös pistokeliitännän kautta. (IEC 61851-1 2017, s. 29-32)

Kansainvälisen IEC 61851-1 standardin saattaminen eurooppalaiseksi EN-standardiksi on toistaiseksi kesken, mutta käytännössä lataustapa 1 ei tulla sallimaan sähköauton lataamiseen ainakaan Suomessa, jossa lataustapa 1 tullaan suuntaamaan keveille sähköajoneuvoille, kuten esimerkiksi sähköpolkupyörille. Lataustavalle 2 on vakiintunut Suomessa käsite hidas tai tilapäinen lataus. Lataustavalla 3 tarkoitetaan yleensä peruslatausta ja lataustavalla 4 pikalatausta tai tehollatausta.

Edellä mainittujen vakiintuneiden lataustapakäytäntöjen lisäksi sähköautojen lataukseen on standardisoitu tai valmisteilla myös muita lataustekniikkaan liittyviä lataustapoja, joita ovat langaton lataus eli induktiolataus, kaksisuuntainen lataus eli erilaiset V2X-sovellukset sekä latausjohtimen nestekiertoiseen jäädytystekniikkaan perustuvat suurteholatauslaitteet.

2.1.1 Hidas/tilapäinen lataus

Hitaalla tai tilapäisellä latauksella viitataan lataustapaan 2, kuten tutkimuksessa on aiemmin mainittu. Sähköajoneuvo liitetään vaihtosähkösyöttöön toisin sanoen sähköverkkoon korkeintaan 32 A:n ja 250 V:n yksivaiheisella tai 480 V:n kolmivaiheisella standardisoidulla pistorasialla (SFS 6000 2017, 722.3.4). Kyseisellä lataustavalla hyödynnetään sähköauton mukana tulevaa autovalmistajan hyväksymää latausyksiköllä varustettua latauskaapelia tai vastaavaa hyväksyttyä latauskaapelia. Liitäntäjohdon latausyksikkö sisältää latauksessa vaadittavat suojaus- ja ohjauslaitteet. Koska erillinen latausyksikkö on liian painava roikkumaan vapaana pelkän pistokkeen varassa, tulee yksikölle järjestää tarvittava tuenta latauksen ajaksi (SESKO ry 2018).

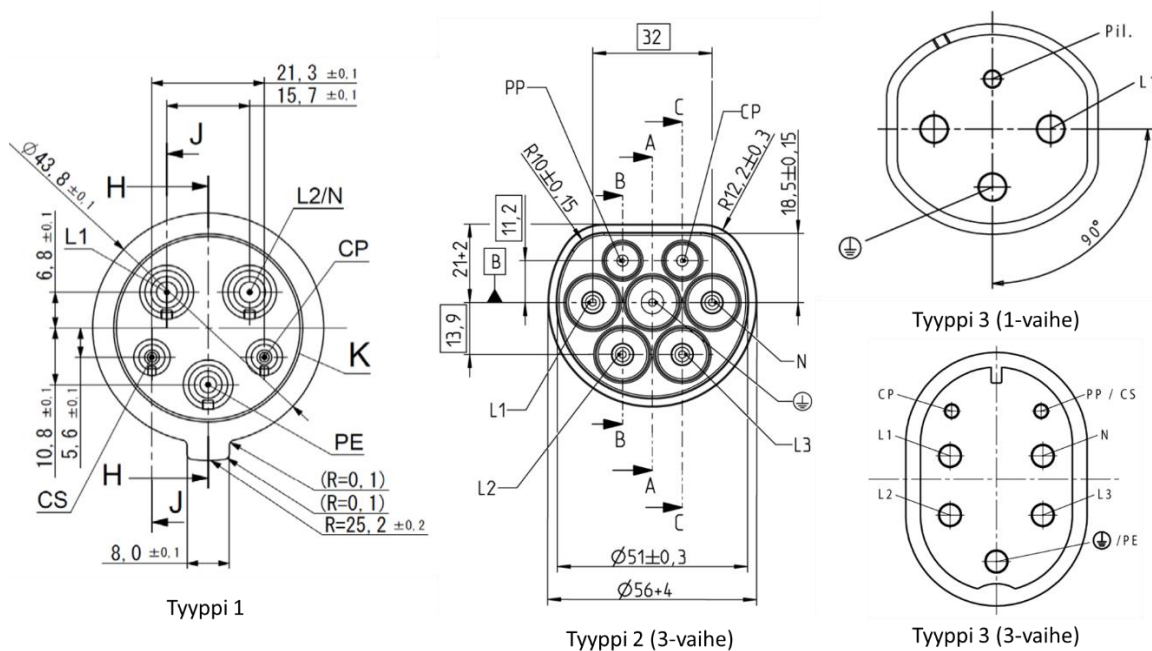
Suomessa toimivan sähkö- ja elektroniikka-alan standardointijärjestö SESKO ry:n antaman suosituksen mukaan latausvirta tulee rajoittaa 8 A:iin eli alle 2 kW:iin käytettäessä lataukseen tavallista kotitalouspistokytintä. Kansainvälinen standardointijärjestö IEC on valmistelemassa standardivaatimuksia vahvistetulle kotitalouspistokytkimelle, joka kestäisi mitoitusvirralla tapahtuvaa latausta pitkäkestoisesti. Nämä muutokset on tarkoitus kirjata voimassa olevaan IEC 60884-1 standardiin aikaisintaan vuoden 2019 aikana. Lataustavalla 2 sähköautoilijan on huolehdittava myös siitä, että käytettävän pistorasian kaapelointi on riittävä sähköauton lataamiseen, sillä alimitoitettu kaapelointi muodostaa paloturvallisuusriskin. (SESKO ry 2018)

2.1.2 Peruslataus

Lataustapa 3 eli peruslataus on sähköauton lataukseen tarkoitettu lataustapa, jossa lataukseen käytetään vaihtosähkösyöttöön kytkettyä latausjärjestelmää ja latauksen ohjaussignaali ulottuu sähköautolta kiinteästi asennetulle latauslaitteelle asti (SFS 6000 2017, 722.3.5). Jokainen latauspiste eli liitäntäpiste vaatii erillisen syötön, joka pitää suojata vaatimukset täyttävällä ylivirtasuojalla (SFS 6000 2017, 722.532). On hyvä huomioida, että sähköauton latauslaitteessa voi olla useampi liitäntäpiste. Esimerkiksi Schneider Electricin EVlink Parking -latausasemassa voi olla mallista riippuen 1-2 latauspistettä. Ylivirtasuojauksen lisäksi jokainen liitäntäpiste on suojattava enintään 30 mA:n B-tyyppin vikavirtasuojalla tai A-tyyppin vikavirtasuojalla, jonka kanssa on käytettävä erillistä suojalaitetta 6 mA:n tasasähkövirran poiskytkentää varten (SFS 6000 2017, 722.531.3).

Peruslataus voidaan toteuttaa 1-vaiheisena tai 3-vaiheisena riippuen mm. käytettävästä latauslaitteesta, sähköauton sisäisen laturin ominaisuuksista ja latauspistoketyypistä. Tällä hetkellä suurin osa markkinoilla olevista pistokehybrideistä tukee vain 1-vaiheista latausta 16 A:iin eli 3,7 kW:iin asti. Täyssähköautoissa on pistokehybridejä enemmän hajontaa sisäisten latureiden ominaisuuksissa, ja moni täyssähköautomalli kykeneekin ottamaan vastaan suurempia 3-vaiheisia lataustehoja. (Yilmaz 2013, s. 2152-2153)

Peruslatauksessa käytetään sähköauton lataukseen suunniteltuja standardisoituja latauspistokkeita. Erilaisia latauspistoketyyppejä ovat tyyppin 1, tyyppin 2 ja tyyppin 3 latauspistokkeet. Tyyppin 1 latausvirta rajoittuu 32 A:iin 250 V:n 1-vaiheisella jännitteellä. Tyyppin 2 latauspistokkeessa voidaan käyttää enintään 480 V:n 3-vaiheista 63 A:n latausvirtaa tai 250 V:n 1-vaiheista 70 A:n latausvirtaa. Molemmissa latauspistoketyypeissä latausta ohjataan PWM-modulaatioon perustuvalla Control Pilot eli CP-ohjaussignaalilla. Tyyppin 3 latauspistoke on kolmas mahdollinen pistokevaihtoehto peruslatauksessa. Tyyppin 3 latausvirta rajoittuu 63 A:iin sekä 250 V:n 1-vaiheisella että 480 V:n 3-vaiheisella jännitteellä. Tyyppin 1 ja 2 pistokkeista poiketen tyyppin 3 latauspistokkeessa voi olla vain yksi Pilot-johdin 1-vaiheisessa 16 A:iin rajatussa latausliittimessä. Erilaisten peruslatauksen pistoketyyppien poikkileikkaukset on esitetty kuvassa 2.1. (IEC 62196-2 2016, s. 16-55)

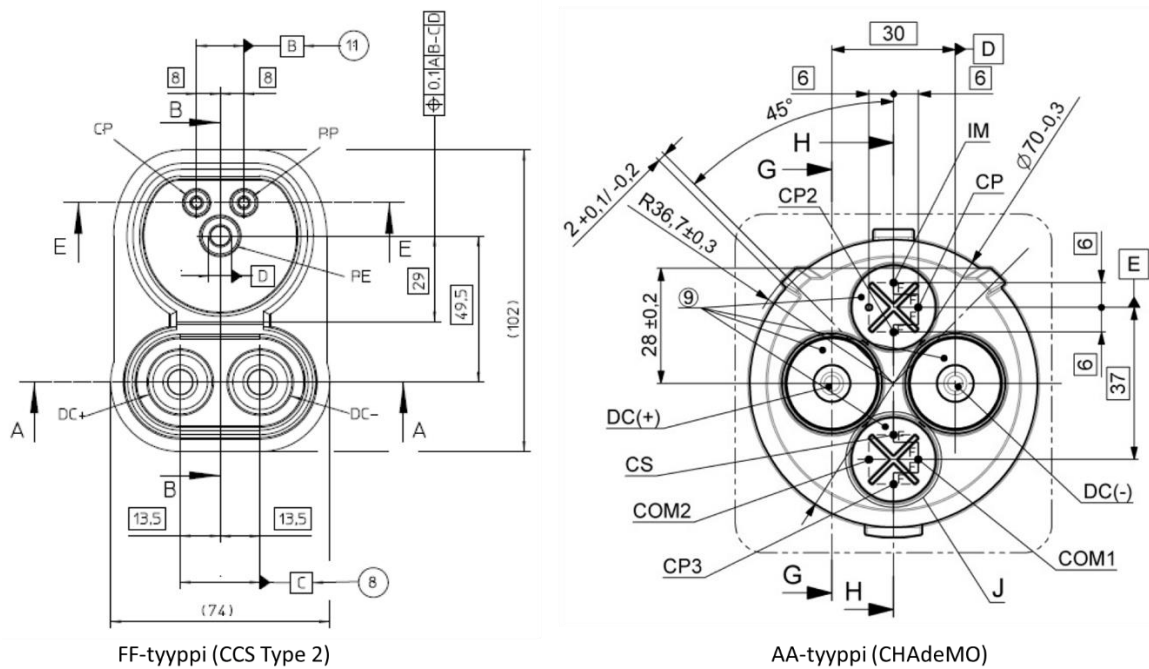


Kuva 2.1 IEC:n standardisoimia erilaisia pistokytintyyppisiä, joita käytetään sähköauton lataustavan 3 latauksessa (IEC 62196-2 2016, s. 19-53).

IEC:n standardisoimien latauspistoketyyppien lisäksi markkinoilta löytyy kiinalainen latauspistoketyyppi, joka on lähes identtinen tyyppin 2 latauspistokkeen kanssa. Suurimmat eroavaisuudet kiinalaisessa pistokemallissa ovat mekaaninen lukitus liittimen yläpuolella sekä alhaisemmat virta- ja jännitekestoisuudet. Tarkemmat yksityiskohdat kiinalaiselle latausliittimelle löytyvät standardista GB 20234.2-2011. (Herron 2016)

2.1.3 Pikalataus

Pikalatauksella tai tehollatauksella tarkoitetaan sähköauton lataamista lataustavan 4 mukaisesti tasasähköä syöttävällä latauslaitteella, joka on kytketty joko vaihto- tai tasasähköverkkoon. Suomessa pikalatauksessa käytetään joko tyyppin AA- tai FF-pistoketyyppejä standardin SFS-EN 62196-3 mukaisesti (SFS 6000 2017, 722.55.101). FF-tyypin pistoke tunnetaan yleisemmin CCS Type 2-pistokkeena tai Combo 2-pistokkeena ja AA-tyypin pistoke tunnetaan kaupallisesti CHAdeMO-pistokkeena (Herron 2016). FF-tyypin pistokkeen latausteho voi olla maksimissaan 200 kW, jolloin latausvirta on 200 A ja latausjännite 1000 V (IEC 62196-3 2014, s. 55). AA-tyypin latausteho rajoittuu 120 kW:iin, jolloin latausvirta on 200 A ja latausjännite 600 V (IEC 62196-3 2014, s. 30). Pikalatauksen pistoketyyppien poikkileikkaukset on esitetty kuvassa 2.2.



Kuva 2.2 Suomessa käytössä olevat SFS-EN 62196-3 standardin mukaiset pikalatauksen pistoketyypit (IEC 62196-3 2014, s. 32, 65).

Jos sähköautossa käytetään CCS Type 2 -pistorasiaa, voidaan samaa liitäntää hyödyntää myös tyypin 2 pistorasialla varustetun sähköauton peruslataukseen, sillä tyypin 2 latauspistoke käy suoraan CCS Type 2 -pistorasian yläosaan. Pikalatausaseman on kyettävä syöttämään tasasähköä nimellistehollaan annettujen jännite- ja virtarajojen puitteissa, kun ympäristön lämpötila on -5 °C - 40 °C ja latausaseman korkeus merenpinnasta alle 1000 m (IEC 61851-23 2014, 101.2). Pikalatausasemalle sallitaan lataustehon alenema, jos edellä mainitusta toimintaolosuhteista poiketaan (IEC 61851-23 2014, 101.2). Julkisilla paikoilla pikalatauksen lataustehot voivat vaihdella välillä 22 – 50 kW (SESKO ry 2018).

Pikalatausasemien lataustehoja ollaan tulevaisuudessa kasvattamassa. Tähän asti lataustehojen kasvattamista ovat rajoittaneet latauskaapeliin lämpeneminen, minkä ovat aiheuttaneet rajalliset kaapeliin poikkipinta-alat. Toisaalta latauskaapeliin poikkipinta-aloja ei ole voitu enää kasvattaa käytettävyyden takia. Kehitteillä olevaa pikalatauksen pistoketyöntä, kaapelikokoonpanoa ja ajoneuvon liitäntää koskeva standardin päivitysversion nykyisestä IEC 62196-3:2014 standardista tulee mahdollistamaan nestekiertoisen jäähdytyksen käytön latauskaapeloinnissa, jolloin voidaan käyttää enintään 400 A:n latausvirtaa 1000 V:n jännitteellä. Nestekiertoisen latauskaapeliin latauspistoke tulee

sisältämään lämpötilan hallintajärjestelmän, jonka avulla voidaan valvoa pistokkeen liitinten lämpötilannousua. Päivitetyt IEC 62196-3 standardin on suunniteltu tulevan voimaan vuoden 2019 aikana. (IEC TS 62196-3-1 2017)

2.1.4 Induktiolataus

Sähköautojen induktiolataus on johdoton latausvaihtoehto perinteisille lataustekniikoille. Induktiolataus perustuu kahden latauskäämin väliseen sähkömagneettiseen induktioon. Maahan sijoitetun latausalustan levymäiseen ensiökäämiin johdetaan vaihtovirtaa, joka muodostaa käämiin virran muutosta vastustavan magneettikentän. Ensiökäämin pinnan läpi vaikuttavan magneettivuon suuruuden määrittävät kelaan johdetun virran suuruus, kelan johdinkierrosten lukumäärä sekä kelan induktanssi, jolla tarkoitetaan kelan kykyä vastustaa virran muutosta. Ensiökäämin lähdejännite riippuu magneettivuon muutosnopeudesta, jota voidaan ohjata vaihtovirran taajuudella. Kelan magneettikenttään varastoituvan energian suuruus riippuu kelan induktanssista ja siihen johdetun sähkövirran suuruudesta. Magneettivuo ja kelan poikkipinta-ala määrittävät magneettivuon tiheyden, jolla on suora vaikutus magneettikentän voimakkuuteen sekä energiatiheyteen. Sähkövirta siirtyy ensiökäämin läpi muodostuneen magneettivuon välityksellä toisiokäämiin, joka on asennettu auton pohjaan. Energian heikkenemiseen käämien välisessä magneettikentässä vaikuttavat käämien välinen etäisyys sekä magneettivuon tulokulma toisiokäämille. Toisiokäämin läpi kulkeva muuttuva magneettikenttä indusoi toisiokäämiin sähkövirran, joka johdetaan auton sisäiselle laturille tasasuunnattavaksi akuston latausta varten. (Xiao 2015, s. 6-8)

Tällä hetkellä markkinoilla on muutamia sähköautojen induktiolataustekniikkaa myyviä toimijoita, kuten amerikkalainen Plugless, jolla on tarjota langaton lataustekniikka esimerkiksi Tesla Model S:ään tai BMW i3:een. Myytävään latauspakettiin kuuluvat latauslaitteeseen liitettävä latausalusta, auton pohjaan kiinnitettävä latauslevy johdotuksineen ja latauksen ohjausyksikkö. Auton pohjaan asennettavassa latauslevyn sähkökytkennässä hyödynnetään autonvalmistajan johdotuksia ja latauslevyn asennus kestää keskimäärin kaksi tuntia (Plugless 2018). Myös autonvalmistajat panostavat induktiolataukseen. Mercedes-Benz on kehittänyt induktiolataustekniikkaa vuodesta 2015 lähtien, jonka pitäisi olla valmiina kaupalliseen käyttöön. Induktiolatauksen hyötysuhteeksi Mercedes on ilmoittanut hieman alle 90 % (Daimler 2018).

Induktiolataus ei kuulu tällä hetkellä voimassa olevaan sähköauton latauksen yleisiä turvallisuusvaatimuksia latauspisteen ja sähköauton välillä koskevaan standardiin SFS-EN 61851-1 (IEC 61851-1 Edition 3.0. 2017). Induktiolatauksen yleiset vaatimukset ovat puolestaan esitetty IEC 61980-1 standardissa. Lisäksi tällä hetkellä kehitysvaiheessa ovat induktiolatauksen kommunikointiin liittyvä standardin valmisteluversio IEC/TS 61980-2 sekä magneetikentän tehonsiirtojärjestelmiin keskittyvä standardin valmisteluversio IEC/TS 61980-3. Kyseisten valmisteluversioiden odotetaan valmistuvan vuoden 2018 aikana. (Vesa 2017, s. 10)

2.1.5 Kaksisuuntainen lataus

Induktiolatauksen lisäksi toinen tulevaisuuden lataustekninen vaihtoehto tulee olemaan kaksisuuntainen lataus eli autosta voidaan luovuttaa sähköä suoraan sähkönjakeluverkkoon tai kiinteistön omaan sähkönjakeluun. Syötettäessä sähkövirtaa autosta sähköverkkoon käytetään termiä V2G ja syötettäessä sähkövirtaa kiinteistöön käytetään termiä V2B. Kaksisuuntaisen latauksen tarkoituksena on hyödyntää sähköautoja energiavarastona esimerkiksi tukemaan kiinteistön sähköjärjestelmää kriittisillä hetkillä tai tuottamaan nopeasti saatavilla olevaa tehoa sähköverkon taajuuden säätöön.

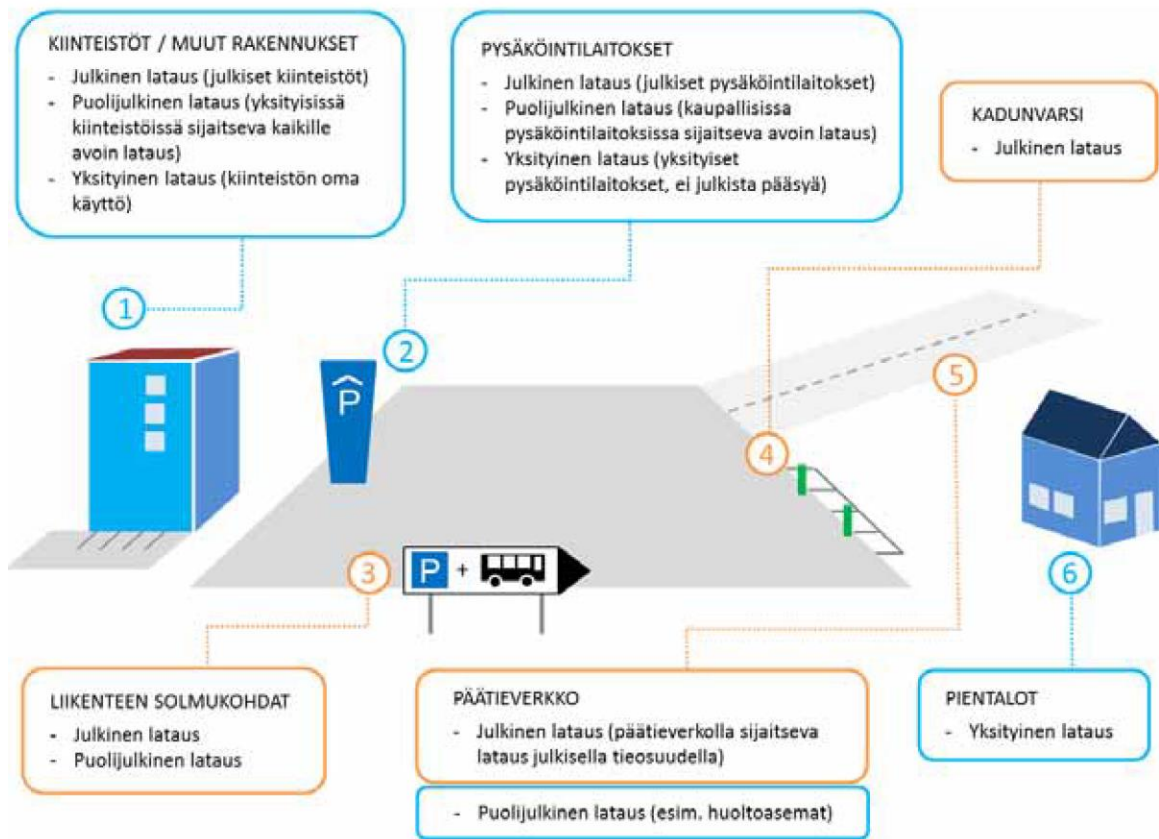
Kaksisuuntainen lataus voidaan toteuttaa tällä hetkellä ainoastaan lataustavalla 4, sillä lataustavan 3 tiedonsiirtoon käytetyn Control Pilot -ohjaussignaalin tiedonsiirrollinen kapasiteetti ei ole riittävä kaksisuuntaisen latauksen toteuttamiseen ja sähköautojen omat tasasuuntaavat vaihtovirtalaturit on suunniteltu toimimaan vain latauslaitteelta auton akuston suuntaan (Mouli 2016). Lataustavalla 4 kommunikoinnissa hyödynnetään CCS Type 2 pistokkeella PLC-väylää ja CHAdeMO-pistokkeella CAN-väylää, joiden kapasiteetti riittää tukemaan kaksisuuntaista latausta (Mouli 2016). Näistä kahdesta vaihtoehdosta CHAdeMO on huomattavasti parempi vaihtoehto kaksisuuntaisen latauksen kannalta, sillä CAN-väylän avulla auto voi ilmaista 200 ms vasteajalla latauslaitteelle latauksen ja purkauksen virtarajat (Mouli 2016). Vastaava vasteaika voi venyä jopa minuutin mittaiseksi hyödynnettäessä PLC-väylää tiedonsiirtoon (Mouli 2016).

Kun autovalmistajat alkavat tehdä sähköautojen omista vaihtovirtalatureista kaksisuuntaisia ja lataustavan 3 kommunikoinnissa alettaisiin hyödyntämään PLC-väylää, olisi myös lataustavan 3 vaihtovirtalataus mahdollista toteuttaa kaksisuuntaisesti V2G-tiedonsiirtoa

käsittävän kolmiosaisen ISO/IEC 15118-standardisarjan puitteissa (SFS-EN ISO 15118-1 2015, s. 15-18). Lisäksi induktiolataus on teoriatasolla mahdollista toteuttaa kaksisuuntaisesti, sillä sähkömagneettinen induktio toimii myös toiseen suuntaan, mutta ISO/IEC 15118-standardisarja käsittää toistaiseksi vain johdolliset latausvaihtoehdot (SFS-EN ISO 15118-1, 2015 s. 15-18).

2.2 Latauskohteet

Sähköautoja voidaan ladata hyvinkin vaihtelevissa ympäristöissä erilaisia lataustekniikoita hyödyntäen. Sähköautojen lataussuoritteista yli 90 % tapahtuu kotioloissa (Motiva 2016, s. 7). Lisäksi sähköautoja ladataan mm. työpaikoilla, kauppojen sekä hotellien pysäköintipaikoilla, lentokentillä, huoltoasemilla ja erilaisilla tienvarsien latauspaikoilla. Sähköautojen latauskohteiden jaottelun ja vertailun helpottamiseksi sähköautojen latauskohteet voidaan jaotella julkisiin, puolijulkisiin ja yksityisiin latauskohteisiin. Näistä jokaisella latauskohdetyypillä on omanlaiset vaatimuksensa latausjärjestelmän osalta. Toisaalta esimerkiksi julkisen ja puolijulkisen latauskohteen ero on varsin häilyvä. Tämän takia tietyin ehdoin puolijulkisen latauskohde voidaan listata julkiseksi latauspisteeksi (Finlex 2017, 3 § 5). Kuvassa 2.3 on esitelty sähköautojen erityyppisiä latauskohteita jaoteltuna julkisiin, puolijulkisiin ja yksityisiin latauskohteisiin.



Kuva 2.3 Sähköautojen erityyppisiä latauskohteita (Salonen 2015, s. 10).

Kuvasta 2.3 nähdään jaoteltuna erilaisia latauskohteita, jotka on karkeasti jaettu julkisiin, puolijulkisiin ja yksityisiin latauskohteisiin latauspaikkojen omistussuhteiden ja saatavuuden perusteella.

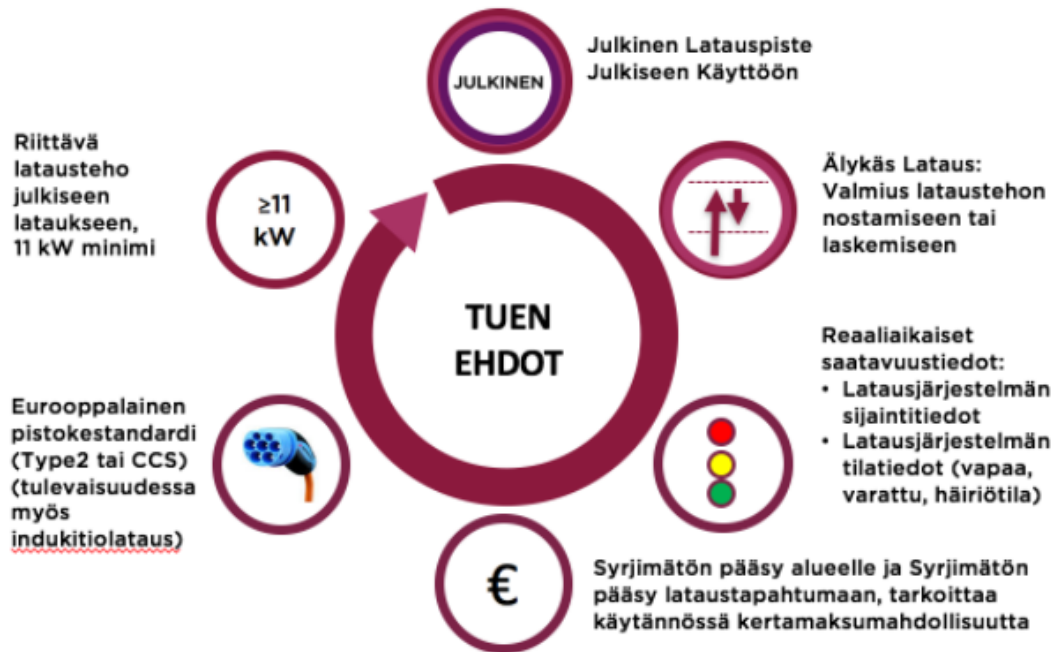
2.2.1 Julkiset latauskohteet

Julkisella latauspisteellä tarkoitetaan latauspistettä, johon kaikilla käyttäjillä on pääsy, ja latauspistettä tarjotaan käytettäväksi kaupallisesti, kaupallisen toiminnan ohessa tai palveluntarjoaja on määritellyt latauspisteen julkiseksi latauspisteeksi (Finlex 2017, 3 § 5). Latauksen palveluntarjoaja voi asettaa julkiselle latauspisteelle aikarajoituksia sekä erilaisia tunnistus-, käyttö- ja maksuehtoja (Finlex 2017, 4 §). Lisäksi palveluntarjoaja ei saa velvoittaa kuluttajaa sitoutumaan sopimukseen tai jäsenyyteen yksittäistä lataussuoritetta varten, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että maksullisilla julkisilla latauspaikoilla on oltava tekstiviestillä tai vastaavalla menetelmällä toimiva kertamaksumahdollisuus (Finlex 2017, 4 §). Kertamaksumahdollisuuden puuttumisen vuoksi esimerkiksi Teslan latauspisteitä ei lasketa julkisiksi latauspisteiksi. Toisaalta yrityksen liikekiinteistön latauspisteet voivat olla

julkisia edellä mainituin ehdoin. Esimerkiksi energiayhtiöiden konttoreiden pysäköintialueilla on julkisia latauspisteitä, jotka on kirjattu kansalliseen julkisten latauspisteiden tietokantaan (Sähköinen liikenne 2017). Kyseiseen tietokantaan on kirjattu Suomessa käytössä olevat julkiset latauspisteet, joita on tällä hetkellä noin 500, jos laskuista jättää pois julkiseen tietokantaan ilmoitetut schuko-pistorasialliset latauspisteet (Sähköinen liikenne 2017). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2014/94/EU, joka koskee vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönottoa, on määritelty, että julkisia latauspisteitä olisi oltava noin 0,1 rekisteröityä sähköautoa kohti (Eur-Lex 2014, L 307/4). Suomen valtion tavoite on, että Suomessa olisi vuonna 2020 noin 20000 sähköautoa, mikä tarkoittaa käytännössä noin 2000 julkista latauspistettä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017, s. 24). Vastaava sähköautokannan tavoite vuodelle 2030 on 250000 sähköautoa, jolloin julkisia latauspisteitä tarvittaisiin 25000 (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017, s. 24).

Julkista latausjärjestelmää koskevana teknisenä vaatimuksena direktiivissä 2014/94/EU on säädetty, että julkisilla paikoilla tulee vaihtovirtalatausasemissa käyttää tyyppin 2 mukaista pistorasiaa tai pistoketta, ja pikalatauksessa tulee käyttää Combo2-pistoketta (Eur-Lex 2014, L 307/20). Tyyppin 2 latausliitännän käyttöpakko tarkoittaa sitä, että enää schuko-pistorasioita ei voi kirjata julkiseen latauspistetietokantaan. Lisäksi julkisissa latausjärjestelmissä latausasemien sekä niitä syöttävien keskusten tulee täyttää SFS-EN 62262 -standardin mukainen luokan IK10 iskunkesto sekä muut standardin IEC/TS 61439-7 mukaiset julkisen latausaseman mekaaniset testit (SFS 6000 2017, 722.512.2).

Sähköautojen julkisissa latauspisteissä on hyödynnettävä älykkäiden mittausjärjestelmien käyttöä mahdollisuuksien mukaan sähköverkon vakauden varmistamiseksi ja latauskustannusten määrittämiseksi latausenergian pohjalta (Eur-Lex 2014, L 307/5). Älykkään mittausjärjestelmän ansiosta lataustapahtumat voidaan siis optimoida niin, että siitä hyötyvät sekä sähköjärjestelmä että kuluttaja. Julkisia latauslaitteita koskeva työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä valtion investointituki vaatii myös älykästä latausjärjestelmää. Liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelua koskeva laki 478/2017 määrittelee, että älykkään latauksen latausjärjestelmässä on oltava tietoliikenneyhteys latauslaitteen ja palveluntarjoajan välillä lataustapahtuman mittausta ja ohjausta varten (Finlex 2017, 3 §). Kuvassa 2.4 on esitetty julkisia latauspisteitä koskevan investointituen ehdot.



Kuva 2.4 Julkisia latausjärjestelmiä koskevan valtion investointituen keskeisimmät vaatimukset tiivistetysti (Eera 2017).

Kyseinen investointituki on suuruudeltaan 4,8 milj. €, ja tuen tavoitteena on kolminkertaistaa nykyinen julkinen latauspistekanta kahden vuoden kuluessa vuosina 2017-2019. Tuki on tarkoitettu ensisijaisesti pikalatausjärjestelmiin, joihin voi saada tukea 35 % investointikustannuksista, mutta myös peruslatausjärjestelmiin voi saada tukea 30 % investointikustannuksista. Investoituihin ja tuen saaneisiin järjestelmiin kohdistuu 5 vuoden pitoaikavelvoite. (Eera 2017)

2.2.2 Puolijulkiset latauskohteet

Puolijulkisen ja julkisen latauskohteen selvin ero on kohteen omistussuhteessa, jossa täysin julkisen latauskohteen alueen omistaa julkinen taho eli valtio tai kunta, ja puolijulkisen kohteen omistaa yksityinen toimija (Salonen 2015, s. 8). Puolijulkisiin kohteisiin on julkisen latauspaikan tavoin kaikilla avoin pääsy, mutta itse lataukseen saattaa kohdistua erityisvaatimuksia, kuten pakollinen sitoutuminen palveluntarjoajan palveluun ilman kertamaksumahdollisuutta. Puolijulkisen latauspiste voi kuitenkin täyttää julkisen latauksen määritelmän niillä ehdoin, jotka on tutkimuksessa aiemmin julkisen latauspisteen osalta mainittu (Salonen 2015, s. 12). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että liiketoiminnanharjoittaja, esimerkiksi kauppakeskus voi itse päättää siitä, että haluavatko he

tehdä latauspisteistään julkisia vai tarjota latauspalveluaan ainoastaan esimerkiksi omille kanta-asiakkailleen.

2.2.3 Yksityiset latauskohteet

Yksityisiksi latauspisteiksi voidaan määritellä yksityisessä omistuksessa olevien kiinteistöjen ja pysäköintilaitosten pysäköintialueiden latauspisteet, joihin on rajattu pääsy omistajan määrittelemillä käyttäjillä (Salonen 2015, s. 8). Yleisimpiä yksityisiä latauskohteita ovat omakotitalojen ja taloyhtiöiden pysäköintialueiden latauspisteet sekä yritysten liikekiinteistöjen pysäköintialueiden latauspisteet, jotka on tarkoitettu työntekijöiden käyttöön. Kuten tutkimuksessa on aiemmin mainittu, lataussuoritteista noin 90 % tapahtuu kotioloissa ja julkisten latauspisteiden määrään kohdistuu 0,1 suhdelukuvelvoite sähköautokantaan nähden. Jos sähköautojen lataussuoritteiden tasapaino säilyy sähköautokannan kasvun jatkuessa samana, on yksityisiä latauspisteitä oltava vähintään likimain yksi jokaista sähköautoa kohti. Toisaalta yksityisten latauspisteiden käyttöasteen voidaan olettaa olevan julkisia latauspisteitä keskimääräistä korkeampi, sillä julkisia latausasemia on hankittu osittain ennakkoon investointituen kannustamana.

Yksityisiin latauspisteisiin ei koske yhtä tiukkoja ja rajattuja velvoitteita kuin julkisiin latauspisteisiin. Yksityisten latausasemien iskunkestävyydeksi riittää vähintään IK07 luokan iskunkesto, mutta suositus on, että latausasemat suunnitellaan kestävämmän luokan IK08 mukainen isku (SFS 6000 2017, 722.512.2). Vaikka yksityiskäyttöön tuleviin latauslaitteisiin ei ole saatavilla suoraa investointitukea, voidaan kotitalouksiin asennettaville laitteille hakea kotitalousvähennystä asennuskustannuksiin puolesta arvonlisäverollisesta työkustannuksesta vähentäen 100 € omavastuuosuuden (Verohallinto 2018). Esimerkiksi 1000 € asennuskustannuksesta voidaan tehdä 400 € kotitalousvähennys.

Yksityisen latauspisteen tai latausjärjestelmän ominaisuuksiin ja toteutustapaan vaikuttavat hyvin pitkälti latauskohteen tarpeet. Omakotitaloissa latauslaitteelta ei välttämättä velvoiteta kattavia ominaisuuksia, sillä latauslaite on talon omistajan oman sähköliittymän alla ja on osa kiinteistön sähkönjakelua kuten esimerkiksi sähkökiuas. Taloyhtiöissä latauslaitteelta ja -järjestelmältä odotetaan usein enemmän. Jos lataajalla on oma autopaikka ja henkilökohtaisessa käytössä oleva latauslaite, riittää että latauslaitteella on oma

sähköenergianmittaus, jotta ladattu energia voidaan laskuttaa oikein. Mikäli taloyhtiöön päätetään hankkia yhteiskäyttöön tarkoitettuja latauslaitteita, niin silloin tarvitaan lisäksi käyttäjän tunnistusta, jolloin jokainen lataustapahtuma voidaan mitata ja veloittaa erikseen. Tällaisissa tapauksissa tarvitaan latausjärjestelmää hallinnoimaan latausoperaattori, joka pystyy hoitamaan lataustapahtumakohtaisen laskutuksen. Jos latauslaitteita tarvitaan useita samaan kohteeseen, niin kohteen sähköjärjestelmän kapasiteetti muuttuu nopeasti rajoittavaksi tekijäksi, jolloin latausjärjestelmä tarvitsee kuormanhallintajärjestelmän, jotta sähköjärjestelmän kapasiteetti saadaan hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla sähköautojen lataukseen.

3 SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄ

Tämän tutkimuksen pääpaino on lataustavan 3 mukaisten latauslaitteiden latausjärjestelmissä. Sähköautojen latausjärjestelmän rakenteeseen vaikuttavat hyvin paljon latauskohteen tyyppi, järjestelmän koko sekä halutut lisäominaisuudet. Latausjärjestelmä itsessään on usein vain osa latauksen arkkitehtuuria, johon voi lisäksi kuulua esimerkiksi latauspalveluntarjoajan pilvipohjainen taustajärjestelmä tai latausjärjestelmä voi olla liitetty osaksi kiinteistönhallintajärjestelmää. Toisaalta yksityisissä latauskohteissa latausjärjestelmä voi toimia täysin itsenäisesti ilman yhteyttä pilvipohjaisiin taustajärjestelmiin. Latausjärjestelmän eri osakokonaisuuksien välillä käytetään vakiintuneita tiedonsiirtomenetelmiä kommunikointiin. Samoin latausjärjestelmien ja sen taustatoimijoiden välillä käytetään vakiintuneita tiedonsiirtoprotokollia. Tehon- ja energianmittaus on olennainen osa sähköautojen latausjärjestelmien toiminnallisuutta. Mittausdataa tarvitaan niin latausjärjestelmän energianhallintaa kuin laskutusta varten.

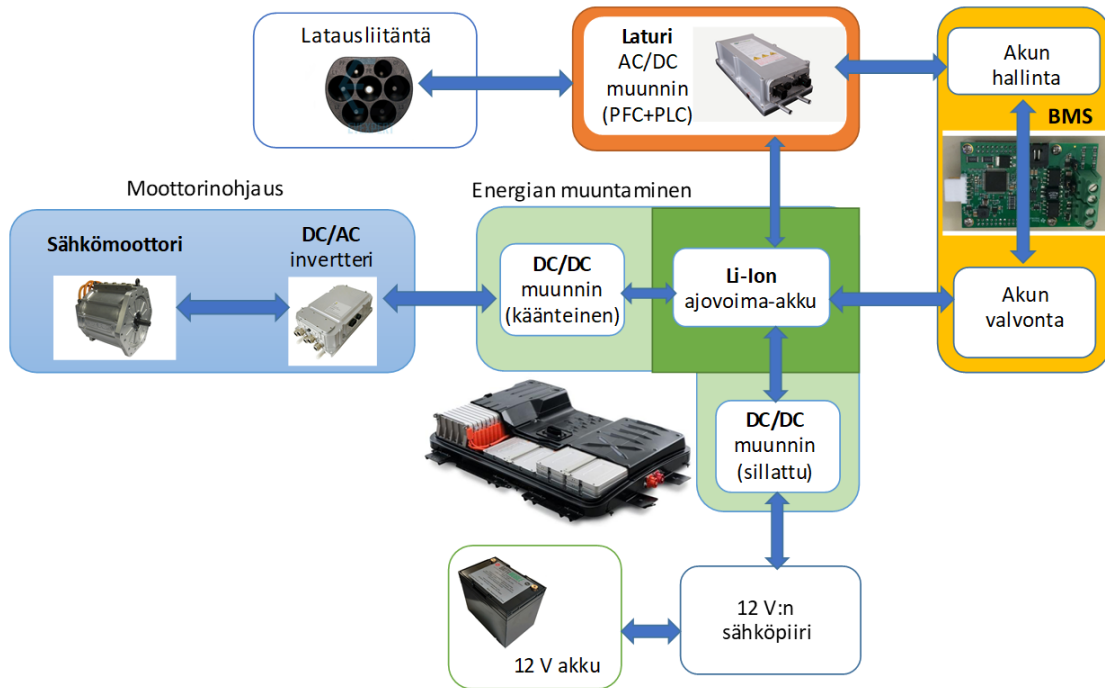
3.1 Latausjärjestelmän osakokonaisuudet

Sähköauton latauskokonaisuuden ymmärtämiseksi on tiedettävä latausjärjestelmään kuuluvien osakokonaisuuksien merkitys. Sähköauton lataajan kannalta ensimmäinen osa tätä latausjärjestelmäkokonaisuutta on itse sähköauto, joka liitetään ulkoiseen latausasemaan. Latausasemat puolestaan ovat oma kokonaisuutensa, jotka muodostavat kokonaan oman sähköjärjestelmänsä, johon on sallittua liittää ainoastaan ajoneuvon lämmitys sekä tarvittavat ohjaus- ja tiedonsiirtopiirit (SFS 6000 2017, 722.1). Latausasemia voidaan ohjata ja valvoa omalla hallintajärjestelmällä. Hallintajärjestelmän kautta voidaan mm. hallita lataajien käyttäjätilejä, suorittaa dynaamista kuormanhallintaa ja tarkastella latauslaitteiden tilaa. Hallintajärjestelmä voi ohjata latausjärjestelmää itsenäisesti tai osa ohjaustoiminnoista on voitu keskittää latausoperaattorin pilvipalvelupohjaisen taustajärjestelmän alle. Latausoperaattori puolestaan voi käyttää latauksen laskuttamiseen apunaan roaming-palveluita. Lisäksi latauslaitejärjestelmään voi tulla ulkoisia ohjaussignaaleita esimerkiksi jakeluverkkoyhtiöltä.

3.1.1 Sähköauton sisäiset latauskomponentit

Sähköautojen välillä on jonkin verran eroavaisuuksia sähköisen voimansiirron ja latauskomponenttien osalta. Merkittävimmät erot ovat pistokehybridien ja täyssähköautojen

välillä. Kaikista sähköautoista löytyvät kuitenkin tietyt peruskomponentit, jotka yhdessä muodostavat sähköauton sisäisen sähköisen voimansiirto- ja latausjärjestelmäkokonaisuuden. Sähköauton lataus- ja voimansiirtokomponentit on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1 Sähköauton sisäisten latauksen ja voimansiirron komponenttien arkkitehtuuri (Avnet 2018).

Kuvasta 3.1 nähdään, että auton latausliittimestä latausvirta on tarkoitus johtaa sähköauton omaan laturiin, jonka tehtävänä on tasasuunnata laturille tuleva vaihtovirta. Jos sähköautoa ladataan pikalatausasemasta tasavirralla, niin silloin auton oma laturi ohitetaan. Toistaiseksi pikalatausmahdollisuus on löytynyt vain markkinoilla olevista täyssähköautoista paria poikkeusta lukuun ottamatta. Sähköautojen sisäisen laturin teho muodostuu usein ensimmäiseksi latausvirtaa rajoittavaksi tekijäksi etenkin pistokehybrideissä, joiden sisäiset on-board laturit tukevat tyypillisesti maksimissaan vain 1-vaiheista 16 A:n latausvirtaa eli 3,7 kW:n lataustehoa (Nedco 2016). Esimerkiksi Volkswagenin vuoden 2017 sähköautomalleista vain e-Golf on tukenut yli 3,7 kW:n latausvirtaa (Mobility House 2017). Osa täyssähköautojen sisäisistä latureista tukee 3-vaihevirtaa, jolloin lataustehot voidaan nostaa yli 10 kW:n. Esimerkiksi BMW i3 sähköautoon on voinut hankkia lisävarusteena 3-vaihelaturin, jonka nimellinen latausteho on 11 kW (Pod Point 2018). Autonvalmistajat ovat

tulevaisuudessa kasvattamassa sähköautojen sisäisten laturien kapasiteetteja akustojen energiakapasiteettien kasvaessa.

Sähköauton sisäinen laturi tasasuuntaa sille saapuvan vaihtosähkövirran tasasähkövirraksi, joka johdetaan auton akustolle. Tätä tapahtumaa ohjaa ja valvoo akunhallintajärjestelmä eli BMS, joka on erittäin tärkeä osa akuston toimivuuden kannalta. Sähköautoissa käytetään tällä hetkellä lähes poikkeuksetta erityyppisiä litiumioniakkuteknologioita, jolloin akkujen kennot ovat epävakaita ja alttiita väärinkäytölle. BMS valvoo ja suojaa akustoa kennojen ylipurkaukselta sekä -lataukselta. Lisäksi BMS mm. arvioi akuston tilaa, maksimoi akuston toimintaa, raportoi ulkoisille laitteille akuston tietoja ja balansoi latauksen jälkeen akuston kennojen välisiä jännitetasoja. Ilman toimivaa akunhallintajärjestelmää litiumioniakusto voi pahimmassa tapauksessa ylikuumentua ja lopulta räjähtää. (Davide 2010, s. 4-6)

Akustosta tasasähkö muunnetaan sopivaan jännitetasoon joko sähköauton 12 V:n jännitepiirille tai sähkömoottoria syöttävälle invertterille kuvan 3.1 mukaisesti. Invertterin taajuussäädöllä ohjataan auton sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Sähköautosovelluksiin soveltuvia moottorityyppejä ovat harjattomat tasavirtamoottorit sekä vaihtosähkömoottoreista oikosulkumoottorit, kestmagnetoidut tahtimoottorit ja synkronoidut reluktanssimoottorit (Jape 2017, s. 12-16). Nykyään autonvalmistajat ovat alkaneet suosia entistä enemmän kestmagnetoituja tahtimoottoreita, joiden käyttöä ovat aikaisemmin rajoittaneet hieman oikosulkumoottoreita ja tasavirtamoottoreita vaikeampi ohjaustapa sekä korkeammat valmistuskustannukset. Vaihtovirtamoottoreissa koneen logiikka voidaan kääntää toisin päin, jolloin moottori toimii generaattorina tuottaen jarrutusenergiaa, kun auton kaasupoljin vapautetaan (Cody 2009, s. 113). Käytännössä tämä tapahtuu vaihtamalla vääntömomentin suuntaa invertterillä vallitsevan pyörimissuunnan vastaiseksi, jolloin tehon suunta muuttuu moottorilta invertterin kautta kohti DC-välipiiriä (Cody 2009, s. 115). Moottori pystyy siis tuottamaan sähköenergiaa takaisin akustolle, ja täten sähköauton kantamaa voidaan kasvattaa jopa 15 %:lla verrattuna sähköautoon ilman regenerointimahdollisuutta (Cody 2009, s. 113).

3.1.2 Latausasemat

Latausjärjestelmän näkyvimmän osakokonaisuuden muodostavat latausasemat. Tässä tutkimuksessa keskitytään enimmäkseen peruslatauksen latausasemiin, joihin Schneider Electricin tuotevalikoima on keskittynyt. Peruslatauksessa latausasemavalikoima kohdentuu yleisesti ottaen latauskohteittain, koska jokaiselle latauskohdetyypille kohdistuu omanlaisensa vaatimukset. Latausasemien kannalta erilaiset latauskohteet asettavat vaatimuksia laitteiden mekaanisiin, mittauksellisiin ja liitettävyydellisiin ominaisuuksiin sekä ohjattavuudellisiin ominaisuuksiin niin käyttäjien kuin latauskuormien osalta.

Schneider Electricin sähköautojen latausasemien tuotevalikoimasta yksityiseen peruskäyttöön soveltuu parhaiten EVlink Wallbox tuotesarjan latausasemat, jotka sopivat omakotitalokohteisiin ja taloyhtiökohteisiin, joissa on käyttäjäkohtaiset pysäköintipaikat. EVlink Smart Wallbox tuotesarjan latausasemat sopivat yksityisiin ja puolijulkisiin latauskohteisiin, joissa esimerkiksi vaaditaan yhteiskäytön takia käyttäjän tunnistusta lataustapahtumalle, halutaan liittyä latausoperaattorin palveluun tai tarvitaan latausjärjestelmälle kuormanhallintajärjestelmää rajoittamaan järjestelmän huippukuormitusta. Julkisiin latauskohteisiin soveltuu parhaiten EVlink Parking tuotesarjan latausasemat, joiden kuormanhallinta- ja liitettävyysominaisuudet ovat samaa tasoa Smart Wallbox -latausasemien kanssa, mutta Parking -laitteiden metallinen kotelorakenne tekee niistä Wallboxeja kestävämpiä. Kuvassa 3.2 on esitetty Schneider Electricin EVlink latausasemavalikoima. Tämän lisäksi Schneider Electric toimittaa Lafonin valmistamia 50 kW:n pikalatausasemia. (Schneider Electric EVlink 2017, s. 14-39)

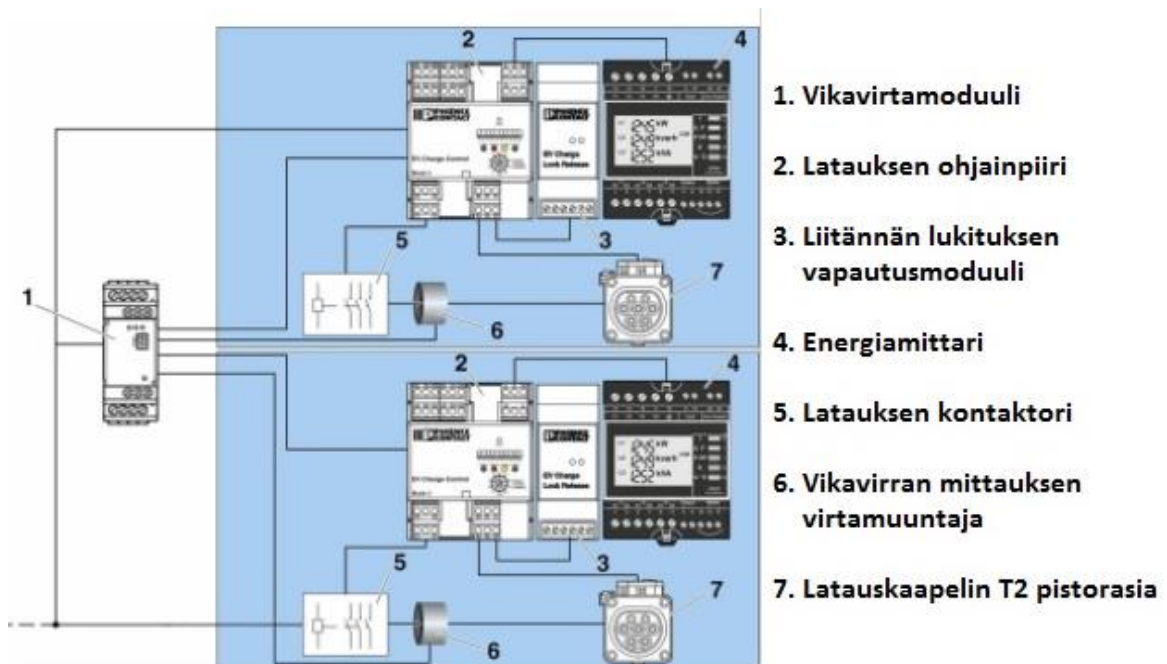


Kuva 3.2 Schneider Electricin EVlink peruslatauksen latausasemavalikoima (Schneider Electric Globaali kuvapankki 2018).

Kuvassa 3.2 vasemmassa reunassa ovat Parking -latausasemat, joista on saatavana jalustamalli sekä seinämalli. Parking jalustamallin ja seinämallin latausyksiköt ovat yhteneviä, mutta jalustamallin mukana tulee jalustaosa sekä pidemmät peltikuoret kuin seinämallissa. Jalustaosan sisään voidaan asentaa latausasemien tarvittavat etukojeet ja tarvittaessa erilliset energiamittarit paikallismittausta varten tai modeemi latausoperaattorin taustajärjestelmään liittymistä varten. Seinämallin laitteista latausmoduulin sisään jää tilaa erittäin niukasti, minkä takia etukojeet ja muut tarvittavat oheislaitteet joudutaan asentamaan syöttävään keskukseen. Parking -latausasemia on saatavana ainoastaan pistoketyypin 2 rasiamallina julkisen latauspisteliitintää koskevan vaatimuksen mukaisesti. Parking -latausasemia on saatavana 1-vaiheisina 7,4 kW versioina ja 3-vaiheisina 22 kW versioina niin, että laitteessa on joko 1 tai 2 liitäntäpistettä eli tyyppin 2 latauspistorasiaa. Yhden liitäntäpisteen Parking -laitteita on saatavana lisäksi F-tyypin eli schuko pistorasiolla tai ranskalaismallisella E-tyypin pistorasiolla varustettuna esimerkiksi auton lämmitystä tai kevyen sähköajoneuvon latausta varten. Suomessa tulisi käyttää schuko pistorasiaa vastaavaan tarkoitukseen IEC 60884-1 standardin mukaisesti (Vesa 2017, s. 27). Kaikki edellä mainitut Parking laitevariaatiot ovat saatavana RFID-lukijalla tai ilman. T2-rasiat voidaan valita myös johtimien lisäsuojilla. T2-pistorasioiden lisäsuojat ovat käytännössä

tarpeettomat, koska latauskaapelin kytkentä tapahtuu aina jännitteettömään pistorasiaan, eikä Suomessa vaadita lisäsuojien käyttöä. (Schneider Electric EVlink 2017, s. 32-39)

Smart Wallbox -latausasemat, jotka on esitetty kuvassa 3.2 alhaalla keskellä, ovat fyysisiltä mitoiltaan yhteneviä Wallbox-latausasemien kanssa. Molemmista malleissa käytetään samaa kotelorakennetta. Laitteiden asentaminen onnistuu seinään tai erilliselle maahan kiinnitettävälle jalustalle. Smart Wallboxia on saatavana RFID-lukijalla tai ilman. T2-pistorasian Smart Wallboxille ei ole eri tehoversioita, vaan laite voidaan asentaa joko 1-vaiheisesti tai 3-vaiheisesti. Asennustavan lisäksi maksimi lataustehoa voidaan rajoittaa konfigurointiasetuksista, kuten Parking-laitteellekin on mahdollista tehdä. Kiinteän asennuskaapelin Smart Wallbox -latausasemat toimitetaan eri versioina latauskaapelien mukaan. Perus Wallboxista puuttuu käyttäjän tunnistusominaisuudet, mutta laite voidaan lukita avaimella. Wallbox-latausasemia on saatavana 1-vaiheisena 3,7 kW ja 7,4 kW versioissa sekä 3-vaiheisena 11 kW ja 22 kW versioissa. T2-rasiamallien lisäksi voidaan valita kiinteäkaapelin T2 versio kaikissa teholuokissa tai T1 versio 1-vaiheisissa Wallbox-laitteissa. Parking-laitteiden tavoin sekä Wallbox että Smart Wallbox voidaan varustaa T2-rasiamalleissa johtimien lisäsuojilla. (Schneider Electric EVlink 2017, s. 20-31)



Kuva 3.3 Periaatekaavio kahden latauspisteen latausaseman sisäisistä komponenteista (Phoenix Contact Lataustekniikkasarjat 2018).

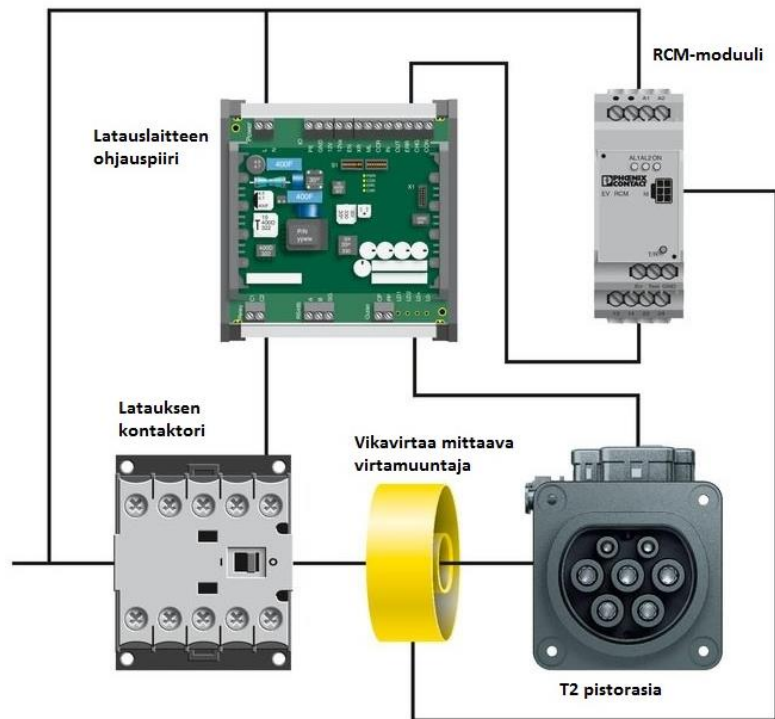
Kuvassa 3.3 on esitetty kahden latauspisteen latausaseman periaatekaavio. Kyseisessä latausasemakokonaisuudessa vikavirtasuojaus on integroituna latausasemaan. Samoin on tehty myös energianmittauksen osalta. Schneider Electricin kahden latauspisteen Parking-laite on lähimpänä kuvan mallia. Parking-latausasemasta löytyy sisäiset virtamuuntajat mittaustiedon keruuta varten, mutta ei erillisiä energiamittareita. Lisäksi vikavirtasuojauksen komponentit on hankittava erikseen. Latauksen ohjainpiiri on latausaseman tapahtumia ohjaava ja valvova yksikkö. Ohjainpiirin teknisistä ominaisuuksista riippuu millaisia liitettävyyteen ja ohjattavuuteen liittyviä asioita latausasemalla voidaan tehdä. Esimerkiksi latausoperaattorin taustajärjestelmään liittymiseksi ja dynaamisen kuormanhallinnan mahdollistamiseksi tarvitaan kehittyneempiä latauksen ohjauspiirejä. Latauksen virtasyötön kytkevät kontaktorit ja liitännän lukituksen vapautusmoduulit ovat pakollisia komponentteja toiminnan kannalta. Kuvan 3.3 periaatekaaviosta puuttuvat esimerkiksi ohjainpiirin virtalähde ja ohjainpiiriin kytkettäviä komponentteja käyttäjän tunnistusta varten, kuten RFID-lukija tai NFC-ohjainpiiri.

3.1.3 Latausasemien etukojeet ja oheislaitteet

Latausasemien pakollisiin etukojeisiin kuuluvat johdonsuojakatkaisijat, jotka suojaavat latausasemia ylikuormitukselta. Sähköauton latauksessa jokaista liitäntäpistettä tulee syöttää omalla ryhmäjohdolla, joka on oman johdonsuojakatkaisijan takana (SFS 6000 2017, 722.532). Ylivirtasuojan mitoituksessa on huomioitava latausaseman teho. Latausvirraltaan 16 A:n laitteisiin valitaan 20 A johdonsuojakatkaisija ja 32 A:n laitteisiin 40 A johdonsuojakatkaisija riittävällä oikosulkukestoisuudella. Johdonsuojakatkaisija valitaan joko C- tai D-käyrällä tapauksesta riippuen niin, että liitäntäpistettä syöttävässä sähköjärjestelmässä selektiivisyys toteutuu (SFS 6000 2017, 722.536). Liitäntäpisteitä syöttävien ryhmäjohtojen johdonsuojien lisäksi kehittyneemmillä ohjauspiireillä varustetuissa älykkäissä latausasemissa on apusähkön syöttöön lisättävä pienempi muutaman ampeerin johdonsuoja, joka suojaa ohjauspiirejä syöttävää virtalähdettä.

Ylivirtasuojauksen lisäksi jokainen liitäntäpiste tarvitsee vikavirtasuojan henkilö- ja palosuojasta varten. Vikavirtasuojan on oltava mitoitusvirraltaan enintään 30 mA ja vähintään A-tyyppiä, jolloin vikavirtasuojan yhteydessä tulee käyttää suojalaitetta, joka varmistaa laitteen poiskytkennän DC-virran ylittäessä 6 mA. Toinen vaihtoehto on käyttää

mitoitusvirraltaan vastaavaa B-tyyppin vikavirtasuojaa, joka itsessään riittää täyttämään vikavirtasuojauksen vaatimukset. Vikavirtasuojakytkimen tulee toimia sähköauton lataussovelluksissa $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. (SFS 6000 2017, 722.531) Kuvassa 3.4 on esitetty Phoenix Contactin latausaseman ohjainpiiriin kytkettävä RCM-moduuli vikavirtaa mittaavalla virtamuuntajalla, joilla yhdessä voidaan havaita tasa- ja vaihtovikavirrat (Phoenix Contact 2018).



Kuva 3.4 Phoenix Contactin latausohjauspiiriin kytkettävä RCM-moduuli virtamuuntajalla vikavirtasuojaukselta varten (Phoenix Contact 2018).

Kuvassa 3.4 esitetty Phoenix Contactin ratkaisu mahdollistaa RCM-moduulin palauttamisen etänä latausaseman ohjainpiiriin kautta vikavirtasuojauksen lauettua (Phoenix Contact 2018). Tämä ominaisuus on erittäin tärkeä käytettävyyden kannalta erityisesti latausoperaattorin hallinnoimissa julkisissa latauskohteissa.

Latauskohteesta, latausasemasta ja latausjärjestelmän arkkitehtuurista riippuen latausasemat tai niiden liitäntäpisteet saattavat tarvita erillisen energiamittarin jokaista liitäntäpistettä kohden. Erilliset energiamittarit voidaan asentaa latausasemien jalustaan tai syöttävään keskukseen. Energiamittarit voivat olla myös integroituna laitteessa. Schneider Electricin

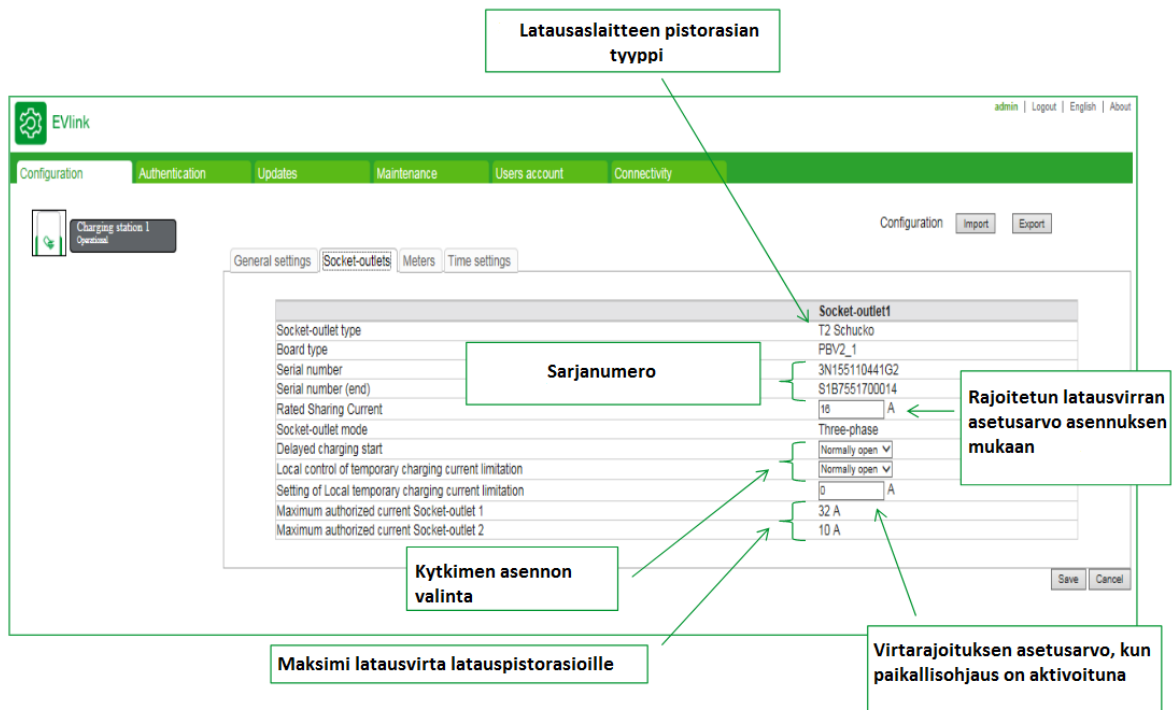
älykkäissä Smart Wallbox ja Parking -latausasemissa on sisäiset virtamuuntajat, joita voidaan hyödyntää latausenergian sekä tehon mittaukseen (Schneider Electric EVlink 2017, s. 20-39). Sähköautojen latausjärjestelmien mittauksen toteutusmalleihin ja ominaisuuksiin palataan myöhemmin tutkimuksessa.

Jos latausjärjestelmä halutaan liittää erilliseen latauspisteitä hallinnoivan latausoperaattorin pilvipohjaiseen taustajärjestelmään, täytyy latausasemiin asentaa 4G/GPRS-modeemi, johon latausoperaattori asentaa oman SIM-korttinsa. Koska modeemi asennetaan usein ulkotilassa olevaan latausasemaan, on modeemin valinnassa syytä kiinnittää huomioita pakkasenkestoon. Schneider Electricin Parking ja Smart Wallbox -latausasemat ovat yhteensopivia pilvipohjaiseen taustajärjestelmään liittämistä varten (Schneider Electric EVlink 2017, s. 20-39). Laitteiden ohjainkortteja voidaan ketjuttaa Ethernet-kaapeleilla ja lopuksi viedä yhdeltä ohjainkortin RJ-45 liitännältä tieto modeemille, jolloin jokaista liitäntäpistettä varten ei tarvita omaa modeemia. Laitteiden tiedonsiirtoyhteyden muodostamiseksi voidaan ketjutuksen sijaan käyttää erillistä Ethernet-kytkintä, jolloin jokaiseen laitteeseen liitetään oma Ethernet-kaapeli. Yleisesti ottaen eri latausasemavalmistajilla ja latausoperaattoreilla on ollut yhteysongelmia, jotka ovat viittaneet modeemiongelmiin. Tämän takia uuden modeemiversion käyttöönotossa on suositeltavaa, että laitevalmistaja tai -toimittaja ja latausoperaattori testaavat yhteistyössä uuden modeemimallin toimintaa latausoperaattorin palvelussa mahdollisten ongelmien havaitsemiseksi etukäteen.

3.1.4 Latausasemien hallintajärjestelmät

Älykkäiden latausasemien avulla voidaan mm. ohjata lataustehoa halutuun kriteeriin, mitata lataustapahtumien sähköenergian määrää sulautetusti, hallita käyttäjätilejä sekä kerätä raportointitietoja esimerkiksi laskuttamista varten. Älykkäiden latausasemien energianhallinnan ja kuormanohjauksen mahdollistamiseksi on latausjärjestelmässä oltava jonkin tason hallintajärjestelmä. Koko latausjärjestelmän tasolla toimivan hallintajärjestelmän toiminta halutulla tavalla edellyttää älykkäiden latausasemien konfigurointia käyttöönottovaiheessa latauspistekohtaisesti.

Älykkäiden latausasemien kehittyneemmät ohjainpiirit mahdollistavat sulautettuja laitekohtaisia kuormanhallintatoimintoja, joita on mahdollista hallinnoida laitteen selainpohjaisen käyttöliittymän kautta. Älykkään latausaseman konfigurointi ja käyttöönotto onnistuvat laitetasolla liittämällä tietokone latauslaitteen ohjainpiirin LAN-porttiin. Selainpohjaisen käyttöliittymän konfigurointisivujen kautta on mahdollista suorittaa halutut esiasettelut, jotka pitävät sisällään latauslaitteen energianhallintaan vaikuttavien asetusten asettelut, kuten latauspisteiden virtarajoitukset eri käyttötilanteiden aikana (Schneider Electric Charging Station Commissioning 2017, s. 11-26). Kuvassa 3.5 on esitetty esimerkkinä EVlink Smart Wallboxin verkkoselainpohjainen käyttöliittymä, jonka kautta voidaan hallita yksittäistä latausasemaa.



Kuva 3.5 EVlink Smart Wallbox selainpohjaisen käyttöliittymän konfigurointisivu, jonka kautta tehdään esimerkiksi latausaseman virta-asettelut. (Schneider Electric Charging Station Commissioning 2017)

Laitekohtaisella hallintajärjestelmällä voidaan konfiguroinnin lisäksi hallita käyttäjätilien sekä käyttäjän tunnistuksen asetuksia, päivittää latausaseman ohjainpiirin laiteohjelmistoa, tarkastella kunnossapidon toimintoja ja määrittää tarvittavat yhteysasetukset käyttökohteen kannalta, kuten latauspisteen IP-osoite. Käyttöönoton aikana tehdyt asettelut on mahdollista tallentaa omaksi tiedostoksi, joka voidaan tuoda järjestelmään esimerkiksi seuraavan

latauslaitteen konfiguroinnin aikana. (Schneider Electric Charging Station Commissioning 2017, s. 11-26)

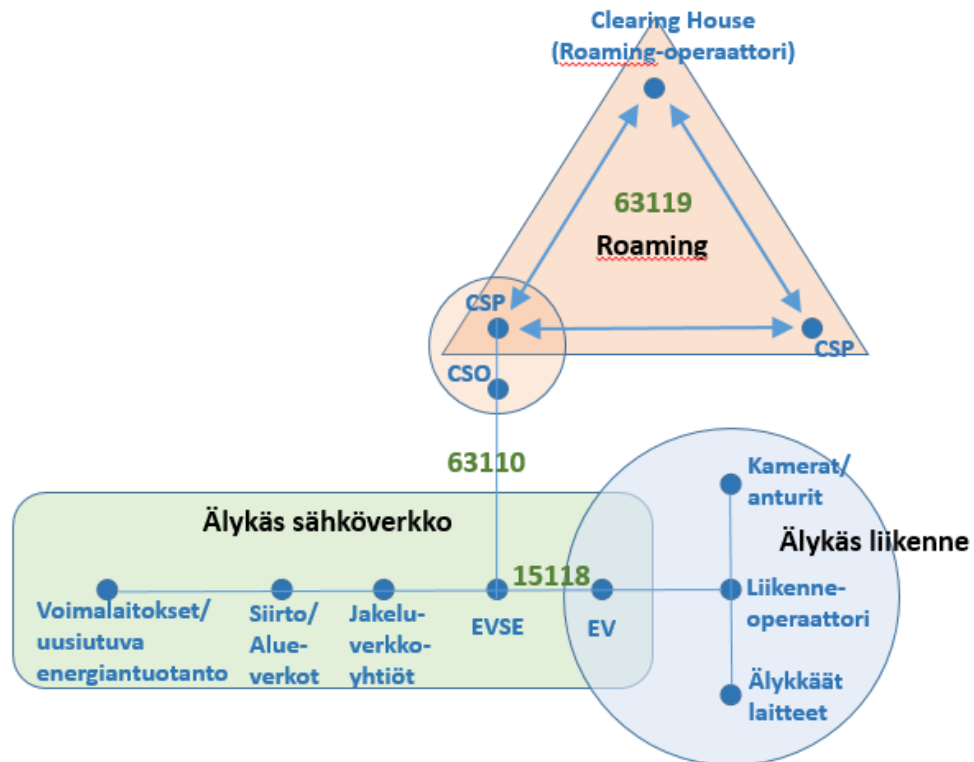
Hallintajärjestelmä voi toimia koko latausjärjestelmän tasolla ohjaten useiden latausasemien kokonaisuuksia. Tällöin aiemmin kuvatut laitekohtaiset parametroidit voidaan suorittaa keskitetysti hallintajärjestelmän kautta. Tällaisessa tapauksessa hallintajärjestelmän ohjelmisto voidaan sulauttaa erilliseen laiteohjainyksikköön, joka toimii käytännössä omana keskusohjaimena latausasemien omille laiteohjaimille. Schneider Electricin tapauksessa tällaisena keskitettynä laiteohjaimena voidaan käyttää SpaceLYnk-logiikkaohjainta, jolle asennetaan oma latauslaitteiston hallintaohjelmisto. Hallintajärjestelmän kautta voidaan lisätä uusia latausasemia latausjärjestelmäkokonaisuuteen edellyttäen, että latausasemalle on määritetty ensin oma IP-osoite ja muut tarvittavat yhteysasetukset laitekohtaisen konfiguroinnin ohessa, jotta hallintajärjestelmä pystyy tunnistamaan kyseisen laitteen. Kun latausjärjestelmäkokonaisuus on määritetty hallintajärjestelmään, voidaan saatavilla oleva latausjärjestelmäkohtainen sähköteho ohjata halutuun kriteeriin latausjärjestelmässä olevien latausasemien kesken. Hallintajärjestelmän kautta suoritettavaan kuormanohjaukseen palataan myöhemmin tutkimuksessa.

3.1.5 Latauksen hallinnan taustajärjestelmät ja -toimijat

Latauksen hallintajärjestelmät -osiossa kuvattuja laitekohtaisen käyttöliittymän kautta hallittavia ominaisuuksia on mahdollista ohjata ja hallita myös etänä. Tällöin latausasemat liitetään taustajärjestelmään, jota tyypillisesti hallinnoi erillinen latausoperaattori. Älykkäiden latausasemien liittämisen erilliseen taustajärjestelmään mahdollistaa laitteiden OCPP-tuki, johon syvennyttään tarkemmin Latauksen tiedonsiirto ja kommunikointi -osiossa.

Latausoperaattorilla eli CSO:lla viitataan yleisesti toimijaan, joka on vastuussa osasta tai kaikista latauslaitejärjestelmää koskevan asennuksen toiminnoista, kunnossapidosta ja latausasemien operoinnista julkisissa latauskohteissa. Latauspalveluntarjoaja eli CSP voi toimia yhdessä latausoperaattorin kanssa huolehtien käyttäjänhallinnasta ja -tunnistuksesta sekä tarjoamalla latauksen lisäpalveluita käyttäjille. Latauspalveluntarjoaja ei kuitenkaan vastaa varsinaisten latausasemien asennuksista, kunnossapidosta tai operoinnista. Sähköisen

liikkuvuuden palveluntarjoaja eli EMSP on toimija, joka voi olla yhteydessä latausoperaattorin kanssa suoraan tai välillisesti. Sähköisen liikkuvuuden palveluntarjoaja tarjoaa kuluttajille korkean tason palveluita sähköauton käyttämiseen liittyen. Tällaisia palveluita ovat mm. auton vuokrauspalvelut, pysäköinnin varauspalvelut, karttapalvelut ja sähköauton latauspalvelut. Sähköautojen latauksen roaming-palveluilla tarkoitetaan latauspalveluntarjoajien välistä joko suoraa tai välillistä tiedonsiirtoa eri palveluntarjoajien verkoissa. Roaming-palveluilla voidaan yhdistää eri latauspalveluntarjoajien latausverkostoja niin, että kuluttajan on mahdollista ladata sähköautoaan valitsemansa palveluntarjoajan kautta toisen palveluntarjoajan latausverkostossa. Clearing House -toimija toimii roaming-operaattorina mahdollistaen keskitetysti välilliset roaming-palvelut latauspalveluntarjoajien välillä. Tulevaisuudessa V2G-sovellusten yleistyessä latauslaitteet voivat olla suorassa yhteydessä jakeluverkkoyhtiöihin IEC 15118-standardin puitteissa ollen osa älykästä sähköverkkoa. Samaan rajapintaan voidaan lisäksi liittää älykkään liikenteen palvelukokonaisuudet. Kuvassa 3.6 on havainnollistava kaavio siitä, miten eri sähköauton latauksen taustatoimijat ja -kokonaisuudet vaikuttavat toisiinsa. (IEC 63119-1 Edition 1.0. 2017, s. 8-17)

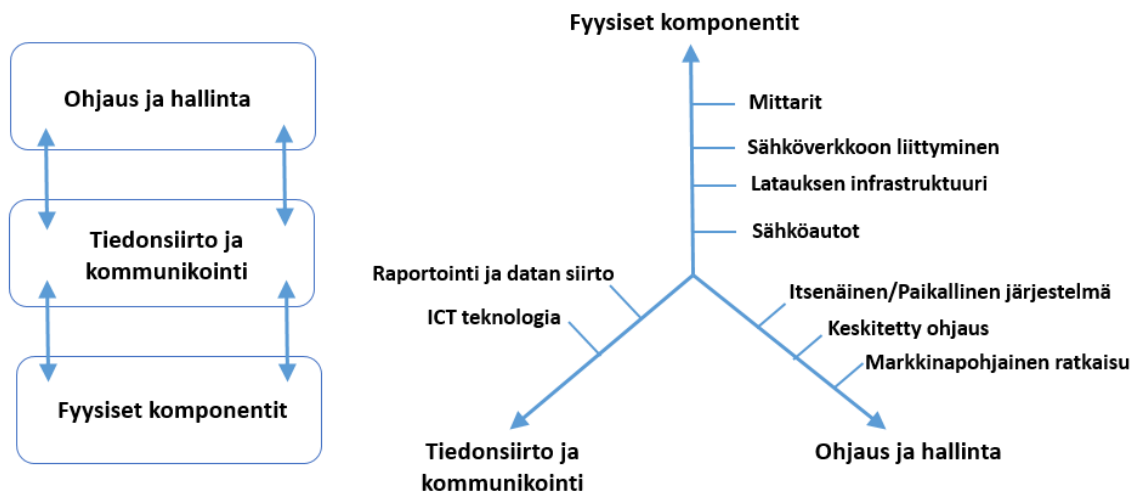


Kuva 3.6 Sähköautojen latausjärjestelmien taustatoimijoiden ja -kokonaisuuksien muodostama systeemiarkkitehtuuri (IEC 63119-1 Edition 1.0. 2017, s. 10).

Suomessa tunnetuimpia latausoperaattorin tai latauspalveluntarjoajan palveluita tarjoavia toimijoita ovat Plugit, Fortum Charge & Drive, Virta ja Parkkisähkö. PlugIt on tällä hetkellä Schneider Electricin yhteistyökumppani sähköautojen latausmarkkinoilla Suomessa. Plugit tarjoaa asiakkailleen lataukseen liittyviä palveluita hyödyntäen heidän taustajärjestelmänsä Plugit IoT Cloudin mahdollistamia ominaisuuksia (Plugit 2017). Latauslaitevalmistajien ja eri latausoperaattoreiden tai latauspalveluntarjoajien välinen yhteistyö on suotavaa, koska sähköauton latausjärjestelmän haltijan olisi AFI-direktiivin mukaan pystyttävä riippumattomasti tarjoamaan latauspalveluja eri latauspalveluntarjoajien nimissä (Eur-Lex 2014, 4. Artikla).

3.2 Latausjärjestelmän rakenne

Aiemmin tutkimuksessa on perehdytty sähköautojen latausjärjestelmien osakokonaisuuksiin, joita voi olla suurien ja kehittyneempien latausjärjestelmien osalta hyvinkin paljon. Toisaalta pieni latausjärjestelmä voi toimia täysin itsenäisesti ja olla toteutukseltaan varsin yksinkertainen. Latausjärjestelmä koostuu erilaisista komponenteista, kuten mm. fyysistä laitteista sekä tiedonsiirrollisista ja ohjelmistopohjaisista työkaluista ohjauksen sekä hallinnan tarkoituksessa. Latausjärjestelmien rakenteiden tarkastelussa voidaan latausjärjestelmiä lähestyä kerrosmalliajattelulla (Zhao 2009, s. 6-7). Latausjärjestelmän arkkitehtuurissa pohjimmaisena kerroksen muodostavat fyysiset komponentit, joita täydentävät tiedonsiirrolliset ja kommunikaatioon vaikuttavat tekijät (Zhao 2009, s. 6-7). Ylimmän arkkitehtuurikerroksen muodostavat ohjaus ja hallinta (Zhao 2009, s. 6-7). Edellä mainittuihin kerroksiin voidaan sisällyttää aiemmin käsitellyjä osakokonaisuuksia. Kuvassa 3.7 on kuvattuna sähköauton latausjärjestelmän rakenne kerrosmallin mukaisesti.



Kuva 3.7 Sähköauton latausjärjestelmän rakenteen kuvaus kerrosmallilla (Zhao 2009, s. 7).

Kuvan 3.7 kaltainen malli auttaa latausjärjestelmän rakenteen hahmottamisessa. Kyseinen malli on hieman puutteellinen ainakin siltä osin, että se ei ota kantaa varsinaisen latauskohteen asettamiin vaatimuksiin esimerkiksi turvallisuuden osalta, mutta malli tarjoaa joka tapauksessa suuntaa antavan katsauksen siihen, mihin tekijöihin latausjärjestelmän suunnittelussa tulee vähintään kiinnittää huomiota. Mallista voidaan havaita, että eri kerrosten ja niiden osakokonaisuuksien välillä vallitsee keskinäisiä riippuvuussuhteita. Jos esimerkiksi latausjärjestelmän ohjaus ja hallinta halutaan keskittää, on tämä otettava huomioon latauslaitteiden valinnassa, modeemin valinnassa, tiedonsiirron kaapeloinnissa ja muissa vastaavissa osatekijöissä, jotka sisältyvät muihin latausjärjestelmämallin rajapintoihin. Koska latausjärjestelmän arkkitehtuuria voidaan pitää kompleksisena, on suunnittelussa tärkeä ymmärtää asiakkaan tarpeet sähköauton latauksen osalta. Myös asiakkaalle on pystyttävä selventämään, miten hänen vaatimansa ominaisuudet latauksen osalta vaikuttavat latausjärjestelmän kokonaisratkaisuun.

3.2.1 Itsenäinen latausjärjestelmä

Itsenäisellä latausjärjestelmällä viitataan järjestelmäkokonaisuuteen, johon ei tarvita erillistä latausoperaattoria tai latauspalveluntarjoajaa ohjaamaan latausjärjestelmän toimintoja. Itsenäisen latausjärjestelmän latausasemilta ei siis välttämättä vaadita OCPP-tukea tiedonsiirtoon ulkopuolisen toimijan kanssa. Itsenäisesti toimivaa latausjärjestelmää ei myöskään liitetä muihin ohjausjärjestelmiin eli latausjärjestelmän hallintaan ei vaikuta järjestelmän ulkopuolinen tiedonsiirto. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että

latausjärjestelmän sähkönsyöttö on mitoitettava tietylle kiinteälle tasolle muun kiinteistön sähköjakelun huippukulutustaso huomioiden, koska järjestelmä ei saa ulkopuolisia mittauksen tulossignaaleita, joiden mukaan se voisi säädellä käytössä olevaa tehokapasiteettia. Tällaisesta kiinteälle syöttökapasiteettitasolle säädetyistä latausjärjestelmästä voidaan käyttää termiä staattinen latausjärjestelmä. Itsenäisen latausjärjestelmän syötön mitoituksessa on siis tiedettävä tai laskettava sekä osittain arvioitava muun kiinteistön sähkönkulutus huippukulutuksen ajankohtina. Esimerkiksi asuinkiinteistöissä tällainen huippukulutuksen ajankohta on tyypillisesti jouluna, jolloin asuinkiinteistöissä käytetään paljon uuneja, kiukaita ja muita sähkölaitteita samanaikaisesti. Tällöin kiinteistön sähköjakelun kapasiteetti sähköautojen latausjärjestelmälle saattaa jäädä hyvinkin vähäiseksi verrattuna kiinteistön keskimääräisiin sähkönkulutuksen arvoihin.

Itsenäisen latausjärjestelmän kuormanhallinta voidaan toteuttaa latausjärjestelmän sisällä jakamalla tarvittaessa latausjärjestelmän syöttötehoa latauslaitteiden välillä asetettujen kriteerien perusteella. Latausjärjestelmän virranjaossa latauspisteille prioriteettina voidaan käyttää esimerkiksi latausenergiaa tai latausaikaa, jolloin esimerkiksi vähiten latauksessa olleet tai latautuneet autot ladataan suuremmilla latausvirroilla. Latauspisteiden lataustehoa voidaan joko pudottaa maksimiarvosta tai latauspisteiden latausajankohtia on mahdollista vuorotella latauskuorman hallitsemiseksi. Lataustehon jakaminen laitekohtaisesti edellyttää tiedonsiirtoyhteyttä latausasemien ja hallintajärjestelmän välillä. Latauspistekohtainen mittaustiedonkeruu latauskuorman energianhallintaa varten on toteutettavissa käyttämällä latausasemia, joissa on integroidut energianmittausominaisuudet. Latausjärjestelmien mittaukseen palataan myöhemmin tutkimuksessa.

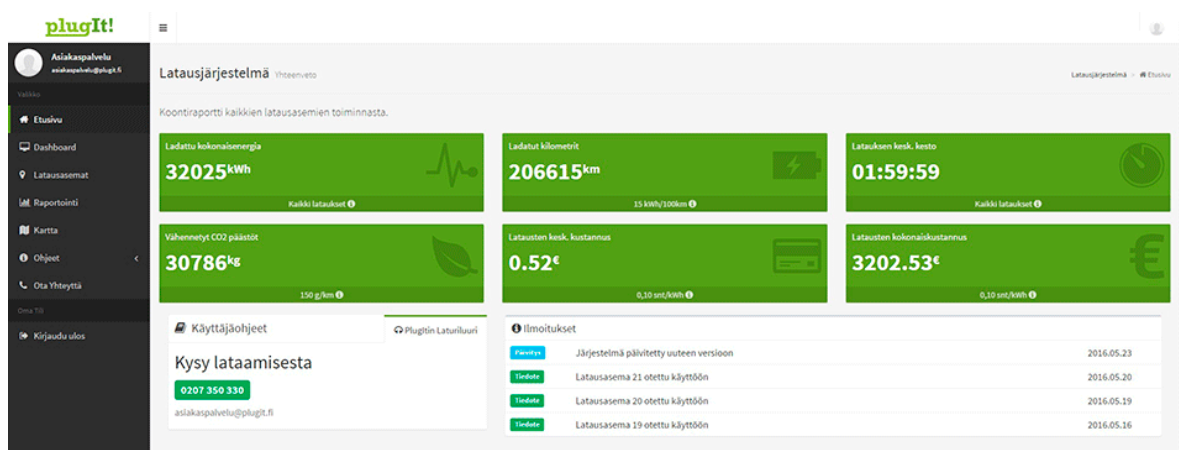
Itsenäisen latausjärjestelmän energianhallinta on mahdollista toteuttaa myös ilman latauspistekohtaisia mittauksia ja keskitettyä hallintajärjestelmää. Tällöin latauslaitteiden syöttöjen yhteyteen liitetään erillinen kuormanpuodotuskontactori, jonka toissijaisten syöttöpiirien kuormanpuolitusohjauksien lähtöihin liitetään latausasemat ja ensisijaisen syöttöpiirin lähtöön muu korkeamman prioriteetin sähkönsyöttö. Kuormanpuodotuskontactorille asetetaan mittauksen asetusarvo ensisijaiselle syöttöpiirille, jonka ylittyä toissijaisten syöttöpiirien eli latausasemien latausvirta tippuu asetettuun puolitusarvoon, kun latausasemat saavat kärkitiedon kuormanpuolituskontactorilta.

Tällaista yksinkertaistettua kuormanhallintaa voidaan soveltaa EVlink Wallbox latausasemiin, joista löytyy tuki kiinteälle kuormanpudotustoiminnolle.

3.2.2 Latausoperaattorin taustajärjestelmään liitetty latausjärjestelmä

Kuten tutkimuksessa on jo aiemmin todettu, voidaan latausjärjestelmän kuormanhallinta toteuttaa etänä taustajärjestelmän kautta. Taustajärjestelmän käyttö mahdollistaa latausasemien energianhallinnan lisäksi muita latausjärjestelmän kehittyneempiä kuormanohjaukseen liittyviä ominaisuuksia, jotka ovat merkittävässä asemassa latausjärjestelmän käytön ja seurannan kannalta.

Tarkastellaan seuraavaksi Plugitin taustajärjestelmän mahdollistamia ominaisuuksia. Plugitin taustajärjestelmän avulla on mahdollista toteuttaa raportointi ladatusta energiasta tai lataustapahtumien kustannuksista (Plugit 2017). Myös latauspisteitä voidaan seurata ja ohjata etänä OCPP-protokollan puitteissa (Plugit 2017). Lisäksi latauspisteiden käyttäjänhallinta sekä huolto- ja ylläpitolokien seuranta ovat mahdollista toteuttaa taustajärjestelmän avulla (Plugit 2017). Yleisesti ottaen myös muiden latausoperaattorien taustajärjestelmät mahdollistavat vastaavanlaisia ominaisuuksia. Kuvassa 3.8 on havainnollistava näkymä Plugitin taustajärjestelmän käyttöliittymästä.



Kuva 3.8 Plugit IoT Cloud taustajärjestelmän käyttöliittymän näkymä, josta voidaan seurata mm. ladattua kokonaisenergiaa, latauksen keskiarvoollista kustannusta ja vähennettyä CO₂-päästöjä. (Plugit 2017).

3.2.3 Kiinteistöautomaatioon liitetty latausjärjestelmä

Tarvittaessa itsenäinen latausjärjestelmä voidaan liittää osaksi kiinteistöautomaatiota. Yksinkertaisilla peruslatausasemilla, kuten EVlink Wallboxeilla toteutetussa latausjärjestelmässä on mahdollista viedä mitatut energiatiedot yksittäisiltä latauspisteiltä kiinteistöautomaation hallintajärjestelmälle, jos jokaisen latauspisteen yhteyteen on lisätty oma erillinen mittauspiste. Älykkäämmillä latauslaitteilla, kuten EVlink Smart Wallbox tai Parking -latauslaitteilla sisäisten virtamuuntajien mittaama mittaustieto saadaan suoraan vietyä laitteiden omilta ohjainpiireiltä kiinteistöautomaation hallintajärjestelmään Modbus TCP/IP -protokollaa hyödyntäen.

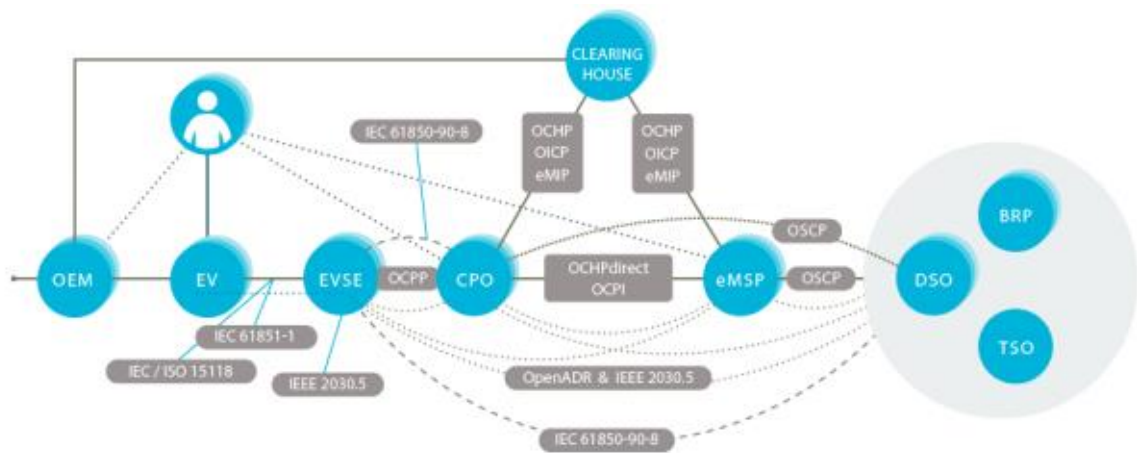
Kiinteistönhallintajärjestelmän kautta Modbus-väylään liitettyjen EVlink-latausasemien latausvirtojen rajoja voidaan hallita muun kiinteistön kuormituksen mukaan. Kiinteistönhallintajärjestelmään saadun latausjärjestelmän mittausdatan ja muun kiinteistön mittauspisteiden mittausdatan pohjalta voidaan suunnitella kehittyneempiä kuormanhallinnan latausstrategioita, jotka huomioivat myös muut kiinteistön sähköjakeluun liitetyt järjestelmäkokonaisuudet, kuten ilmanvaihdon, valaistuksen ja kulunvalvonnan.

3.3 Latauksen tiedonsiirto ja kommunikointi

Älykkäissä latausjärjestelmissä fyysisten komponenttien sekä ohjaus- ja hallintatoimintojen lisäksi tarvitaan tiedonsiirtoa ja kommunikointia kuorman ohjaukseen ja latauksesta kerätyn datan välittämiseen. Latausasemien ja käyttäjien eli sähköautojen lataajien välillä voidaan tarvita käyttäjän tunnistusta lataustapahtumien ohjauksen ja seurannan mahdollistamiseksi. Latausjärjestelmän sisäisen tiedonsiirron sekä kommunikoinnin avulla toteutetaan latausasemien ja niitä ohjaavan energianhallintajärjestelmän välinen kuormanhallinta. Latausjärjestelmän latausasemien ohjausta ja seuranta voidaan suorittaa pilvipohjaisena palveluna erillisen taustajärjestelmän kautta OCPP-protokollaa hyödyntäen. OCPP-protokolla on latauslaitteiden ja latausoperaattorin välinen avoin tiedonsiirtoprotokolla, joka antaa raamit latausjärjestelmän etätoimintojen hyödyntämiselle.

Taustajärjestelmää hallinnoivan latausoperaattorin lisäpalveluita voidaan ulkoistaa erilliselle latauspalveluntarjoajalle suoraan tai välillisesti vakiintuneilla protokollilla. Jakeluverkkojen

haltijat voivat tulevaisuudessa antaa latausjärjestelmille ulkoisia ohjaussignaaleita esimerkiksi OpenADR-protokollan avulla. Taustajärjestelmään liitetyn latausoperaattorin hallinnoiman latausjärjestelmän ulkopuolinen ohjaus jakeluverkkoyhtiön toimesta voisi pohjautua OSCP-protokollaan, joka on OCPP-protokollan tavoin Open Charge Alliancen kehittämä protokolla. Open Charge Alliance eli OCA on globaali konsortio, joka kehittää avoimia kommunikointiprotokollia älykkäisiin latausarkkitehtuureihin (Open Charge Alliance 2017). OCA:een kuuluu joukko sähköauton latauksen johtavia toimijoita mukaan luettuna Schneider Electric (Open Charge Alliance 2017). Kuvassa 3.9 on esitetty kehittynyt älykkään latauksen mahdollistava latausarkkitehtuuri.



Kuva 3.9 Älykkään latauksen mahdollistava kehittynyt latausarkkitehtuuri tiedonsiirtoprotokollinen (ElaadNL 2017, s. 68).

Kuvan 3.9 avulla voidaan hyvin hahmottaa älykkään latausarkkitehtuurin kompleksisuus. Kuvassa 3.9 OEM on alkuperäinen laitevalmistaja eli tässä tapauksessa sähköautovalmistaja, EV on sähköauto, EVSE on latausasema, CPO on latausoperaattori, eMSP on sähköisen liikkuvuuden palveluntarjoaja, Clearing House on roaming-palveluntarjoaja, DSO on jakeluverkkoyhtiö, BRP on sähköverkon tasapainoa säätelevä taho, TSO on sähkön siirtoa hallinnoiva taho, OCPP on avoin tiedonsiirtoprotokolla latausjärjestelmän ja taustajärjestelmän välillä, eMIP ja OCHP ovat roaming-palvelun mahdollistavia protokollia, OCPI on suora tiedonsiirtoprotokolla latausoperaattorin ja latauspalveluntarjoajan välillä, OSCP sekä OpenADR ovat tiedonsiirtoprotokollia jakeluverkkoyhtiön ja latausjärjestelmän tai sitä ohjaavien osapuolten välillä. Suomessa käytännössä katsottuna BRP:n ja TSO:n asemasta vastaa valtion kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj.

3.3.1 Käyttäjän tunnistus

Käyttäjän tunnistuksella tarkoitetaan latauspisteelle tunnistautumista jollain tunnistautumismenetelmällä. Käyttäjän tunnistuksella latauspisteen käyttäjä pääsee aloittamaan tai lopettamaan lataustapahtuman. Latausoperaattori tai latauspalveluntarjoaja puolestaan saa monipuolista tietoa lataussuoritteista, mikä mahdollistaa esimerkiksi käyttäjäkohtaisen laskutuksen yhteiskäyttöisissä latauspisteissä. Ilman käyttäjän tunnistusta sähköauton lataaja ei voi antaa latausjärjestelmälle kuormanhallintaan mahdollisesti vaikuttavia ulkoisia signaaleja.

Yksinkertaisilla peruslatausasemilla ei yleensä ole tarjota erityisiä käyttäjän tunnistusmahdollisuuksia. EVlink Wallbox -latausasemat on varustettu avainlukituksella, jolla voidaan varmistaa, että ulkopuoliset käyttäjät eivät pääse keskeyttämään tai aloittamaan latausta virtapainikkeesta. Rasiemallisten EVlink Wallboxien latauspistorasioiden luukut saadaan lisäksi erikseen lukittua avaimella.

Älykkäämmistä peruslatauksen latausasemista löytyy usein integroitu RFID-lukija, jonka kautta voidaan suorittaa käyttäjän tunnistus. RFID-lukijoita voidaan hyödyntää sekä itsenäisissä että taustajärjestelmään liitetyissä latausjärjestelmissä. RFID-lukijalla varustettujen EVlink-latausasemien mukana tulee valmiiksi RFID-kortteja, jotka ovat esiohjelmoitu niin, että niillä voidaan tunnistautua latausasemalle. Käyttäjätilejä ja tunnistautumisasetuksia voidaan hallita latausaseman selainpohjaisen käyttöliittymän kautta. Käyttäjätilejä ja RFID-tunnisteiden käyttöä voidaan myös hallita keskitetysti latausoperaattorin taustajärjestelmän kautta. RFID-tunniste voi olla henkilökohtainen käyttäjäkohtaisen latausenergian seurannan kannalta esimerkiksi taloyhtiökohteissa ja työpaikoilla. Yhteiskäyttöinen RFID-tunniste soveltuu puolestaan käytettäväksi esimerkiksi yritysten asiakaspysäköintipaikoilla, joilla asiakkaat voivat ladata sähköautojaan ilmaiseksi yritystapaamisten aikana.

Latauspalveluntarjoajat ovat kehittäneet erilaisia mobiilitunnistautumisen menetelmiä tuomaan lisäarvoa palveluiden käyttäjille. Näistä merkittävimpänä voidaan mainita erilaiset taustajärjestelmien mobiilisovellusten kautta tapahtuvat tunnistautumiset. Mobiilisovellusten kautta käyttäjän tunnistautumisella voidaan lataustapahtuman aloituksen

lisäksi varata haluttu latauspiste tarvittavaksi ajaksi ennen latauspisteelle saapumista. Myös erilaisia mobiilikorttisovelluksia voidaan hyödyntää käyttäjän tunnistautumiseen, jos latauslaite tukee NFC-tiedonsiirtoa.

Julkisten latauspisteiden osalta laskutukseen on latausoperaattoreilla käytössä tekstiviestimaksaminen, jolla taataan mahdollisuus vaatimusten mukaiseen maksamiseen julkisella latauspaikalla ilman sitoutumista palveluntarjoajan palveluun. Tällöin tekstiviesti palveluntarjoajalle toimii myös tunnistusmenetelmänä kyseiselle latauspisteelle.

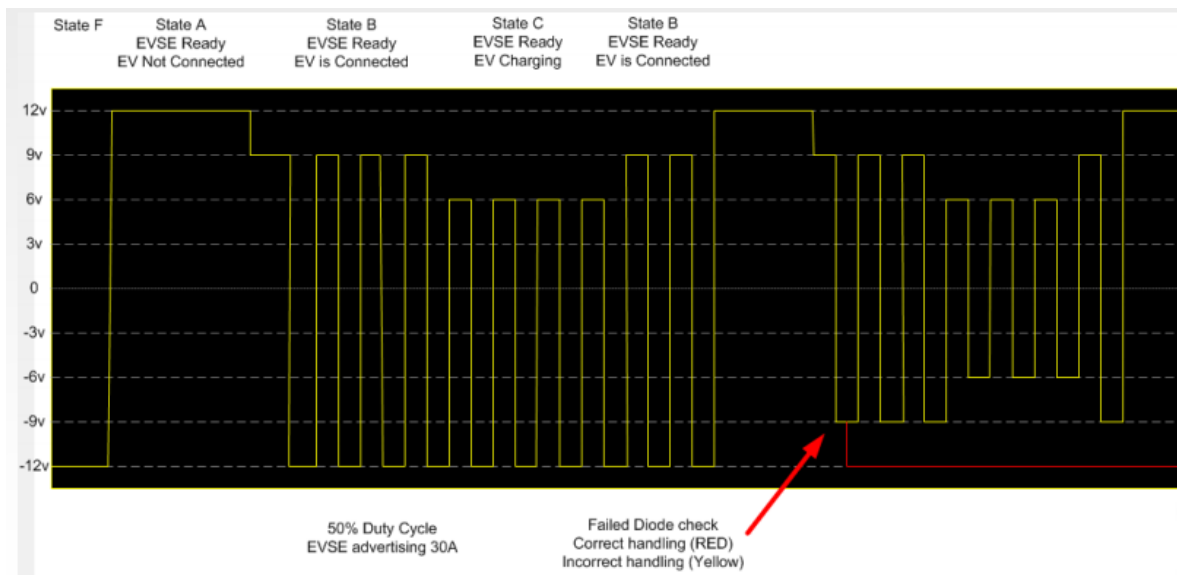
Jatkossa latauksen käyttäjän tunnistuksessa voidaan siirtyä SFS-EN ISO 15118 standardisarjan mahdollistamaan suoraan liitä ja lataa eli PnC-tunnistukseen, jossa käyttäjän ei tarvitse tehdä erillisiä tunnistustoimia lataustapahtuman aloittamiseksi, vaan pelkkä latauskaapelin kytkeminen latausasemaan riittää. Tälläkin tunnistustavalla lataus voi pitää sisällään kuormanhallintaa, käyttäjän tunnistautumiseen liittyvän tiedonhallinnan ja laskutuksen. PnC-tunnistus toteutuu auton ja latausaseman ohjainpiirien välisellä tiedonsiirrolla niin, että latauksesta on olemassa ennalta määritetty sopimus, joka mahdollistaa lataussekvenssin aloituksen (SFS-EN ISO 15118-2, 2014 s. 166). (SFS-EN ISO 15118-1, 2015 s. 12)

3.3.2 Latauksen ohjaussignaali sähköauton ja latauspisteen välillä

Sähköauton peruslatauksessa sähköauton ja latauspisteen välillä on aina tiedonsiirtoyhteys latauksen aikana. Latauksen turvallisuuden kannalta latausaseman pistorasia tai vastaavasti kiinteäkaapelisen latausaseman latauskaapelin pistoke ovat aina jännitteettömiä, kun auto ei ole latauksessa. Sähköauton latauskaapelissa kulkeva Control Pilot eli CP-signaali ohjaa latauksen aloitusta, lopetusta ja latauksen aikana tapahtuvaa latausvirran suuruuden säätelyä. Proximity Pilot eli PP-signaalilla rajoitetaan latausvirran maksimiarvoa perustuen PP-johtimen ja suojamaan eli PE-johtimen väliseen resistanssiin (IEC 61851-1 Edition 3.0. 2017, s. 82-85). PP-signaali käytännössä antaa autolle virtarajat lataukseen latausaseman ja latauskaapelin sähkötekniisten rajojen osalta. PP-kosketintiedolla aktivoidaan myös ajonesto ja varmistetaan latauspistokkeen kunnollinen kiinnittyminen ajoneuvovastakkeeseen.

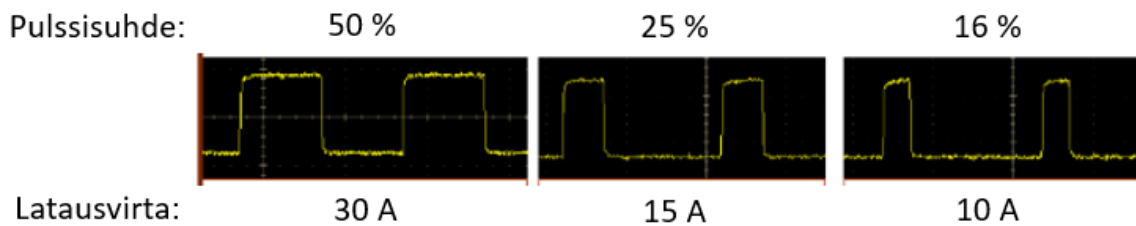
Latauksenaikaiseen virranohjaukseen käytetään CP-signaalia, joka on ± 12 V ja 1 kHz kanttiaaltainen signaali, jota ohjataan PWM:llä eli pulssileveysmodulaatiolla muuttamalla

ohjaussignaalin pulssisuhdetta. Ohjaussignaalin jännitetaso vaikuttaa erityisesti lataustilaan. Sähköauton peruslatauksessa auton kommunikoinnin ohjainpiiri toimii latauksen masterina, jolle latausaseman ohjainpiiri pyrkii viestittämään virranmuutoskomentoja. Latausasema mittaa jatkuvasti sen läpi kulkevaa latausvirtaa ja vertaa mitta-arvoa kuormanhallinnan asetusrvoon, jonka pohjalta latausasema antaa ohjauspyyntöjä auton ohjainpiirille. Kuvassa 3.10 on esitetty Control Pilot -signaalin käyttäytymistä erilaisissa lataustilanteissa.



Kuva 3.10 Control Pilot -ohjaussignaalin käyttäytyminen latauksen aikana erilaisissa lataustilanteissa (Howell 2015, s. 11-13).

Kuvan 3.10 mukaan signaalin alkutilanne -12 V viittaa joko virheeseen tai latausasema ei ole valmiina lataukseen. Jännitteen nousu 12 V:iin viestittää latausaseman käyttövalmiudesta. Kun CP-signaalin jännite vaihtelee 9 V:n ja -12 V:n välillä 50 %:n pulssisuhdeella, on sähköauto liitetty latausasemaan ja latausasema latausvalmiudessa. CP-signaalin ylemmän jännitetason pudotessa 6 V:iin alkaa sähköauto vastaanottamaan latausvirtaa latausasemalta. Signaalin pulssisuhde eli kantiaallon pulssin leveydellä yhden kellojakson aikana vaikuttaa latausvirran suuruuteen. Kuvan 3.10 tapauksessa pulssisuhde on 50 %, mikä tarkoittaa 30 A:n latausvirtaa. Suurempi pulssisuhde kasvattaa latausvirran arvoa ja pienempi pulssisuhde laskee latausarvoa. Pienimmällä mahdollisella latausvirralla eli 6 A:lla pulssisuhde on 10 % ja maksimilatausvirralla eli 63 A:lla noin 90 %. Kuvassa 3.11 on havainnollistettu CP-signaalin pulssisuhteen vaikutusta latausvirran suuruuteen.



Kuva 3.11 Control Pilot -ohjaussignaalin pulssisuhteen vaikutus latausvirran suuruuteen.

Palataan takaisin vielä kuvaan 3.10, josta nähdään, että latausvirran vastaanotto autolla päättyy, kun CP-signaalin ylempi jännitetaso nousee jälleen 9 V:iin. Yhteys latausaseman ja auton välillä päättyy, kun CP-signaalin arvo on jälleen 12 V. Kuvan 3.10 CP-signaalissa esitetään vielä yhteyden virhetilanne, joka ilmenee signaalissa alentuneina jännitetasojen vaihteluväleinä.

Latauksen kuormanhallinnan ohjauksen kannalta on oleellista tietää virranohjauksen reagoinnin vasteaikoja. Virranmuutoksen vasteaikoihin vaikuttaa latauksessa olevan sähköauton on-board laturin ominaisuudet, jotka ovat yleisesti ottaen kehittyneet huomattavasti viime vuosien aikana tehoelektroniikan kehityksen myötä. Vanhemman sähköautomallin vasteaika virranmuutoksen ohjauspyyntöön voi olla 2-3 sekuntia, kun uudempi sähköauto voi reagoida vastaavaan tilanteeseen 0,2 sekunnissa. (Martinen 2016)

3.3.3 Tiedonsiirto latausjärjestelmän ja taustajärjestelmän välillä

Taustajärjestelmään liitetyn latausjärjestelmän tiedonsiirtoon käytetään avointa Open Charge Alliancen kehittämää OCPP-protokollaa, joka on vakiinnuttamassa asemaansa sähköauton latauksen tiedonsiirtoa käsittelevissä IEC-standardeissa. Kaikkien latausasemia valmistavien tahojen älykkäistä latausasemista, mukaan luettuna Schneider Electricin Smart Wallbox ja Parking -latausasemat, löytyy tuki OCPP-protokollalle. OCPP-protokollaa on olemassa eri versioita, joista OCPP 1.5 ja 1.6 tukevat IEC 61851-1 -standardia ja OCPP 2.0 tukee IEC 15118 -standardia, joka on kehitetty V2G-rajapintaa varten. OCPP 1.5 on saatavana SOAP-protokollalla, joka toimii HTTP:n yli. OCPP 1.6 on SOAP-protokollan lisäksi saatavana JSON-protokollalla, joka toimii WebSockettien yli mahdollistaen älykkäät lataustapahtumat (Open Charge Alliance 2017).

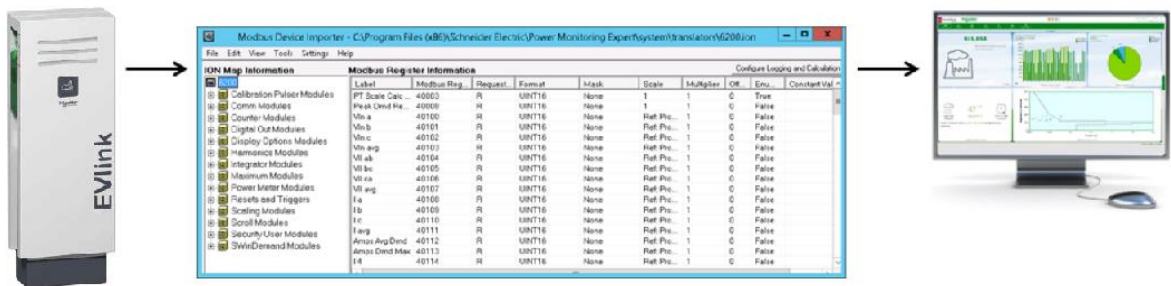
OCPP 1.5 -protokolla mahdollistaa mittauksen laskutustarkoituksessa niin, että mittausarvot eivät sisälly laskutussuoritteisiin. OCPP 1.5 tukee lataustapahtumien tunnistusta ja välittää jaksottaisesti latauspisteiden tilatietoja. Myös latauspisteiden varaus-, saatavuus-, ja virhetietojen välitys, laiteohjelmistojen päivitys sekä latauskaapelin vapautus autosta tai latausasemasta onnistuvat OCPP 1.5 -protokollan avulla. Lisäksi latausasemat voidaan tarvittaessa uudelleenkäynnistää etänä esimerkiksi virhetilanteesta palautumiseksi. OCPP 1.6 mahdollistaa OCPP 1.5:stä poiketen älykkään latauksen ominaisuuksia latauskuorman hallinnointiin keskitetysti tai paikallisesti. OCPP 1.6 tukee latauspisteen viestin uudelleenlähetystä esimerkiksi viimeisimmän mittaustiedon tai tilatiedon saamiseksi. Lisäksi OCPP 1.6:een on laajennettu mahdollisuuksia offline-tilassa operointiin ja tunnistautumiseen. (Open Charge Alliance OCPP 2017)

OCPP 2.0 sisältää parannuksia älykkään latauksen toimintoihin mahdollistaen lataamisen autosta verkkoon ja ulkopuolisten ohjaussignaaleiden käytön latauksen ohjauksen yhteydessä. OCPP 2.0 tukee erilaisten tariffi- ja kustannustietojen näyttämistä. Latausoperaattoreiden mahdollisuudet latauspisteiden asetusarvojen määrittämiseksi etänä paranevat OCPP 2.0:n myötä. Lisäksi OCPP 2.0:aan on lisätty turvallisuusparannuksia mm. TLS-suojauksen ja käyttäjän tunnistautumistietojen osalta. Tulevaisuudessa OCPP-protokollaa pyritään kehittämään niin, että se tukee PnC-tunnistusta, ja lisäksi on ehdotettu digitaalista allekirjoitusmahdollisuutta mittausedalle. Myös latauspisteiltä tulevaa informatiivista viestintää käyttäjälle pyritään kehittämään. (Open Charge Alliance 2017; Open Charge Alliance OCPP 2017)

Suomessa latausoperaattorit ovat palveluissaan siirtyneet käyttämään OCPP 1.6 versiota korvaten aiemman 1.5 version. OCPP 2.0 -protokollaa ei ole vielä otettu yleisesti käyttöön. OCPP-protokollan ominaisuuksien kehittyessä ja laajentuessa latauslaitevalmistajien ja taustajärjestelmien kehittäjien välisen yhteistyön merkitys korostuu entisestään, jotta protokollan kehitysversioiden uusia ominaisuuksia pystyttäisiin mahdollisimman kattavasti hyödyntämään yhteensopivuusongelmia välttäen. Tulevaisuudessa OCPP-protokollasta tullaan näillä näkymin tekemään virallinen standardi sähköauton latauksen tiedonsiirrossa.

3.3.4 Latausasemien ja kiinteistönhallintajärjestelmän välinen tiedonsiirto

Älykkäät latausasemat voidaan liittää suoraan kiinteistöautomaatioon, jos ne tukevat Modbus-tiedonsiirtoa. Schneider Electricin Smart Wallbox ja Parking latausasemat tukevat Modbus TCP/IP-protokollaa, jonka kautta voidaan suorittaa tiedonsiirto kiinteistönhallintajärjestelmälle asti (Schneider Electric EVlink 2017, s. 26-49). Yhdistetyssä TCP/IP-protokollassa TCP-tietoliikenneprotokolla muodostetaan yhteyksiä kohteiden välille, ja IP-protokollalla suoritetaan päätelaitteiden osoitteistaminen sekä siirrettävien datapakettien reititys (Acromag 2005, s. 4-8). Modbus TCP/IP protokolla on käytännössä kuin sarjaliikenneväylien kanssa tyypillisesti käytettävä Modbus RTU, mutta siihen on lisätty TCP-rajapinta ja sitä käytetään Ethernet-verkkojen kautta (Acromag 2005, s. 4-8). EVlink latausaseman ohjainpiirin Ethernet-portin kautta saadaan vietyä tietoa suoraan esimerkiksi itsenäisesti toimivalle Microsoft SQL -serverille, jota hallinnoidaan Power Monitoring Expert -ohjelmistolla. Kuvassa 3.12 on havainnollistettu, kuinka Modbus-laite eli tässä tapauksessa EVlink -latausaseman laiteprofiili voidaan tehdä Modbus Device Importer -työkalua hyödyntäen ja lisätä Power Monitoring Expert -hallintajärjestelmään.



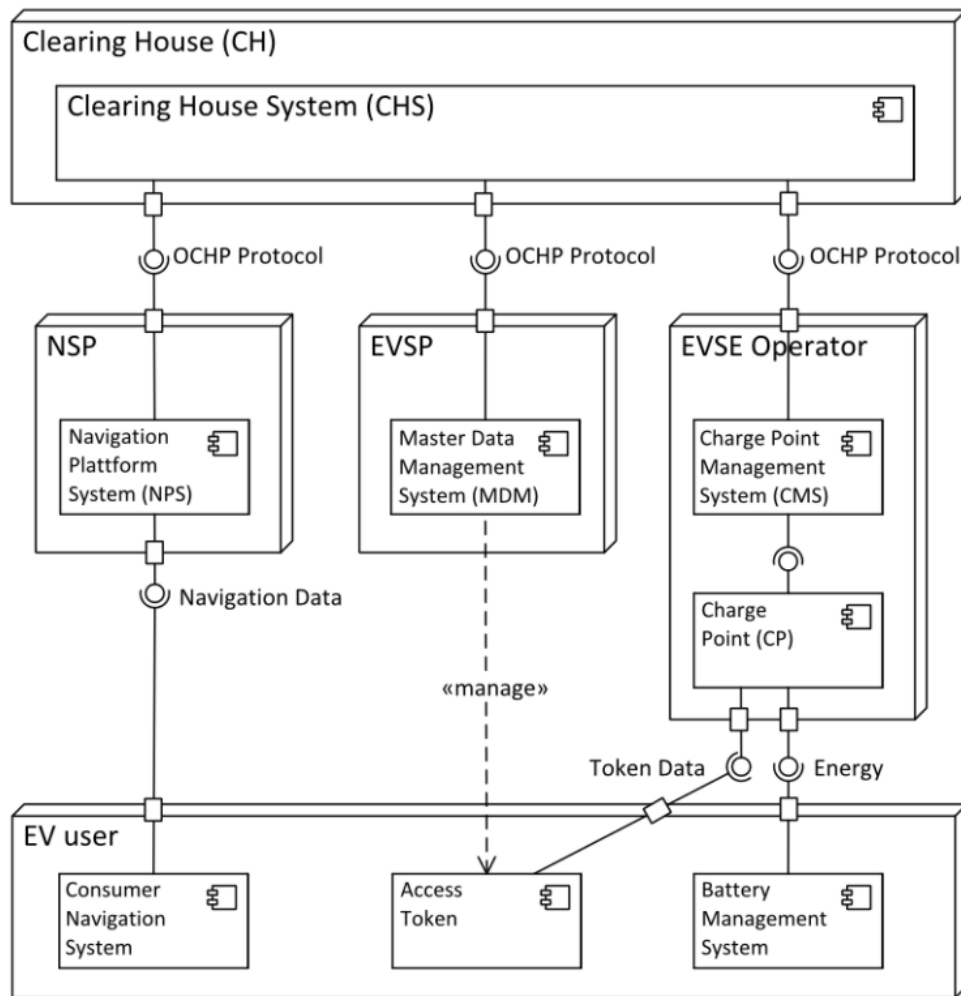
Kuva 3.12 Modbus TCP:tä tukevan laitteen eli tässä tapauksessa EVlinkin latausaseman lisääminen Power Monitor Expertiin MDI-työkalua hyödyntäen (Schneider Electric StruxureWare 2017, s. 34).

Kiinteistönhallintajärjestelmän kautta voidaan lukea latausasemien mittaustietoja tai tarvittaessa asettaa virtarajoja latausasemille. Latausjärjestelmän liittäminen kiinteistönhallintajärjestelmään mahdollistaa muiden ohjausjärjestelmien, kuten esimerkiksi paloilmoin- ja turvajärjestelmän yhteensovittamisen latausjärjestelmän kanssa. Tällöin esimerkiksi hälytystiedon aktivoituminen paloilmoinjärjestelmässä voisi keskeyttää kaikki latausjärjestelmän käynnissä olevat lataustapahtumat turvallisuussyistä.

3.3.5 Roaming-palvelun tiedonsiirto Clearing House ja latauspalveluntarjoajien välillä

Roaming-palvelun tiedonsiirron ajatuksena on kyetä tarjoamaan mahdollisuus latauspalveluntarjoajien väliseen tiedonsiirtoon joko suoraan tai välillisesti Clearing House eli roaming-palveluntarjoajan kautta. Ideaalinen tavoite roaming-tiedonsiirrolle olisi, että sähköauton lataaja voisi ladata autonsa kaikissa mahdollisissa latauspisteissä hyödyntäen haluamansa latauspalveluntarjoajan palvelua. (OCHP e-clearing.net 2017)

OCHP-protokolla on avoin Clearing House -tiedonsiirtoon kehitetty protokolla, jota esimerkiksi e-clearing.net hyödyntää roaming-palveluissaan. Saksassa e-clearing.net kumppaneina toimivat mm. Volkswagen, BMW, Bosch ja E.ON. Suomessa e-clearing.net palvelulla ei ole kumppaneita, mutta Ruotsissa heidän toiminnassa on mukana Vattenfall. (E-clearing.net 2017) OCHP-protokolla mahdollistaa älykkään latauksen toiminnot laajemmalla latausarkkitehtuuritasolla tuoden yhteen lataukseen liikkuvat eri toimijat. Kuvassa 3.13 on esitetty, kuinka OCHP-protokolla toimii eri latauksen taustatoimijoiden välillä.



Kuva 3.13 OCHP-protokollan vaikutus roaming-palveluita hyödyntävässä latausarkkitehtuurissa (OCHP 2017).

Kuvasta 3.13 havaitaan, miten eri latauksen taustatoimijat pystytään yhdistämään roaming-palvelun, ja sitä tukevan protokollan avulla yhdeksi suureksi latauksen ekosysteemiksi. Clearing Housen kautta OCHP-protokollaa hyödyntäen latauspalveluntarjoaja voi lähettää latausoperaattorille käyttäjän tietoja, joita latausoperaattori pyytää, kun käyttäjä on tullut latauspisteelle ja syöttänyt pääsyoikeuden tunnistetiedot eli tokenit latauspisteelle. Käyttäjän puolesta voi välittää lataukseen liittyviä tietoja erillisen käyttöliittymän kautta, jota hallinnoi erillinen palveluntarjoaja. Nämä tiedot puolestaan välitetään edelleen eteenpäin Clearing Housen toimesta OCHP-protokollaa hyödyntäen. Tokenien lisäksi voidaan välittää esimerkiksi lataustapahtumatietoja ja latauksen erilaisia hintatariffeja.

Toinen merkittävä roaming-tiedonsiirtoprotokolla OCHP:n ohella on OICP-protokolla, jota Hubject hyödyntää toiminnassaan. OICP-protokolla mahdollistaa käytännössä samoja lataukseen liittyviä ominaisuuksia kuin OCHP. Hubjectilla on noin 300 kumppania 24:ssä eri maassa mukaan lukien Suomi. Hubjectin kumppaneina toimii energiayhtiöitä, autonvalmistajia, latausoperaattoreita ja liikkumisen palveluita tarjoavia yrityksiä. Suomessa Hubjectin palveluita käyttävät mm. Virta, Fortum, Parkkisähkö, Helen ja Vantaan Energia. (Hubject 2018)

3.3.6 Jakeluverkkoyhtiön ja latausjärjestelmän välinen tiedonsiirto

Sähköautojen latausjärjestelmien yleistymisen sekä latausjärjestelmien kokojen kasvaessa tarvitaan tiedonsiirtoa latauksen hallintajärjestelmien ja jakeluverkkoyhtiöiden välille, jotta voidaan taata sähköverkon tasapaino kaikkina ajanhetkinä. OSCP-protokolla on Open Charge Alliancen kehittämä avoin tiedonsiirtoprotokolla edellä mainittujen osapuolten välille. OSCP-protokolla mahdollistaa latausoperaattorin tuntikohtaisten sähkön kulutusennusteiden tekemisen 24 tunnin aikajaksoissa jakeluverkonhaltijalle, joka toimii sähköverkon tasevastaavana kyseisellä jakeluverkkoalueella. OSCP:n välittämä data sisältää kaksi pääkohtaa, jotka ovat tieto saatavilla olevan joustavan latauskuorman määrästä sekä mahdollisuus palauttaa tai syöttää lisätehoa latausjärjestelmälle. OSCP:n etuja ovat protokollan avoimuus eli se on yleisesti kaikkien saatavilla, mahdollisuus noin kymmenkertaistaa latauspisteiden määrä, vähentää sähköverkon päivityskustannuksia ja optimoida sähköverkon toiminta. (Open Charge Alliance OSCP 2017)

3.4 Mittaus

Sähköautojen latausjärjestelmissä mittaus on merkittävä osa latauskokonaisuutta. Latausjärjestelmissä voidaan mitata latauskohteen tarpeiden ja vaatimusten mukaan mm. erilaisia sähkötehoja ja -virtoja, energian määrää tietyllä ajanjaksolla ja lataussuoritteiden ajallisia kestoja. Näitä mittaustietoja tarvitaan esimerkiksi latauksen kuormanhallintaa tai käyttäjän latausenergian laskutusta varten. Latausjärjestelmästä saatavan mittaustiedon laajuus luo myös pohjan erilaisten raporttien saatavuudelle latausjärjestelmästä. Suorien mittauksien pohjalta voidaan latausjärjestelmistä saada laskennallisesti erilaista johdannaista mittaustietoa, kuten lataustapahtuman hinta, ladatun energian CO₂-päästöt tai saavutettu lisäkantama lataussuoritteen aikana. Lisäksi latausjärjestelmää syöttävän sähköjärjestelmän

toimintavarmuuden ja laadun takaamiseksi tarvitaan mitata mm. sähköverkon harmonisia yliaaltojen suuruuksia, vaiheiden välistä epäsymmetriaa ja jännitetasoja.

3.4.1 Mittaukseen vaikuttavat vaatimukset

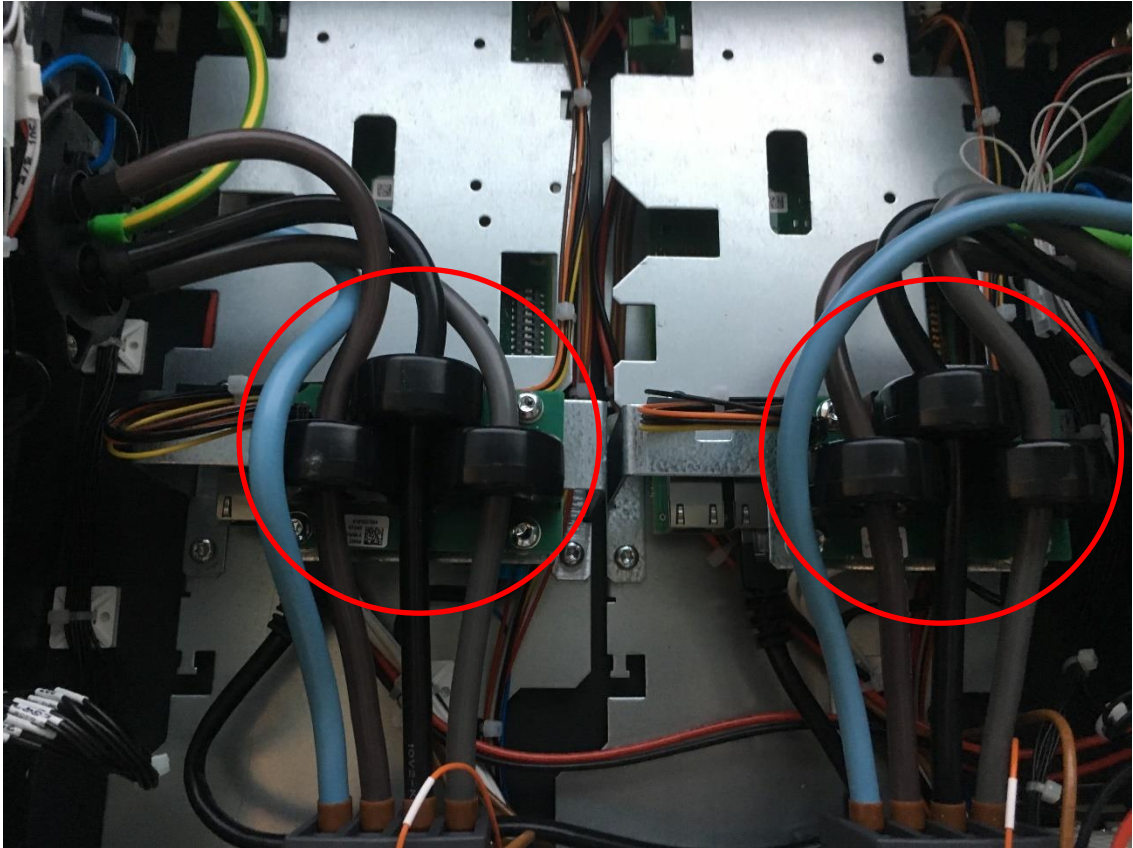
Mittauksen tarkoitus latausjärjestelmässä vaikuttaa mittausta koskeviin vaatimuksiin. Kun mittaus halutaan toteuttaa latauksen kuormanhallintaa varten, tarvitaan latauspistekohtaisia mittauspisteitä lataustehokapasiteetin jakamiseksi latausjärjestelmän sisällä. Myös mittauspiste latausjärjestelmän syötöltä kuormanhallinnan tarkoituksessa on suositeltavaa kokonaistehon määrittämiseksi. Latauksen kuormanhallinnan reagoiminen muuhun kiinteistön kuormaan on mahdollista vain, jos muun kiinteistön kuormien yhteyteen on lisätty tarvittavat mittauspisteet. Ladatun energian seuranta varten mitatut arvot tarvitaan taltioida muistiin, ja tarvittaessa lähettää eteenpäin esimerkiksi raportointia tai laskutusta varten.

Sähköauton latauksen hinnoittelun ja laskutuksen toteutus kohdistaa tiettyjä vaatimuksia latausjärjestelmän mittauksen toteutukselle. Lataustapahtumakohtainen hinnoittelu mitatun latausenergian mukaan edellyttää latauspistekohtaisia mittauspisteitä, joihin tulee yhdistää reaaliaikainen mittaustiedon vienti laskutusjärjestelmään. Lataustapahtumakohtainen latausaikaan perustuva hinnoittelu ei vaadi latausenergiaan perustuvasta hinnoittelusta poiketen paikallista mittausta latauspisteellä, vaan aikatieto saadaan suoraan taustajärjestelmän kautta käyttäjän tunnistustiedoista. Latauspistekohtainen latauksen hinnoittelu latausenergian mukaan ei edellytä reaaliaikaista mittaustiedon vientiä taustajärjestelmään lataustapahtumakohtaisesta mallista poiketen. Latauspistekohtaisen latausenergian hinnoitteluksi riittää lataukseen kulutetun energian taltioiminen paikallisesti. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi asentamalla latausjärjestelmää syöttävälle sähkökeskukselle energiaserveri, josta latauspistekohtaiset kulutustiedot voidaan hakea halutulla aikajaksolla.

3.4.2 Mittauksen toteutus

Latausjärjestelmään kohdistuvien mittausvaatimusten pohjalta voidaan suunnitella varsinainen mittauksen tekninen toteutus. Latauspistekohtaisen mittaustavan valintaan vaikuttavat latausaseman tekniset ominaisuudet. Älykkäissä latausasemissa, kuten EVlink

Smart Wallbox tai Parking -latausasemissa voidaan virta- ja energianmittauksessa hyödyntää laitteiden sisäisiä virtamuuntajia. Kuvassa 3.14 on esitetty Parking-latausaseman sisäiset virtamuuntajat, jotka on kytketty latausaseman ohjainpiirien yhteyteen.



Kuva 3.14 EVlink Parking -latausaseman liitäntäpistekohtaiset virtamuuntajat, joiden avulla voidaan toteuttaa latauspistekohtainen energianmittaus.

Perusmallisten EVlink Wallboxien yhteydessä on käytettävä erillisiä energiamittareita latausenergian mittauksessa. Myös älykkäämmissä EVlink-latausasemissa voidaan hyödyntää erillisiä energiamittareita esimerkiksi tarkemman mittaustuloksen saamiseksi. Smart Wallbox ja Parking -latausasemista poiketen Wallboxin yhteyteen asennettua erillistä energiamittaria ei voida hyödyntää kuormanhallintaan, vaan ainoastaan energianmittaukseen. Smart Wallbox ja Parking -latausasemien konfiguroinnin yhteydessä voidaan asetuksista valita, että hyödynnetäänkö laitteen sisäistä mittausta eli virtamuuntajia vai erillisiä energiamittareita. Kummallakin mittaustavalla latausenergian mittaustiedot voidaan siirtää laitteen ohjainpiiriin kautta OCPP-protokollaa hyödyntäen palveluntarjoajan taustajärjestelmään. Mikäli mittauksen tiedonsiirrossa tai palveluntarjoajan servereillä

tapahtuisi häiriö, niin mittaustiedot voidaan lukea myös jälkikäteen, sillä EVlink Smart Wallbox ja Parking -latausasemat kykenevät tallentamaan 2000 viimeisimmän lataustapahtuman tiedot. Tämä varatoimenpide mahdollistaa sen, että latausasemia voidaan käyttää, vaikka tiedonsiirtoyhteys taustajärjestelmään katkeaisi.

Latauspistekohtaista tai koko latausjärjestelmän energiamittausta toteuttaessa erillisellä energiamittarilla on kiinnitettävä huomiota useisiin eri tekijöihin, kuten mm. energiamittarin mittaussuokkaan eli mittaustarkkuuteen, asennusolosuhteisiin tai -paikkaan, liitettävyyteen, mahdolliseen paikallisiinäyttöön, sisäiseen muistiin, mittaustapaan, tariffeihin, MID-hyväksyntään eli mittaustarkkuuteen vaatimustenmukaisuuteen. Latausasemien erilliset energiamittarit voidaan asentaa esimerkiksi keskitetysti syöttävälle ryhmäkeskukselle tai hajautetusti latausaseman omaan etukeskukseen, joka voi käytännössä olla esimerkiksi pieni erillinen keskuskaappi, virtakiskon virranotin tai latausaseman jalusta. Ulkotilaan asennettavan energiamittarin tulisi kestää pakkasta $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, joka vastaa samaa pakkasenkestovaatimusta kuin vikavirtakytkimellä.

Latausasemien latauspistekohtaiset virrat jäävät alle 63 A:n, joten energiamittareiden mittaustapana voidaan käyttää suoraa mittausta, jossa latausvirta mitataan suoraan mittarin läpi kulkevasta virrasta (Lahti Energia 2017). Mittausluokan vähimmäisvaatimus suoran mittauksen energiamittarille on luokka 2, mutta laadukas suoran mittauksen energiamittari kykenee luokan 1 mittaustarkkuuteen, joka vastaa maksimissaan 1 %:n mittauseräsuokkuutta. Koko latausjärjestelmän energiaa ja tehoa mitattaessa tarvitaan epäsuoraa mittaustapaa eli ulkoisia virtamuuntajia hyödyntävää energiamittaria, jos latausjärjestelmän syötössä käytetään yli 63 A:n katkaisijaa (Lahti Energia 2017). Epäsuora mittaustapa on suoraa mittaustapaa tarkempi, ja mittausta koskevat tarkkuusvaatimukset tiukentuvat mitoitustehojen kasvaessa.

Kuormanhallinnan kannalta latauspisteiden yhteydessä käytettävien energiamittareiden liitettävyysominaisuudet ovat erittäin tärkeitä järjestelmän yhteensopivuuden kannalta. Mittarit on kyettävä liittämään latausasemia ohjaavaan hallintajärjestelmään. Erilliset energiamittarit liitetään latauksen hallintajärjestelmään latausasemien ohjainpiirien kautta. Smart Wallbox ja Parking -latausasemien yhteydessä voidaan hyödyntää Modbus-väyläliitäntää tukevia energiamittareita, jotka latausaseman laiteohjelmisto kykenee

tunnistamaan mittausmenetelmän valintavalikosta. Modbus-väyläliitäntää voidaan hyödyntää myös latauspisteiden energiamittaukseen, jolloin mittareiden mittaustiedot voidaan viedä esimerkiksi erilliselle energiaserverille. Useamman energiamittarin liittäminen Modbus-väylän kautta onnistuu ketjuttamalla mittarit keskenään.

3.4.3 Mitattuun energiaan perustuva latauksen laskutus

Sähköautojen latauksen laskuttamiseen mitatun energian mukaan liittyy direktiivejä ja lakeja, joita tulisi noudattaa latausjärjestelmän mittauksen toteutuksessa. Mittausten, mittaustulosten ja mittausmenetelmien luotettavuutta arvioidaan yleisesti ottaen silloin, kun tuotteen tai palvelun hinta määräytyy mittaustuloksen perusteella. Käytännössä mittauksen luotettavuus taataan vaatimukset täyttävällä mittauslaitteella, joka soveltuu kyseiseen käyttötarkoitukseen, ja jonka luotettava toiminta varmennetaan säännöllisin väliajoin. Suomessa mittausten luotettavuutta arvioi Turvallisuus- ja kemikaalivirasto eli Tukes. (Tukes 2013)

Mittauslaitelaki 707/2011 vaatii, että mittauksessa käytettävän energiamittarin on oltava mittauslaitedirektiivin 2014/32/EU mukainen, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että energiamittarin tulee olla MID-hyväksytty (Eur-Lex 2014, 2014/32/EU). Laitteen mukana tulee tällöin toimittaa vaatimustenmukaisuustodistus, jonka osoittamisessa on käytettävä ilmoitettua laitosta. Luotettavalla mittauslaitteella pyritään kattamaan yksittäisen asiakkaan eli sähköauton lataajan oikeusturva kulutushinnoittelussa, joka riippuu tyypillisesti yhden ainoan kulutusmittauksen oikeellisuudesta.

Yleinen käytäntö on ollut sähköautojen latausmarkkinoilla sellainen, että MID-hyväksytyt mittauslaitteita ei ole yleisesti käytetty latauspisteiden kulutusmittausten yhteydessä lähinnä kustannussyistä, vaan mittauksissa on hyödynnetty esimerkiksi latausasemien sisäisiä virtamuuntajia, jotka voidaan luokitella mittauslaitedirektiivin 4 artiklassa mainituksi osalaitteistoksi (Eur-Lex 2014, 2014/32/EU). Latausasemien sisäisten virtamuuntajien käyttö latauksen hinnoittelun perusteena on siinä mielessä ongelmallista, että mittaustieto viedään suoraan palveluntarjoajan järjestelmään, eikä asiakas pysty välttämättä paikallisesti todentamaan mittauksen oikeellisuutta esimerkiksi paikallisyhtiöltä, joka on lakisääteisen hyväksynnän ja tarkastuksen piirissä. Eräs yleinen keino kiertää latausenergian hinnoittelu ja MID-mittauslaitteevaatus on ollut aikapohjaisen hinnoittelun käyttö, joka ei edellytä

MID-hyväksyttyä mittauslaitetta. Aikapohjaisen hinnoittelun käyttö on siinä mielessä epäilemättä ongelmallista, että lataustehot riippuvat mm. vallitsevista olosuhteista ja automalleista.

Latausjärjestelmän mittauksen osalta vartenotettava vaihtoehto voisi olla MID-hyväksytyt energiamittarit käyttöön koko latausjärjestelmän sähkönsyötön yhteydessä ja latausasemien omien virtamuuntajien käyttäminen latauspisteiden yhteydessä, jolloin MID-mittarin ja latauspisteiden yhteenlaskettuja latausenergioita voitaisiin verrata mittauksen oikeellisuuden todentamiseksi tietyin aikaväleillä. Tällä menetelmällä olisi huomioitava latausjärjestelmän sisäiset häviötehot, jotka ovat keskimäärin muutaman prosentin luokkaa. Yleisesti ottaen yksittäisten latauspisteiden virtamuuntajien yhteenlaskettu energia ei saisi olla ainakaan koko järjestelmän kuluttamaa energiaa mittaavan MID-mittarin lukemaa suurempi.

4 LATAUKSEN KUORMANHALLINTA

Sähköauton latausjärjestelmän kuormanhallinnalla tarkoitetaan latausjärjestelmän lataustehon ohjausta sekä hallintaa lataustapahtumien aikana. Jos latausjärjestelmän latausasemia käytetään ainoastaan laitteiden nimellistehoilla, joudutaan sähkönsyöttö latausjärjestelmälle mitoittamaan käyttäen kuormituskerrointa 1 (SFS 6000 2017, 722.3.7). Tällöin latauskokonaisuudesta muodostuu nopeasti kiinteistön sähköjärjestelmälle kohtuuttoman suuri kuorma. Korkean järjestelmäkohtaisen mitoitusasteen takia liittymäkoot, jakelumuuntajat, syöttävät keskukset, kaapeloinnit ym. latausasemien sähkönjakeluun vaikuttavat tekijät voivat aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia latausjärjestelmän kokonaiskustannuksiin. Lisäksi isossa mittakaavassa liian suuritehoiset latausjärjestelmät voivat häiritä jakeluverkkojen tasapainoa.

Sähköautojen latausjärjestelmien kuormanhallinnalla pyritään tasoittamaan latausasemien samanaikaisesta käytöstä aiheutuvia huippukuormituksia, koordinoimaan latausajankohtia kustannushyötyjen saavuttamiseksi ja parantamaan sähköverkon tasapainoa. Kuormanhallinnalla voi olla myös muita tavoitteita, jotka voivat olla esimerkiksi energia- tai ilmastopoliittisia. Kuormanhallinnan toteutukseen voidaan hyödyntää erilaisia latausstrategioita edellä mainittujen etujen saavuttamiseksi. Osa latausstrategioista voidaan toteuttaa itsenäisellä latausjärjestelmällä ja kehittyneempien latausstrategioiden toteuttamiseksi latausjärjestelmälle on tuotava ulkoisia ohjaussignaaleita, joiden mukaan voidaan suorittaa latauspisteiden energianhallintaa. Latausjärjestelmän ulkopuolisten ohjaussignaaleiden ajureina voivat toimia sähköauton käyttäjien lataustarpeet, saatavilla oleva sähkönjakelun kapasiteetti, sähköverkon yleinen tasapaino tai yhteiskunnallinen vaikutus esimerkiksi päivän aikana ladatun aurinko- tai tuulienergian määrän käyttö sähköautojen lataamiseen.

4.1 Latauksen kuormanhallinnan ulkoiset ajurit

Latauspisteiden kuormanhallinnan suunnittelussa ja toteutuksessa on huomioitava erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat laitteiden ohjaukseen ja hallintaan. Näitä tekijöitä voidaan kutsua kuormanhallinnan ulkoisiksi ajureiksi, ja niitä voi kohdistua latausjärjestelmiin niin sähkönjakeluyhtiöiltä, kiinteistön sähkönjakelukapasiteetin näkökulmasta,

latausjärjestelmiä hallinnoivilta osapuolilta kuin latausjärjestelmän käyttäjiltä eli sähköautojen lataajilta.

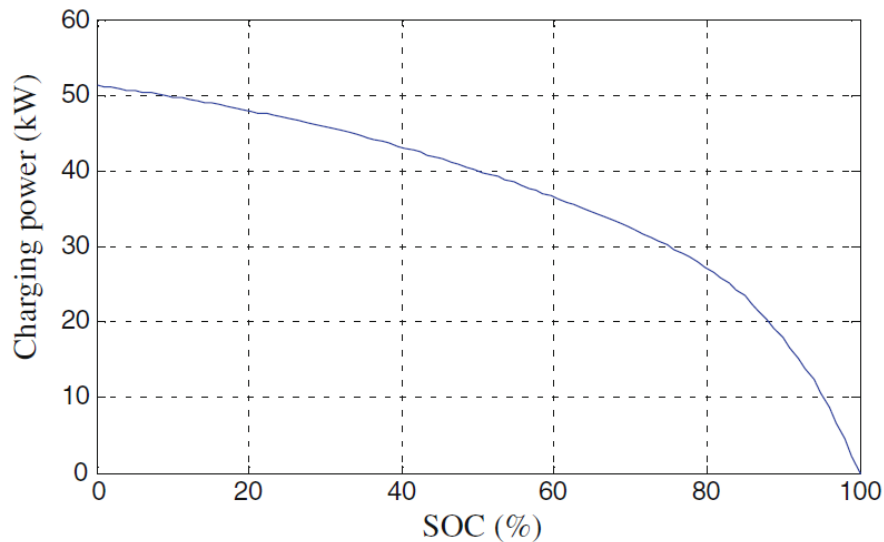
4.1.1 Sähköauton käyttäjien lataustarpeet

Sähköautojen ja niiden käyttäjien erilaiset lataustarpeet on syytä huomioida kuormanhallinnan toteutuksessa. Autojen akustojen koot vaihtelevat laajalti pienistä alle 10 kWh pistokehybridien akustoista pitkän kantaman omaavien täyssähköautojen akustoihin, joiden energiakapasiteetit ovat jopa yli kymmenkertaisia. Lisäksi autojen sisäisten laturien lataustehoissa on suuria eroavaisuuksia, kuten tutkimuksessa on aiemmin todettu. Sähköautoilijat tuovat autojaan lataukseen hyvin erilaisissa lähtötilanteissa. Jollain lataajalla saattaa olla auton akuston SOC eli varaustaso esimerkiksi yli 50 % ennen lataussuorituksen aloittamista, ja toisella lataajalla SOC voi olla alle 20 % vastaavassa tilanteessa. Lataussuoritteeseen varattavat ajat vaihtelevat myös käyttäjäkohtaisesti. Tavoitteellisissa lähtöajoissa voi olla useiden tuntien eroja, jolloin käytettävissä oleviin latausaikoihin kohdistuu huomattavia vaihteluja. Tarvittavien latausenergioiden määrien lisäksi sähköauton lataajilla voi olla muita latauksen prioriteetteja, kuten esimerkiksi latauksen hinta, joka voi vaihdella eri ajankohtina latauskohteessa.

Edellä mainittuja latausjärjestelmän käyttäjien lataustarpeita ja -vaatimuksia voidaan huomioida kuormanhallinnan suunnittelussa. Latausjärjestelmälle oleellisin tieto lataajalta kuormanhallinnan näkökulmasta on lataussuorituksen haluttu energian määrä ja latausaika, jotka määrittävät keskimääräisen lataustehon lataustapahtumalle. Halutun latausenergian määrittämiseksi on tiedettävä auton SOC ennen lataustapahtumaa ja tavoite SOC lataustapahtuman lopussa. Tällä hetkellä peruslatauksen tiedonsiirto ei mahdollista suoraa SOC tiedonsaantia latauslaitteelle. Auton käyttäjän olisi kuitenkin mahdollista tarkistaa SOC tieto latauksen alussa auton ajotietokoneelta ja antaa tavoite SOC latauksen lopussa. Yhtälön (1) avulla voidaan laskennallisesti määrittää lataustapahtumaan käytettävä energia (Seongpil 2017, s. 4).

$$E_{Lataustapahtuma} = \int_{t_0}^{t_0+T} P(t)dt = (SOC_{tavoite} - SOC_{alku})Q_n + E_{häviöt} \quad (1)$$

Yhtälössä (1) $E_{Lataustapahtuma}$ on lataustapahtumaan kulunut energia, P on latausteho tietyllä ajan hetkellä, T on lataukseen käytetty aika tunteina, t_0 on latauksen aloitusaika, SOC_{alku} on akuston varaustaso lataustapahtuman alussa, $SOC_{tavoite}$ on tavoitteellinen akuston varaustaso lataustapahtuman lopussa, $E_{häviöt}$ lataukseen kuluvat energiahäviöt ja Q_n on akuston maksimi käytettävissä oleva kapasiteetti. Q_n saadaan huomioimalla auton akuston nimelliskapasiteetti sekä auton ajotietokoneen ilmoittama arvio akuston kunnosta prosentteina. Latausenergian tai lataustehon määrittäminen laskennallisesti yhtälön 1 avulla edellyttää automallikohtaisten tietokantojen käyttöä, joista voidaan hakea auton akuston SOC-käyrä ja nimelliskapasiteetti. Kuvassa 4.1 on esitetty esimerkki tyypillisestä sähköauton akuston SOC-käyrästä.



Kuva 4.1 Tyypillinen täyssähköauton SOC-käyrä, jossa ilmaistaan latausteho varaustason funktiona (Yijia 2012, s. 389).

Kuvan 4.1 kuvaajasta nähdään, kuinka akuston lataustehon vastaanottokyky heikkenee varaustason kasvaessa. SOC-käyrää tarvitaan laskentamallissa siltä varalta, että käytettävissä oleva latausteho ylittäisi SOC-käyrän maksimitason tietyllä varaustasolla, jolloin SOC-käyrän maksimi arvo rajaisi lataustapahtuman lataustehon. Laskentamallin avulla käyttäjän olisi mahdollista antaa latausjärjestelmälle tarvittavat tiedot ennakoivaa kuormanhallintaa varten, jotta latausjärjestelmää ohjaava hallintajärjestelmä kykenisi jakamaan käytettävissä olevaa lataustehoa latauspistekohtaisesti yksittäisten käyttäjien tarpeiden mukaan. Toisaalta latausjärjestelmä kykenisi myös antamaan käyttäjälle arvion

siitä, kuinka täyteen auton akusto varautuu halutulla aikavälillä. Laskentamalliin saatetaan tarvita vielä ympäristön lämpötilatieto, koska ympäristön lämpötila vaikuttaa merkittävästi akuston sisäiseen vastukseen, jolloin myös SOC-käyrän muoto muuttuu.

4.1.2 Latauskohteen sähköjakelun kapasiteetti

Pääsääntöisesti uutta latausjärjestelmää suunniteltaessa kiinteistöjen sähköjakelun kapasiteetti kestää muutaman yksittäisen latauspisteen ilman sähköjärjestelmän uudistustarpeita. Toisaalta esimerkiksi vanhojen asuinkiinteistöjen sähköjakelun mitoitus voi olla niin rajallinen, että edes yhtä latauslaitetta ei voida asentaa ilman kaapeloinnin uusimista pysäköintipaikoilla. Tällaisissa kohteissa taloyhtiö on yleensä kieltänyt autojen sisälämmittimien käytön kokonaan. Kun latausjärjestelmään halutaan kytkeä useita latausasemia, on kiinteistön sähköjakelun kapasiteetti huomioitava latausjärjestelmän mitoituksessa.

Sähköjakelun kapasiteetti muodostuu nopeasti latausjärjestelmissä latauspistekohtaisten lataustehojen pullonkaulaksi. Latausjärjestelmän kuormanhallinnan suunnittelulla saadaan vaikutettua koko latausjärjestelmän kuormituskertoimeen, joka puolestaan vaikuttaa yhdessä latauspisteiden nimellistehojen kanssa koko latausjärjestelmän mitoitustehoon. Latausjärjestelmän mitoitusta ei voida täysin jättää kuormanhallinnan varaan, koska kuormanhallinnan ohjaus ei välttämättä ehdi reagoimaan, jos kiinteistössä tapahtuu samaan aikaan nopeita ja ennalta arvaamattomia kuormanmuutoksia. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneikkojen päälle kytkeytyminen nostaa hetkellisesti merkittävästi sähköjärjestelmän kuormitustasoa, jolloin latausjärjestelmän korkean käyttötason aikaan latausjärjestelmän kuormanohjaus ei välttämättä ehdi reagoida äkilliseen kuormanmuutokseen riittävän nopeasti, mistä saattaa seurata ylivirtasuojauksen laukeaminen ja sähkökatko jopa kiinteistön pääkeskuksen tasolta saakka. Tämän kaltaisiin tilanteisiin voidaan varautua jättämällä sähköjakelun mitoitukseen riittävä turvamarginaali kuormitustasojen osalta. Lisäksi taajuusmuuttajilla ohjatuissa ilmanvaihtokoneissa käynnistysramppien sekä ohjauksien muutosnopeuksia voidaan hidastaa, jotta latausjärjestelmän kuormanhallinta ehtisi reagoida paremmin muun kiinteistön sähköjakelun kuormanmuutoksiin.

4.1.3 Sähkönjakeluverkon tila

Sähköverkkojen laatuun ja jakelun luotettavuuteen kohdistuu erilaisia määräyksiä ja standardeja, joita sähkönjakeluverkkoyhtiöt pyrkivät huomioimaan hallinnoimiensa jakeluverkkojen suunnittelussa ja ylläpidossa. Sähkömarkkinalaki varmistaa ja luo edellytykset mm. sähkön toimitusvarmuudelle ja palveluperiaatteille loppukäyttäjää kohtaan (Finlex 2017, 588/2013). Suurten latausjärjestelmien osalta tai useiden latausjärjestelmien kohdistuminen samalle sähkönjakelualueelle voi aiheuttaa rajoituksia sähköauton latausjärjestelmien käyttöön jakeluverkkoyhtiöiden suunnalta. Tällöin esimerkiksi liittymäkoon kasvattaminen halutun suuruiseksi ei välttämättä ole mahdollista. Jakeluverkkoyhtiö voi myös ilmoittaa loppukäyttäjälle liittymiskokoa käsittelevässä sopimuksessa jakeluverkon alentuneesta toimitusvarmuudesta kyseisellä jakelualueella ja antaa samalla varautumisohjeita sähkön toimitusvarmuuden parantamiseksi (Finlex 2017, 588/2013 58\$). Käytännössä tämä ohjeistus voisi olla suuren latausjärjestelmän osalta suositus kuormanhallinnan käyttöön kyseisessä latauskohteessa.

Mikäli latausjärjestelmässä käytetään runsaasti 1-vaiheisia latausasemia, on syytä huomioida vaiheiden vuorottelu latausasemien asennuksessa sekä kuormanhallinnassa. Jos latausjärjestelmässä on käytössä samanaikaisesti vain tiettyyn vaiheeseen kytkettyjä latausasemia, on siitä vaarana aiheutua kiinteistön sähköverkolle merkittävä vaiheiden jännitteiden epäsymmetria. Yksivaiheisten latauskuormien aikaansaama verkon jännitteiden epäsymmetria aiheuttaa sähköverkkoon kolmannen kertaluvun harmonisia yliaaltoja. Näiden yliaaltojen seurauksena muuntajien kuormitettavuus laskee häviöiden kasvaessa ja nollajohtimien virta voi kasvaa 1,7 kertaiseksi vaihejohtimiin nähden, jolloin nollajohtimien eristeet voivat sulaa ja aiheuttaa tulipalovaaran (Korpinen 2008, s. 26-29). Lisäksi sähköverkon jännite saattaa säröytyä, jolloin sähkölaitteiden toimintahäiriöt voivat olla mahdollisia. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuuksia koskevassa standardissa SFS-EN 50160 on määritetty, että sähköverkon jännitteen särö kolmannen kertaluvun harmonisen yliaallon aiheuttamana saa olla enintään 5 %. (Alanen 2006, s. 11-20)

4.1.4 Yhteiskunnalliset vaikutukset

Sähköautoilun yhteiskunnallisilla vaikutuksilla viitataan tässä tutkimuksessa sähköautoilun päästövaikutuksiin yhteiskuntatasolla. Center for Sustainable Energy teettämän tutkimuksen

mukaan suuri osa kuluttajista hankkii Kalifornian alueella sähköauton kustannussyistä tai uuden teknologian tuoman innostuksen myötä (Williams 2015, s. 58). Samassa tutkimuksessa kävi ilmi, että merkittävälle osalle kuluttajista sähköauton ympäristöarvot ovat tärkeä osa sähköauton valintakriteeriä verrattuna perinteiseen polttomoottorivaihtoehtoon (Williams 2015, s. 58). Vaikka tutkimustieto on kerätty amerikkalaisilta kuluttajilta, voidaan silti olettaa, että myös Suomessa ympäristöarvoilla on merkitystä sähköauton hankinnassa, sillä Suomessa sähköautot eivät ole vielä toistaiseksi hinnoiltaan kilpailukykyisiä vastaaviin polttomoottorivaihtoehtoihin verrattuna.

Sähköautojen ympäristöystävällisyyteen elinkaaren aikana vaikuttavat merkittävästi ladatun sähköenergian tuotantotavat. Hiilivoimalla tuotetulla sähköenergialla sähköautoileva kuluttaja tuottaa merkittävästi enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin aurinko-, tuuli- tai vesivoimasta latausenergiansa saava sähköautoilija. Islannissa sähköauton CO₂-kokonaispäästöt ovat 70 g/km ja Intiassa 370 g/km, kun kokonaispäästöihin huomioidaan auton valmistus, sähkön tuotanto, sähköverkon häviöt ja muut välilliset vaikutteet (Wilson 2013, s. 8).

Sähköntuotannon päästövaikutukset sähköautoiluun voidaan ottaa huomioon sähköauton latauksessa. Latausjärjestelmä voidaan toteuttaa niin, että sähköauton lataukseen käytetään vain aurinko-, tuuli- tai vesisähköllä tuotettua energiaa. Tämä voidaan toteuttaa hyödyntämällä energiayhtiöiden tarjoamia uusiutuvien energiamuotojen tariffeihin pohjautuvia sähkösopimuksia tai käyttämällä paikallisesti tuotettua uusiutuvaa energiaa latausjärjestelmän kuormanhallinnan ulkoisena ajurina.

Paikallisesti tuotettu sähköenergia on pääsääntöisesti aurinkopaneeleilla tuotettua, joten tarkastellaan aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähköenergian hyödyntämismahdollisuuksia sähköauton latausjärjestelmän osalta. Jos paikallisen aurinkosähköjärjestelmän on tarkoitus tarjota päästötöntä latausenergiaa sähköautoille, voidaan latausjärjestelmä toteuttaa niin, että kuormanohjaus rajaa käytettävissä olevan latausenergian tietylle ajanjaksolle aurinkosähköjärjestelmältä mitatun sähköenergian mukaan. Esimerkiksi päivän aikana tuotettu aurinkosähkö määrittäisi seuraavalle päivälle käytössä olevan latausenergian määrän. Edellä mainittu toimintatapa mahdollistaisi riittävät lataustehot niille ajanjaksoille, joilla latauskohteen käyttöaste on suurimmillaan. Kyseinen

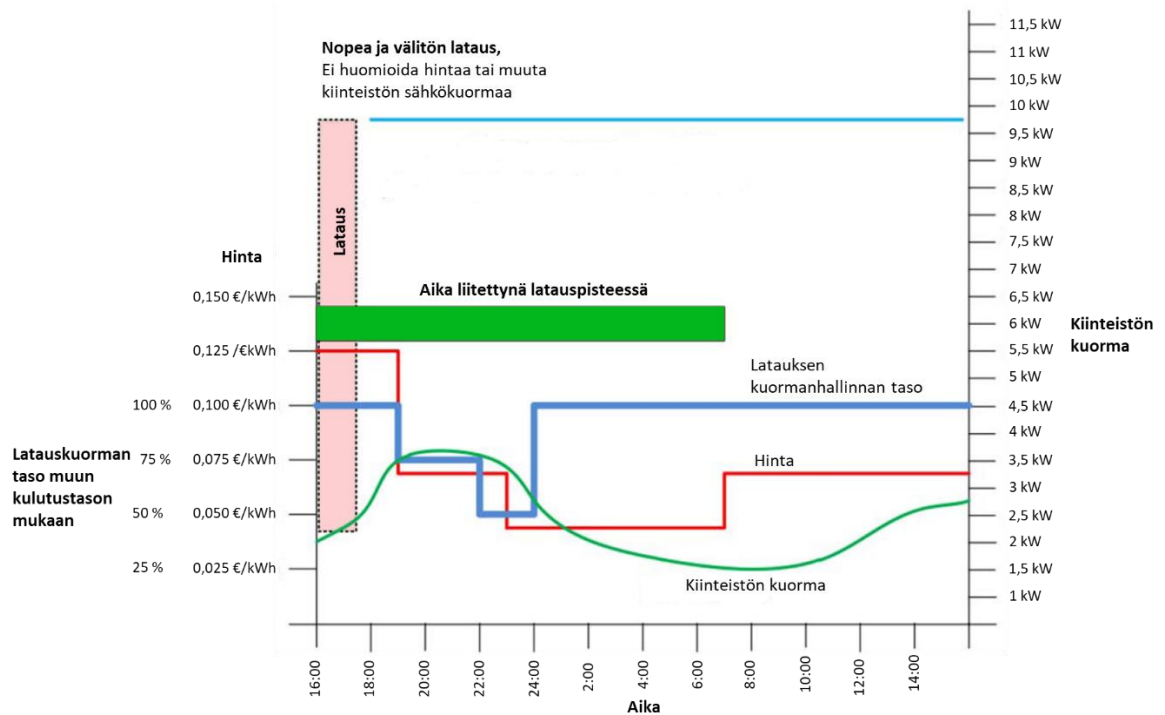
toimintamalli ei kuitenkaan ota huomioon kiinteistön sähkönjakelun kapasiteetin mahdollisia rajoitteita. Kun aurinkosähköjärjestelmän halutaan tasapainottavan myös kiinteistön sähkönjakelun kulutushuippuja, on aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia mittauksen lisäksi ohjattava latausjärjestelmälle, mikäli sähköautojen latausajankohdat ovat samaan aikaan muun kiinteistön kulutushuippujen kanssa, ja viivästetty latauksen aloitus ei ole mahdollinen vaihtoehto.

4.2 Lataukseen käytettävät latausstrategiat

Sähköauton lataamiseen voidaan käyttää erilaisia latausstrategioita käyttäjien ja paikallisen sähköverkon asettamien rajoitteiden mukaan. Lisäksi erilaisten latausstrategioiden käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat latausjärjestelmän tekniset ominaisuudet. Älykkäämmät latausstrategiat vaativat latausjärjestelmän ulkopuolisten ohjaussignaaleiden käyttöä.

4.2.1 Nopea ja välitön lataus

Nopealla ja välittömällä latauksella tarkoitetaan latausta, joka alkaa heti, kun sähköauto liitetään latauspisteeseen. Latausteho on koko latauksen ajan suurin mahdollinen, mitä latauslaite kykenee tarjoamaan tai sähköauto vastaanottamaan. Käytännössä yksinkertaiset peruslatauksen latausasemat toimivat juuri edellä mainitulla tavalla. Kyseinen latausstrategia on erittäin käyttökelpoinen silloin, kun akuston varaustaso rajoittaa matkan tekoa ja latausaika on rajallinen. Nopean ja välittömän latausstrategian haitat kohdistuvat latausjärjestelmän ulkopuolelle latauskohteen sähkönjakeluun, koska latausjärjestelmien kokonaistehot kasvavat nopeasti, kun mitoitus joudutaan tekemään latausasemien nimellistehojen mukaan. Lisäksi sähköauton lataajalle lataaminen voi muodostua tavallista kalliimmaksi, jos latauskohteessa käytetään aikapohjaista hinnoittelua päivä- ja yö sähkölle tai tuntikohtaista sähköpörssiin perustuvaa hinnoittelua. Kuvassa 4.2 on havainnollistettu nopean ja välittömän latausstrategian toimintaa vallitsevissa latausolosuhteissa.



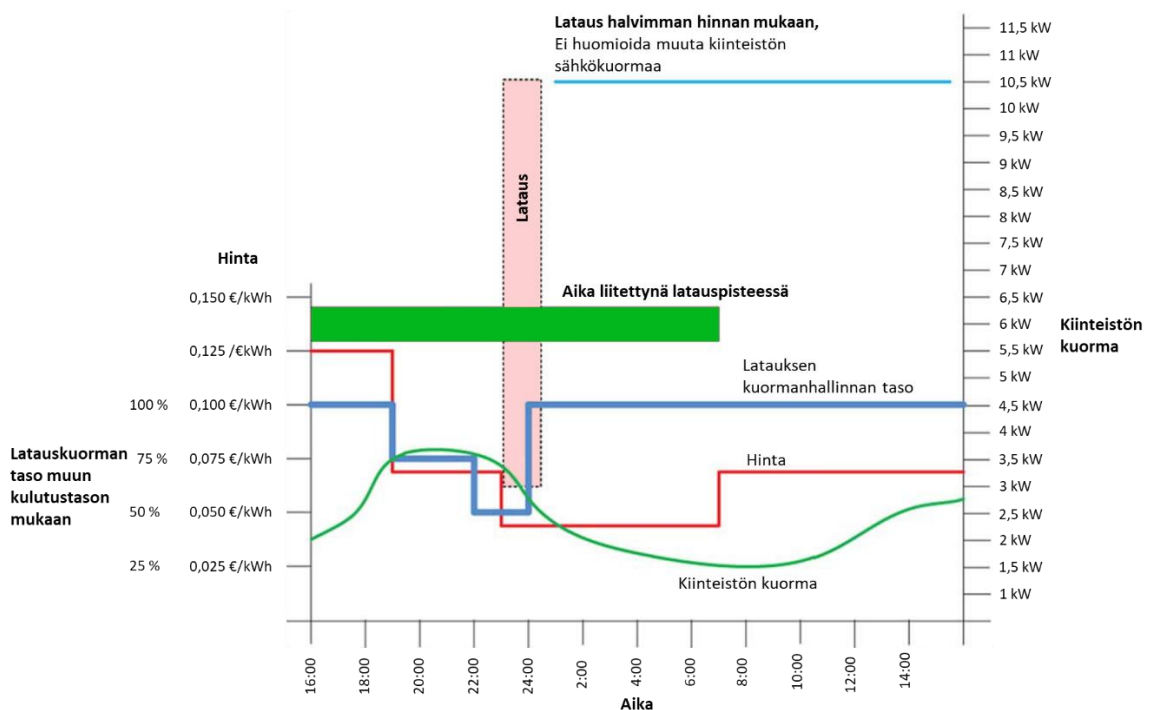
Kuva 4.2 Nopean ja välittömän latausstrategian käyttäytyminen vallitsevissa latausolosuhteissa (Abouleiman 2015, s.22).

Kuvasta 4.2 nähdään, kuinka lataus käynnistyy heti täydellä lataustasolla auton liittämishetkestä latauslaitteeseen. Latauksessa ei huomioida sähköenergian hintaa, joka on korkeimmillaan juuri vallitsevana latausajankohtana. Lisäksi latauksessa ei huomioida muun kiinteistön sähkökuorman tasoa lataushetkellä.

4.2.2 Lataus halvimman hinnan mukaan

Ajastettu lataus halvimman hinnan mukaan tuo säästöjä sähköauton lataajalle tai latausenergiasta maksavalle osapuolelle, jos latausjärjestelmän sähkönsyötössä käytetään aikapohjaista hinnoittelua. Tarkastellaan esimerkkinä Fortumin ja Helenin tarjoamia yösähkön sopimuksia, joissa tulee keskimäärin hintaeroa 0,01 €/kWh yösähkön ja päiväyönsähkön välillä (Fortum 2018; Helen 2018). Sähköauton keskimääräinen latausenergian tarve on noin 20 kWh/100 km (U.S. Department of Energy 2018). Tällöin latausenergian hintasäästöä syntyy 0,2 €/100 km kohden olettaen, että kaikki lataussyöttö ladataan yöyönsähkön aikaan eli klo 22-7 välillä. Tuntikohtaisella pörssihinnoittelulla keskimääräinen ero halvimpien ja kalliimpien tuntien välillä on pääsääntöisesti 0,02-0,04 €/kWh päiväkohtaisesti tarkasteltuna (Nord Pool 2018). Tällöin latausenergian hinnassa on

mahdollisuus säästää 0,4-0,8 €/100 km. Saavutettua hintaetua voidaan pitää melko merkityksellisenä kuluttajan kannalta sähköautoilun kokonaiskustannukset huomioiden. Toisaalta tulevaisuudessa on odotettavissa, että sähkön tuntikohtaisissa hinnoissa saman päivän aikana tulee olemaan enemmän hajontaa, jolloin halvimmalla hinnan mukaisen latausstrategian merkitys saattaa korostua. Kuvassa 4.3 on esitettyä halvimmalla hinnan latausstrategian toimintaa vallitsevissa latausolosuhteissa.



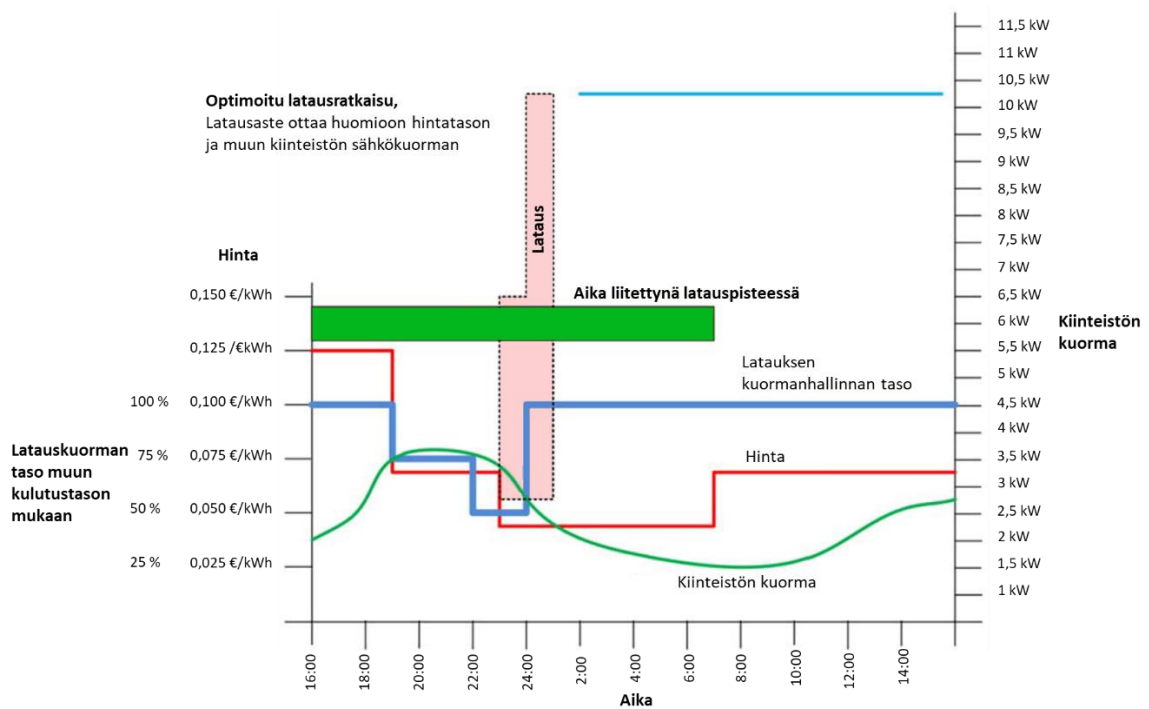
Kuva 4.3 Halvimman hinnan latausstrategian käyttäytyminen vallitsevissa latausolosuhteissa (Abousleiman 2015, s.23).

Kuvasta 4.3 nähdään, kuinka lataus käynnistyy viivästetysti täydellä lataustasolla, kun hintasignaali on alimmillaan. Latauksessa ei huomioida nopean ja välittömän latauksen tavoin kiinteistön sähkökuorman tasoa lataushetkellä.

4.2.3 Optimoitu latausratkaisu

Optimoitu latausstrategia pyrkii huomioimaan sekä lataajan hintaetun että kiinteistön sähköjärjestelmän tilan muun kiinteistön sähkökuorman mukaan. Optimoidun latausstrategian käyttö edellyttää, että latausjärjestelmän kuormanhallinta kykenee säätämään käytettävissä olevaa lataustehon kokonaistasoa muun kiinteistön kuormituksen mukaan. Latausjärjestelmän kokonaislataustehon säätö puolestaan vaikuttaa

latausjärjestelmän yksittäisten latauspisteiden saatavilla olevaan lataustehoon. Optimoidun lataustrategian lisähyöty halvimmalla hinnan lataustrategiaan kohdistuu kiinteistön sähköjakeluinfraan, jolloin on mahdollista välttää tai minimoida sähköjakeluinfran lisäinvestointitarpeet, kun sähköauton latauksesta ei aiheudu merkittäviä kulutushuippujen kasvua kiinteistön sähkönsyötössä. Tulevaisuudessa optimoidulla lataustrategialla voidaan saavuttaa entistä paremmin käytönaikaisia kustannushyötyjä käyttäjien kannalta, sillä jakeluverkkoyhtiöt suunnittelevat erilaisiin tehotariffeihin pohjautuvien sähkön hinnoittelumallien käyttöönottoa. Esimerkiksi Helen on testannut asteittaista tehotariffin käyttöönottoa pieniasiakkailta 1.7.2017 alkaen (Lehtinen 2017). Saavutettujen kustannushyötyjen lisäksi voidaan ajatella, että optimoitu lataustrategia mahdollistaa laajempien latausjärjestelmien suunnittelun.



Kuva 4.4 Optimoidun lataustrategian käyttäytyminen vallitsevissa latausolosuhteissa (Abousleiman 2015, s.24).

Kuvasta 4.4 nähdään, kuinka lataus käynnistyy viivästetysti, kun hintasignaali putoaa alimmilleen. Kyseisenä ajanhetkenä kiinteistön sähkökuorman tasosta johtuen latauksen kuormanhallinta on 50 %:n tasolla täydestä latauskapasiteetista, jonka takia yksittäisen latauspisteen teho on puolet täydestä lataustehosta. Kun kiinteistön sähkökuorma laskee

riittävästi, kuormanhallinnan taso kasvaa 100 %:iin, jolloin lataus voi jatkua loppuajan täydellä latausteholla.

4.3 Latauksen kuormanhallinnan toteutusmallit

Sähköautojen latauksen kuormia voidaan ohjata staattisesti tai dynaamisesti latausjärjestelmän rakenteesta ja teknisestä toteutuksesta riippuen. Staattisella ohjauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä latausvirran tai -kapasiteetin rajoittamista tiettyyn kiinteään arvoon. Dynaamisella ohjauksella puolestaan viitataan latausvirran tai -kapasiteetin vaihteluun tietyn vaihteluvälin puitteissa.

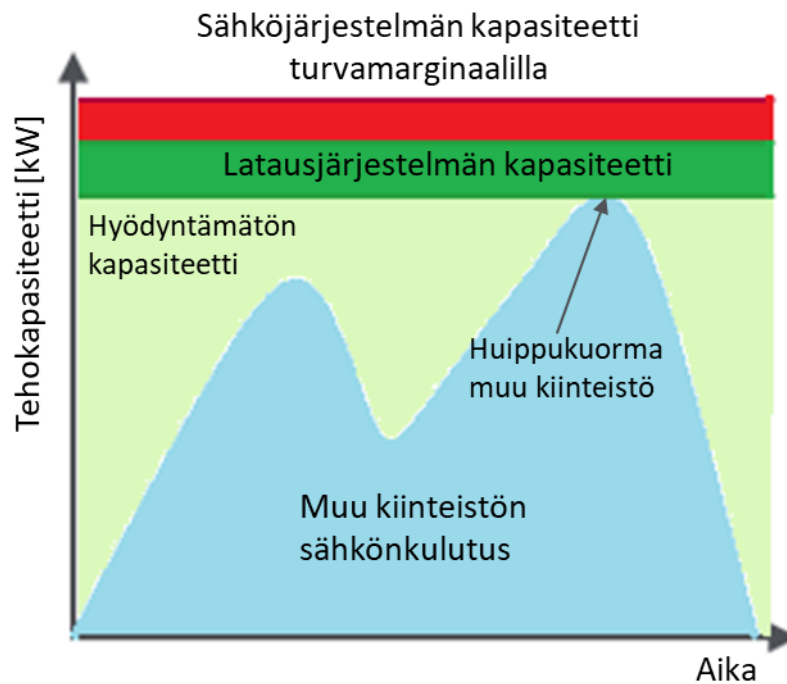
Kuormanohjaus voidaan jakaa erilaisiin tasoihin alkaen yksittäisten latauspisteiden kuormanhallinnasta, jolloin latausvirtaa rajoitetaan staattisesti tai dynaamisesti latauspisteen ja auton välillä. Seuraavan ohjauksen välitason muodostavat kahden latauspisteen latausasemat, kuten EVlink Parking -latausasemat, joilla voidaan jakaa lataustehoa latauspisteiden välillä, kun molemmat latauspisteet ovat käytössä. Seuraavan ylemmän ohjaustason muodostavat latauksen hallintajärjestelmä yhdessä latausasemien tai latauspisteiden kanssa. Latauksen hallintajärjestelmältä lähetetään kuormanhallinnan ohjaukomentoja yksittäisille latauspisteille latausvirran rajoittamiseksi, jotta hallintajärjestelmälle asetettua staattista tai dynaamista latauskapasiteetin rajaa ei ylitettäisi. Suurissa latausjärjestelmissä voidaan hyödyntää latausasemien ryhmittelyä, jolloin latausasemien ryhmäkokonaisuudet muodostavat kuormanhallinnan välitason koko latausjärjestelmän hallintajärjestelmän ja yksittäisten latauspisteiden välille.

4.3.1 Staattinen latausjärjestelmän kuormanhallinta

Staattisella kuormanhallinnalla voidaan toteuttaa yksinkertaistettua kuormanhallintaa perusmallisten latausasemien, kuten EVlink Wallboxien kanssa. Latausasemien latausvirta pudotetaan tiettyyn kiinteään arvoon tarvittaessa muun kiinteistön kulutuksen mukaan tai pakotetusti. Älykkäämpien latausasemien, kuten EVlink Smart Wallbox tai Parking -latausasemien maksimi latausvirta voidaan määrittää yhden ampeerin tarkkuudella latausasemille määriteltyjen raja-arvojen puitteissa. Lisäksi EVlink Parking -latausasemien latausvirran jako kahden latauspisteen välillä toteutetaan staattisella virtarajan asetuksella. Staattisen virtarajan rajoituksesta voidaan käyttää termiä kuormanpudotustoiminto. Toiminnon kytkeytyminen päälle vaatii kiinteän virtarajan asetusarvon ylittymisen. Parking-

latausaseman tapauksessa virtarajana toimii esimerkiksi kahden latauspisteen yhteinen nimellisvirta, jonka saavutettua latausasema esimerkiksi puolittaa latauspistekohtaiset lataustehot. Wallbox-latausasemalla kiinteä virtarajan arvo kuormanpudotustoiminnon kytkeytymiseksi saadaan esimerkiksi latausaseman yhteyteen liitetystä CDS-moduulilta, joka antaa kosketintiedon Wallbox-latausasemalle, kun asetettu virtaraja ylittyy.

Latausjärjestelmän syötön osalta staattisessa kuormanhallinnassa käytetään kiinteää mitoitusarvoa, joka saadaan sähköjärjestelmän tehokapasiteetti ja muu kiinteistön sähkönkulutus huomioiden huipunkäytön ajankohdalla. Latausjärjestelmässä käytössä olevien latausasemien tehoja pudotetaan tuolloin tarpeen mukaan aseteltuihin rajoitusarvoihin, niin että latausjärjestelmän syötön mitoitusarvoa ei ylitetä. Yksittäisten latausasemien kuormanpudotuksissa voidaan käyttää käytön aikana prioriteetteina esimerkiksi siirretyn latausenergian määrää tai kuluneita latausaikoja, jolloin lyhimmän ajan latauksessa olleille tai vähiten latausenergiaa saaneille käyttäjille pyritään tarjoamaan mahdollisimman suuri latausteho. Kuvassa 4.5 on havainnollistettu staattisella kuormanhallinnalla ohjatun latausjärjestelmän mitoitusarvoa kiinteistön sähköjärjestelmän suhteen.

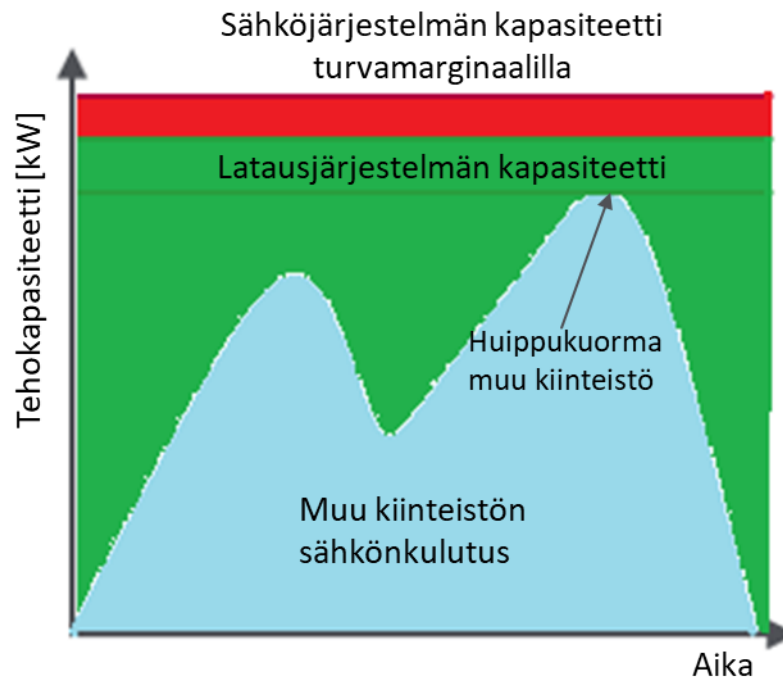


Kuva 4.5 Lataukseen käytettävä tehokapasiteetti staattisella kuormanohjauksella ohjatussa latausjärjestelmässä.

Kuvasta 4.5 nähdään, kuinka staattisessa latausjärjestelmässä tehokapasiteetti joudutaan mitoittamaan kiinteästi muun kiinteistön sähkön huippukulutuksen mukaan, jolloin sähköjärjestelmän tehokapasiteettia jää merkittävästi hyödyntämättä silloin, kun kiinteistön muu sähkönkulutus on alhaisella tasolla. Latausjärjestelmän kapasiteettia mitoittaessa on syytä jättää riittävä turvamarginaali sähköjärjestelmän maksimikapasiteettiin nähden, sillä latausjärjestelmän kuormanohjaus reagoi aina pienellä viiveellä, jolloin määritetty kapasiteetti saatetaan ylittää hetkellisesti ilman turvamarginaalia.

4.3.2 Dynaaminen latausjärjestelmän kuormanhallinta

Älykkäämpien latausasemien, kuten EVlink Smart Wallbox ja Parking -latausasemien kanssa on mahdollista toteuttaa kehittyneempää dynaamista kuormanhallintaa, jossa sekä latauspistekohtaisia lataustehoja että latausjärjestelmäkohtaista kokonaistehoa voidaan säätää portaattomasti tietyllä vaihteluvälillä ulkoisen ohjauskomennon tai tulotiedon perusteella. Latausasemalle ulkoinen ohjauskomento voidaan välittää esimerkiksi erilliseltä logiikkaohjaimelta tiedonsiirtoväylää pitkin Modbus TCP/IP -protokollan avulla. Erillinen logiikkaohjain puolestaan pystyy säätelemään latausjärjestelmän kokonaistehoa ulkoisen tulotiedon mukaan. Tulotieto saadaan Modbus-protokollaa tukevalta energiamittarilta, joka mittaa reaaliaikaisesti muun kiinteistön sähkönkulutusta. Modbus TCP/IP -protokollan lisäksi latauksen kuormanhallinnallisia komentoja voidaan välittää latausasemille OCPP 1.6 -protokollan avulla. Kuvassa 4.6 on esitetty dynaamisella kuormanhallinnalla ohjatun latausjärjestelmän tehokapasiteetin muutosta kiinteistön muun sähkönkulutuksen suhteen.



Kuva 4.6 Lataukseen käytettävä tehokapasiteetti dynaamisella kuormanohjauksella ohjatussa latausjärjestelmässä.

Kuvasta 4.6 nähdään, kuinka dynaamisesti ohjatussa latausjärjestelmässä tehokapasiteetti voidaan hyödyntää huomattavasti tehokkaammin kuin vastaavassa staattisella ohjauksella varustetussa latausjärjestelmässä, jota on havainnollistettu aiemmin kuvassa 4.5.

5 KUORMANHALLINNAN TOTEUTUS LATAUSKOHTEITTAIN

Kuten tutkimuksessa on aiemmin todettu, voidaan sähköautojen latausjärjestelmät ja niihin liittyvät kuormanhallintaratkaisut toteuttaa monin eri tavoin. Suunnittelussa joudutaan huomioimaan latauskohteen vaatimukset, tarpeet ja mahdolliset rajoitteet. Tutkimuksessa latauskohteita on jaoteltu aiemmin julkisiin, puolijulkisiin ja yksityisiin latauskohteisiin. Nämä lataustekniset jaottelutavat toimivat perustana kuormanhallinnan toteutuksen suunnittelussa erityyppisille latauskohteille. Tässä tutkimuksessa halutaan keskittyä muutamiin peruslataukselle tyypillisiin latauskohteisiin, joita ovat yksityiset asuinkiinteistöt, taloyhtiöiden hallinnoimat kohteet, yritys- ja liikekiinteistöt sekä julkiset asiointilatauskohteet. Suunniteltaessa latausjärjestelmää ja siihen liittyvää kuormanhallintaa on toteutuksessa huomioitava tutkimuksessa aiemmin läpikäytyjä näkökulmia. Näitä näkökulmia ovat mm. latausjärjestelmän rakenne, tiedonsiirtoyhteydet, mittausratkaisut, latauksen ohjaukseen liittyvät ulkoiset ajurit, latausstrategiat ja kuormanhallinnan toteutusmallit. Työn liitteessä 1 on esitetty latausjärjestelmän toteutuksen suunnittelukaavio, jota voidaan hyödyntää erityisesti taloyhtiökohteissa, mutta sitä voidaan soveltaa myös muihin latauskohteisiin.

5.1 Latauksen kuormanhallinta yksityisissä asuinkiinteistöissä

Sähköautojen latauksella yksityisissä asuinkiinteistöissä viitataan tässä tutkimuksessa omakotitalokohteisiin ja muihin pientalokohteisiin, joissa kohteen omistajalla on oma sähköliittymä, jonka yhteyteen sähköauton latausasema on tarkoitus hankkia. Tällaisissa kohteissa tarvittava latausjärjestelmä koostuu tyypillisesti 1-2:sta latauspisteestä. Koska latausasemalle on jo olemassa sähköliittymäkohtainen mittaus ylemmällä tasolla syötön puolella, niin erityistä tarvetta erilliselle mittaukselle latausaseman yhteyteen ei ole. Erillinen mittaus joudutaan kuitenkin lisäämään, jos kiinteistöön hankittava latausasema on esimerkiksi vapaan autoedun työsuuhdeautoa varten, jolloin ladattu sähköenergia tulee mitata työnantajan laskuttamista varten. Vastaavanlainen tilanne tulee eteen myös muissa vastaavissa täyden palvelun leasing-sopimuksissa, joissa polttoaine eli lataussähkö kuuluu palvelun hintaan.

Yksityisen asuinkiinteistön yhteyteen riittää usein tavallinen peruslatausasema, jonka yhteyteen voidaan tarvittaessa lisätä erillinen energiamittari erikoistapauksia varten. Schneider Electricin valikoimassa tämä tarkoittaa EVlink Wallbox -latausasemaa tarvittaessa iEM3155-energiamittarilla 3-vaiheisten latausasemien osalta tai iEM2155-energiamittaria 1-vaiheisten latausasemien osalta. Molemmista mittarivaihtoehdoista löytyy paikallinäyttö, MID-hyväksyntä ja liitettävyys Modbus-väylään tarvittaessa etäluenta varten. Yksivaiheisten latausasemien kohdalla voidaan harkita myös edullisempien pulssimittarien käyttöä.

Yksittäisessä asuinkiinteistössä ei välttämättä tarvita erillisiä kuormanhallintaratkaisuja lataustehon väliaikaiseen rajoittamiseen. Kuormanhallintaratkaisujen tarpeellisuus riippuu kiinteistön sähköliittymän koosta ja valittavan latausaseman nimellistehosta. Tyypillisesti asuinkiinteistön sähköliittymät ovat 3x25 A, jolloin pienempitehoinen 1-vaiheinen 3,7 kW:n latausasema saadaan asennettua kohteeseen sellaisenaan, kun puolestaan tehokkaammassa 3-vaiheisessa 11 kW:n latausasemassa kiinteistön sähköliittymän rajat alkavat tulla vastaan etenkin, jos kohteessa on paljon muuta samanaikaista sähkönkulutusta, kuten sähkökuivaus, ilmalämpöpumppu tai uuni. Tällöin liittymäkoon kasvattamisen sijaan voidaan hyödyntää yksinkertaisia latausaseman kuormanpudotustoimintoja, joiden käyttö on tarpeen erityisesti silloin, kun halutaan yleisesti käyttää nopeaa ja välitöntä latausstrategiaa eli ladata sähköautoa heti latauskaapelin liitänthetkestä alkaen.

EVlink Wallbox -latausaseman sähkönsyötön yhteyteen voidaan asentaa erillinen CDS-kuormanpudotuskontaktori, joka antaa ulkoisen tilatiedon latausasemalle latausvirran pudottamiseksi, kun CDS:lle annettu muun kiinteistön sähkökapasiteetin mukaan määritetty virtarajan arvo ylittyy. Kuvassa 5.1 on havainnollistettu CDS-kuormanpudotuskontaktorin käyttöä EVlink Wallbox -latausaseman yhteydessä.

kellokytkimeltä. Toinen vaihtoehtoinen ja käyttökelpoinen tapa on ajastaa latauksen aloitus auton omien asetusten tai käyttöliittymän kautta. Käytännössä EVlink Wallboxin tapaisen peruslatausaseman kanssa voidaan toteuttaa melko pitkälle vietyä optimoitua latausstrategiaa hyödyntämällä latausaseman kuormanpudotustoimintoa sekä sähköautosta löytyviä latauksen ajastuksen asetuksia samanaikaisesti. Optimoitu latausstrategia kykenee toimimaan tässä tapauksessa kuitenkin vain tiettyjen ennalta määritettyjen staattisten rajojen puitteissa.

5.2 Latauksen kuormanhallinta taloyhtiöiden hallinnoimissa kohteissa

Taloyhtiöiden hallinnoimissa asuin-kohteissa latausjärjestelmän toteutuksessa ja kuormanhallinnan suunnittelussa on huomattavasti enemmän huomioitavia näkökulmia kuin erillisissä pientalokohteissa, joissa on omat sähköliittymät. Latauspisteiden hankintavaiheessa on huomioitava asunto-osakkaiden yhdenvertaisuus eli jokaiselle asukkaalle tulee kyetä tarvittaessa tarjoamaan latausmahdollisuus, kun taloyhtiö päättää investoida latauspisteisiin (Motiva 2016, s. 16). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että vaikka latausjärjestelmä koostuisi alkuvaiheessa esimerkiksi 1-5 latausasemasta voi järjestelmän laajennustarve olla muutaman vuoden kuluessa esimerkiksi 10 latausaseman luokkaa taloyhtiön koosta ja asunto-osakkaiden tarpeista riippuen. Latauspisteiden hankintaa taloyhtiökohteissa hankaloittaa vielä toistaiseksi se, että latausjärjestelmähanketta ei rinnasteta tavanomaiseksi hankkeeksi, kuten esimerkiksi putkiremonttia (Motiva 2017, s. 6-7). Mikäli kohteessa sähköjärjestelmän kapasiteetti tulee vastaan, vaaditaan latausjärjestelmäinvestointiin kaikkien osakkaiden suostumus (Motiva 2017, s. 9). Jos sähköjärjestelmän kapasiteettia ei lähdetä kasvattamaan, yksinkertainen enemmistö yhtiökokouksessa riittää latausjärjestelmähankkeen toteuttamiseksi (Motiva 2017, s. 9).

Taloyhtiön latauspisteiden tarpeet on huomioitava latausjärjestelmän suunnittelussa, jota varten tulee tietää, että tuleeko latauskohteeseen osakaskohtaisia latauspisteitä vai hankitaanko taloyhtiöön yhteiskäyttöisiä latauspisteitä osakkaiden omille sähköautoille tai mahdollisille taloyhtiökohtaisille yhteiskäyttöautoille. Mikäli kohteeseen halutaan yhteiskäyttöisiä latauspisteitä, on valittava älykkäämpiä käyttäjän tunnistusta tukevia latausasemia, kuten EVlink Smart Wallbox tai Parking -latausasemia. Nimetyille autopaikoille on mahdollista valita perusominaisuuksilla varustettu latausasema, jonka

yhteyteen liitetään erillinen energiamittari. Latauspisteiden käyttäjillä eli tässä tapauksessa taloyhtiön osakkailta saattaa olla poikkeavia lataustarpeita latausajankohtien ja lataustehojen kannalta, joita tulisi huomioida latausjärjestelmän suunnitteluvaiheessa.

Latauspisteiden käyttötarpeen lisäksi on taloyhtiön päätettävä tulevien latauspisteiden hallinnoinnista ja kustannusten käsittelystä. Jos latauspisteiden hallinnointi halutaan jättää isännöitsijän vastuulle, voidaan latausjärjestelmä suunnitella itsenäiseksi joko käyttäen älykkäitä latausasemia tai perusmallisia latausasemia erillisillä energiamittareilla. Toinen vaihtoehto on ulkoistaa latauspisteiden hallinnointi erilliselle latausoperaattorille, jolloin latausasemat liitetään pilvipohjaiseen taustajärjestelmään OCPP-protokollan avulla latauspisteiden etähallintaa ja keskitettyä käyttäjänhallintaa varten. Tällä vaihtoehdolla latausasemien on oltava ns. älykkäämpää mallia. Taustajärjestelmään liitetyn latausjärjestelmän laskutus voidaan jättää tarvittaessa latausoperaattorin vastuulle. Tällöin yhteiskäyttölatauspisteillä latauksen laskutus voidaan järjestää lataustapahtumakohtaisesti. Taloyhtiö voi jättää laskutuksen myös isännöitsijälle, jolle taustajärjestelmään liitetyssä latausjärjestelmässä latausoperaattori toimittaa lataukseen liittyvät raportit. Perusmallisilla latausasemilla toteutetun itsenäisen latausjärjestelmän tapauksessa latausasemien erilliset energiamittarit voidaan liittää erilliselle energiaserverille, josta isännöitsijä saa tarvittavat mittausraportit haluttuina ajan jaksoina.

Lataustarpeiden ja latausjärjestelmän arkkitehtuurin alustavan kartoittamisen ohessa selvitetään latauspisteiden määrät sekä tarvittavat latauspistekohtaiset lataustehot, jonka pohjalta saadaan käsitys latausjärjestelmältä vaaditusta kokonaistehosta. Tämän jälkeen voidaan latauskohteeseen suorittaa sähkötekkinen kartoitus, jossa selviää latausjärjestelmän sähkötekkiniset rajoitteet, kuten suurin sallittu latausjärjestelmän nimellisteho. Sähkötekkinen kartoitus voidaan suorittaa myös ennen taloyhtiön latauspisteiden päätöksentekoprosessia, jolloin kartoitus toimii hyvänä pohjana, kun latauspisteiden hankintaa käsitellään yhtiökokouksessa. Mikäli kiinteistön sähköjärjestelmän kapasiteetti riittää kohteessa sellaisenaan suunnitellulle latausjärjestelmälle mahdolliset myöhemmät laajennustarpeet huomioiden, voidaan hanke toteuttaa sähköjakelun osalta sellaisenaan. Jos sähköjärjestelmän kapasiteetti rajoittaa selkeästi latausjärjestelmän toteutusta, voidaan latausjärjestelmässä hyödyntää staattisia tai dynaamisia kuormanhallintaratkaisuja tarpeiden mukaan. Tässä on huomioitava, että kuormanhallintaratkaisujen yhteensopivuutta ja

hyödyntämistä voivat rajoittaa mahdollisesti aiemmin valitut latausasemamallit. Kuormanhallinnan ratkaisuilla voidaan välttää kalleimmat koko kiinteistön sähköjakelua koskevat investointitarpeet, kuten pääkatkaisija, jakokeskus, liittymäkoon kasvattaminen tai jopa jakelumuuntajan uusiminen.

Taloyhtiöiden yhdenvertaisuusperiaate ja hanketyypin vaikutukset päätöksentekoprosessiin huomioiden voidaan todeta, että latausjärjestelmän suunnittelussa kannattaa hyödyntää erilaisia kuormanhallintaratkaisuja mahdollisimman tehokkaasti. Tällöin vältetään ainakin kalleimmat sähköjärjestelmän lisäinvestoinnit, jolloin kynnys latausjärjestelmäinvestoinnille madaltuu merkittävästi. Vaikka latausjärjestelmä koostuisi aluksi vain muutamasta latausasemasta eikä kuormanhallinnalle olisi heti välttämätöntä tarvetta, on silti järkevää suunnitella järjestelmä niin, että siihen voidaan lisätä järjestelmätasolla toimiva kuormanhallinta jälkikäteen, kun lataustarpeet kasvavat ja latausjärjestelmän laajennus on ajankohtainen. Käytännössä kuormanhallintavalmiuteen varaudutaan EVlink Smart Wallbox kaltaisilla älykkäillä latausasemilla, jotka tukevat tiedonsiirrolaisia hallintaratkaisuja OCPP-protokolla tai Modbus TCP/IP-protokolla perustuen.

5.3 Latauksen kuormanhallinta julkisissa kohteissa

Julkisissa latauskohteissa lähtökohtana voidaan pitää sitä, että käyttäjää eli sähköauton lataajaa pyritään palvelemaan mahdollisimman hyvin. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että lataustehoa olisi peruslatauksen osalta saatavissa aina niin paljon kuin lataajan auto teknisesti pystyy vastaanottamaan eli sähköauton sisäisen laturin nimellisteho toimisi lataustehoa rajoittavana tekijänä. Julkisten latauspisteiden latausajat jäävät tyypillisesti koti- ja työpaikkalatausta lyhyemmiksi, jolloin maksimaalinen latausteho pitää olla saatavilla heti välittömän latausstrategian tavoin. Tätä ideologiaa tukee myös se, että julkisille peruslatausasemille saa investointitukea vain, jos saatavilla oleva latausteho on vähintään 11 kW (Eera 2017). Myös julkisilla pikalatauspisteillä pyritään tarjoamaan mahdollisimman suurta lataustehoa. Tästä johtuen julkisissa latauskohteissa olisi pyrittävä panostamaan sähköjärjestelmän kapasiteetin suuruuteen varsinkin, jos kohteeseen halutaan sijoittaa useita latauspisteitä.

Mikäli sähköjärjestelmän kapasiteettia ei saada kasvatettua riittävän suureksi sähköautojen latausta varten, voidaan julkisten latauskohteiden latausjärjestelmiin soveltaa dynaamisen kuormanhallinnan ratkaisuja, joilla voidaan toteuttaa kuormanhallinta mahdollisimman tehokkaasti. Vaikka julkisen latausjärjestelmän yhteydessä ei käytettäisi erityisiä kuormanhallintaratkaisuja, julkisiin latauspisteisiin tarvitaan silti älykkäitä latausasemia, jotta latausasemat saadaan liitettyä latausoperaattoreiden palveluihin.

5.4 Latauksen kuormanhallinta yritysten latauspisteillä

Yritysten latauspisteet voidaan jaotella käyttötarkoituksen mukaan asiakkaille tarkoitettuihin latauspisteisiin ja yrityksen omalle henkilöstölle tarkoitettuihin latauspisteisiin. Asiakkaille tarkoitettuihin latauspisteisiin olisi julkisten latauspisteiden tavoin pyrittävä tarjoamaan mahdollisimman suurta lataustehoa, koska asiakkaiden latausajat jäävät yleisesti ottaen henkilöstön eli työntekijöiden latausaikoja lyhyemmiksi. Toisaalta yrityksillä on käytössä esimerkiksi huoltoautoja ja yhteiskäyttöautoja, jotka myös saattavat tarvita maksimaalisen latausvirran asiakkaille suunnattujen latauspisteiden tavoin.

Yrityskohteiden latausjärjestelmien kuormanhallinnan suunnittelussa asiakkaille suunnatuille latauspisteille voidaan määrittää korkeamman prioriteetin latausvirta-asetukset. Smart Wallbox ja Parking -latausasemien osalta tämä voidaan toteuttaa kytkemällä latausasemien käyttöliittymän asetuksista VIP-asetus. Kun VIP-asetus on aktiivinen, kyseiset latausasemat eivät reagoi latausjärjestelmän hallintaohjaimen virranrajoituskomentoihin, jotka vaikuttavat vain peruskäyttötason latausasemiin. Toinen vaihtoehto on määrittää asiakkaille väliaikaisesti annettaville RFID-korteille VIP-oikeudet, jolloin VIP-asetus on käyttäjän tunnistuksesta riippuvainen. Työntekijöille suunnatuissa latauspisteissä latausajan oletuksena voidaan pitää työpäivän pituutta eli 8 tuntia. Vaikka latausasemien saatavilla oleva latausteho olisi latausstandardin SFS-EN 61851-1 mukaisen minimin eli 6 A:n suuruinen, niin sillä saa ladattua käytännössä kaikkien markkinoilta löytyvien pistokehybridien akustot tyhjästä täyteen oletetulla lataussuoritteen kestolla. Latausjärjestelmä voidaan siis suunnitella ja mitoittaa dynaamisella kuormanhallinnalla reilusti alle 1:n kuormituskertoimella ilman, että latausvirran rajoittaminen tarvittaessa jopa 32 A:n nimellisvirrasta heikentäisi merkittävästi latauspalvelun laatua työntekijöille tarkoitettujen latauspisteiden osalta.

Latausjärjestelmän kuormanhallinnan ohjauksen lisäksi latauspistekohtaista tai käyttäjäkohtaista latausenergian mittausta tarvitaan saadun veroedun selvittämiseksi, kun työntekijä lataa omaa sähköautoa tai käyttöedulla olevaa työsuhdeautoa työpaikalla. Verottajalle edun suuruuden määrittämiseksi on riittänyt toistaiseksi yrityksen maksama kWh-hinta suhteutettuna ladatun energian määrään. Mitatut käyttäjäkohtaiset latausenergiat saadaan älykkäämpien latausasemien, kuten EVlink Smart Wallbox tai Parking tapauksessa latausoperaattorin raporteista, jos latausasemat on liitetty taustajärjestelmään OCPP-protokollaa hyödyntäen. Latausasemien selainpohjaisen käyttöliittymän asetuksista voidaan tarvittaessa määrittää, että latausasemat lähettävät halutulla aikavälillä ja ajankohtana käyttöraportit esimerkiksi yrityksen omille palvelimille SMTP, FTP tai HTTP -protokollan avulla csv-tiedostona. Toiminto edellyttää tarvittavien tiedonsiirtoyhteyksien käyttöä. Raporttien varmuuskopiona latausaseman oman web-serverin kautta saadaan csv-tiedostoraportti, joka pitää sisällään viimeisimmän 3000 lataustapahtuman tiedot. Valtiovarainministeriö on kuitenkin jo tiedottanut, että sähköautojen työpaikkalataamiseen on tulossa muutoksia 2019 alussa, kun latausedun suuruuden määrittämiseen pyritään määrittämään kaavamainen verotusarvo, joka vastaa lataamisen laskennallista keskimääräistä arvoa (Valtiovarainministeriö 2018). Kyseinen muutos tulisi olemaan osa energiaverotuksen muutosta ja sen tarkoituksena olisi madaltaa yritysten kynnystä hankkia sähköauton latauspisteitä työpaikoille.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin sähköautojen latausjärjestelmien kuormanhallintaa ja sen toteutustapoja. Tutkimuksen tarkoituksena oli löytää erilaisia kuormanhallintaratkaisuja, joita voitaisiin hyödyntää erilaisten latauskohteiden latausjärjestelmissä. Työssä arvioitiin kuormanhallinnan soveltuvuutta ja hyötyjä latauskohteen vaatimukset ja rajoitteet huomioiden.

Sähköauton latausta voidaan pitää tuoreena tutkimusaiheena, jonka takia tutkimusaihetta lähestyttiin työssä hieman laajemmasta näkökulmasta. Tutkimuksessa käytiin läpi sähköautojen lataustavat ja erilaiset latauskohteet, jotta lukija ymmärtäisi eri lataustapojen tekniset eroavaisuudet sekä latauskohteiden lataustekniset vaatimukset. Tutkimuksessa saatiin selville, että sähköautoja ladataan tietyillä vakiintuneilla ja standardoiduilla lataustavoilla, jotka poikkeavat toisistaan niin teknisesti kuin tarkoituksenkin mukaisesti. Peruslataus eli lataustapa 3 soveltuu monipuolisimmin eri sähköautojen latauskohteisiin niin kotilatauksessa, työpaikoilla kuin asiakaslataukseen tarkoitetuilla latauspisteillä, joissa sähköautoja pääasiallisesti ladataan. Tutkimuksessa kävi ilmi, että vain harva pistokehybridi tukee pikalatausta, jonka takia peruslatauspisteillä taataan latausmahdollisuus mahdollisimman monelle käyttäjälle. Tämä on erityisen tärkeää Suomessa, jossa sähköautokanta painottuu erittäin vahvasti pistokehybrideihin. Myös yksittäisten pikalatauspisteiden verkosto on tärkeä täyssähköautoilun kannalta, mutta yksittäisillä pikalatauspisteillä latausjärjestelmän kuormanhallinta ei ole toistaiseksi yhtä keskeisessä roolissa kuin peruslatauksen latausjärjestelmissä, jonka takia tässä tutkimuksessa latauksen kuormanhallintaa tarkasteltiin lähinnä peruslatauksen näkökulmasta.

Peruslatauksen rinnalle on lähivuosien aikana tulossa induktiolataus, jota voidaan käyttää peruslataukselle ominaisissa latauskohteissa. Vaikka induktiolataus yleistyisi tulevaisuudessa, niin latausjärjestelmien kuormanhallinnan kannalta sillä ei tule olemaan suurta vaikutusta. Merkittävin muutos tulisi olemaan latausaseman ja auton välisessä kommunikoinnissa. Tutkimuksessa käytiin läpi kaksisuuntaisen latauksen toimintaperiaate, mutta kaksisuuntaista latausta ei tarkasteltu tarkemmin kuormanhallinnan näkökulmasta, koska kävi ilmi, että kaupallistettujen sähköautomallien sisäiset laturit toimivat vain yhteen suuntaan ja sähköautojen kaksisuuntaiset sisäiset laturit ovat vielä eri valmistajilla kehitys-

tai prototyyppeasteella. Tosin kaksisuuntainen lataus saattaa kehittyä lähivuosina hyvinkin nopealla aikataululla, sillä valmiit standardit ovat olemassa ja energiayhtiöt ovat kiinnostuneita sähköautojen tuomasta energiavarastomahdollisuudesta.

Tutkimuksessa tutustuttiin latausjärjestelmien osakokonaisuuksiin, teknisiin rakenteisiin ja tiedonsiirtoyhteyksiin, jonka perusteella tehtiin päätelmiä siitä, miten latausjärjestelmiä ja sen kuormanhallintaa voidaan suunnitella ja toteuttaa. Havaittiin, että latausjärjestelmä voi olla täysin itsenäinen kokonaisuus, latausoperaattorin taustajärjestelmään liitetty kokonaisuus tai kiinteistönhallintajärjestelmään liitetty kokonaisuus. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että latausasemien ominaisuudet ja latausjärjestelmän rakenne tiedonsiirtoyhteyksineen ja mittauksineen vaikuttavat vahvasti siihen miten kuormanhallinta voidaan toteuttaa. Latauskohde asettaa lataukselle tiettyjä vaatimuksia ja tarpeita, joiden pohjalta muodostetaan latauksen kokonaisratkaisu. Skaalautuvilla latausjärjestelmän ja kuormanhallinnan toteutusvaihtoehdoilla voidaan palvella parhaiten niin latausjärjestelmään investoivaa osapuolta kuin käyttäjiäkin.

Työssä tarkasteltiin erilaisia näkökulmia, joita kuormanhallinnalla tavoitellaan. Käyttäjien lataustarpeiden huomioimisessa tulisi keskittyä eri käyttäjien tarvitsemiin latausvirtoihin ja -energioihin lataustapahtumien osalta. Huomioimalla käyttäjien lataustarpeet voidaan latausjärjestelmän kuormanhallintaa tehostaa etenkin suuremmissa latausjärjestelmissä, sillä lataustapahtumat voitaisiin ajallisesti hajauttaa ja priorisoida paremmin ilman palvelun laadun heikkenemistä. Käyttäjien lataustarpeiden huomioinen on kuitenkin haastavaa, sillä tutkimuksessa kävi ilmi, että latausaseman ja auton välillä kulkee vain virranohjaukseen liittyvää tietoa. Mikäli latausjärjestelmä on liitetty pilvipohjaiseen taustajärjestelmään, johon on yhdistetty kuormanhallinta keskitetysti, niin käyttäjän komentoja tai pyyntöjä voitaisiin vastaanottaa taustajärjestelmän kautta, jos taustajärjestelmä olisi riittävän kehittynyt. Tällöin kuormanhallinta mahdollistaisi esimerkiksi asiakaslatauksessa erilaisten tehohinnoitteluprofiilien käytön, jolloin käyttäjä voisi määrittää latausvirtarajoilla ja käytettävissä olevalla latausajalla aikajoustoisen hinnan lataussuoritteelle. Tällä hetkellä käyttäjien poikkeavia lataustarpeita voidaan käytännössä huomioida VIP-asetuksilla, jolloin kuormanhallinnan virtarajoitukset ohitetaan tai ne koskevat vain osittain kyseisellä asetuksella olevia latausjärjestelmän latauspisteitä tai käyttäjiä.

Käyttäjien lataustarpeiden lisäksi kuormanhallinnalla pyritään huomioimaan latauskohteen sähköjärjestelmän kapasiteetti ja jakeluverkon tila. Tutkimuksessa havaittiin, että kuormanhallinnalla varustetussa latausjärjestelmässä voidaan käyttää latausjärjestelmän syötössä pienempää kuormituskerrointa, jolloin latauspisteitä saadaan latausjärjestelmään enemmän tai vastaavasti samalle määrälle latauspisteitä voidaan käyttää suurempia nimellistehoja verrattuna latausjärjestelmään ilman kuormanhallintaa. Kuormanhallinnalla ei tosin voida korvata täysin liian rajallista sähköjakelun kapasiteettia. Kuormanhallinnan suunnittelussa on syytä huomioida latausjärjestelmän ylemmän hallintatason ja latausasemien sekä latausasemien ja sähköautojen ohjauksien viiveet lataustapahtumien aikana. Viiveet huomioidaan sähköjakelun kapasiteetin kannalta riittäväillä turvamarginaaleilla kuormanhallinnan virtarajojen mitoituksien osalta. Tutkimuksessa havaittiin, että kuormanhallinnalla voidaan valvoa ja ohjata latauskuormien vaiheiden tasapainoa, jolloin voidaan varmistua ja välttää vaihe-epäsymmetriasta aiheutuvia harmonisia yliaaltoja. Vaihetasapainon hallintaa ja ohjausta voidaan pitää tärkeänä, koska suuri osa sähköautojen lataustapahtumista on 1-vaihelatausta. Vaikka suurissa latausjärjestelmissä olisi eri latausasemat kytketty eri vaiheisiin, niin ei voida tietää mitkä latauspisteet ovat milloinkin käytössä samanaikaisesti, jolloin latausjärjestelmä saattaa aiheuttaa merkittävää vaihe-epätasapainoa, vaikka latausasemia olisikin kytketty vaiheiden vuorottelua noudattaen.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että sähköautoilun yhteiskunnalliset vaikutukset ja latausenergian vähäiset päästövaikutukset ovat merkittävässä asemassa sähköautoilijoille. Kuormanhallinnalla pystytään rajoittamaan ja ohjaamaan latausenergioiden määriä sekä latausvirtojen suuruutta saatavilla olevien latauskohteen yhteydessä paikallisesti tuotettujen uusiutuvien energiantuotantokapasiteettien mukaan. Lähivuosien aikana litiumioniakkujen hintojen alentuminen tekee erilaisista latausjärjestelmän yhteyteen asennettavista välienergiavarastoista varteenotettavan vaihtoehdon tukemaan latausjärjestelmien syöttöä kohteissa, joiden yhteyteen on asennettu aurinkosähköjärjestelmä. Tällaisissa kohteissa tullaan tarvitsemaan dynaamista kuormanhallinnan toteutusta latauskapasiteetin rajoittamiseen, joka reagoi saatavilla olevan paikallisen uusiutuvan energiantuotantokapasiteetin ja välienergiavarastona toimivan akuston varaustason mukaisesti. Kaksisuuntaisen latauksen mahdollisuus toisi tällaiseen järjestelmään vielä

lisämahdollisuuksia, jolloin välivarastoa voitaisiin ladata jakeluverkon ja paikallisen energiantuotannon lisäksi latauskohteeseen saapuvista sähköautoista.

Latauksen hallinnan kannalta tutkimuksessa käytiin läpi kolme vaihtoehtoista latausstrategiaa. Nämä ovat välitön lataus, lataus halvimman hinnan mukaan ja optimoitu lataus, joita voidaan hyödyntää latauskohteen tilasta ja käyttäjän tarpeista riippuen. Esiteltyjen latausstrategioiden käyttäminen on sidoksissa käyttäjän lataustarpeisiin ja latausjärjestelmän sähköjakelun kapasiteettiin. Esiteltyjä latausstrategioita voidaan kehittää pidemmälle niin, että ne ottavat laajemmin huomioon useampia latauksen ulkoisia ajureita. Kehittyneempien latausstrategioiden käyttäminen vaatii tuekseen kehittyneemmän latausjärjestelmän rakenteen kuormanhallintaratkaisuihin. Kuormanhallinnassa on hyvä ottaa huomioon, että latausjärjestelmän kuormanhallinnan latausstrategia voi vaihdella käyttäjän lataustarpeiden takia esimerkiksi välittömän ja halvimman hinnan latausstrategian välillä. Optimoidulla latausstrategian valinnalla voidaan saavuttaa kustannushyötyjä niin latausjärjestelmän kuin niiden käyttäjienkin osalta latauskohteissa, joissa sähköjakelun kapasiteetti on rajallinen.

Kuormanhallinnan ohjauksen suunnittelun ja latausstrategioiden tueksi tutkimuksessa esitettiin kaksi vaihtoehtoista kuormanhallinnan toteutusmallia, jotka olivat staattinen ja dynaaminen kuormanhallinta. Työssä tuotiin ilmi, miten kuormanhallinnan ohjaus voidaan jakaa erilaisiin ohjaustasoihin alkaen yksittäisten latauspisteiden ohjauksesta päättyen koko latausjärjestelmän ylätasoon kuormanhallintaan. Näiden välissä voi olla kahden latauspisteen latausasemien latauspisteiden välistä kuormanhallintaa tai suuremmissa latausjärjestelmissä latausasemia voi olla ryhmitelty ryhmäkohtaisesti, jolloin latausasemaryhmät muodostavat kuormanhallinnan välitasoja. Koko latausjärjestelmän ylätasoon kuormanhallinnan toteutuksen kannalta staattinen kuormanhallinta on helpompi toteuttaa kuin dynaaminen kuormanhallinta, mutta dynaaminen ohjaustapa hyödyntää tehokkaammin koko kiinteistön latauskohteen sähköjakelun kapasiteetin. Mikäli latausjärjestelmälle on käytössä oma sähköliittymä, on staattinen kuormanhallinnan ohjaus toimivin menetelmä. Vaikka latausjärjestelmän ylätasoon ohjaus olisi rajattu staattisella virtarajalla, voidaan yksittäisiä latauspisteitä silti ohjata dynaamisesti tai staattisella kuormanpuotuksella. Dynaaminen latausvirran ohjaaminen yksittäisille latauspisteille mahdollistaa erilaisten latausprofiilien tehokkaamman hyödyntämisen ja käytettävissä oleva kokonaiskapasiteetti on paremmin

hyödynnettävissä. Kuormanhallinnan toteutuksen suunnittelussa on kuitenkin syytä muistaa, että yksittäisen latauspisteen virranohjaukseen vaikuttaa viime kädessä itse ladattava auto, jonka BMS tai oman latauskäyttöliittymän asetukset saattavat asettaa lisäehtoja ja rajoitteita lataukselle.

Latausjärjestelmän ja sen kuormanhallinnan toteutustapoja lähestyttiin tutkimuksessa latauskohteittain peilaten esiteltyihin kuormanhallinnan ohjauksen suunnittelun näkökulmiin ja kuormanhallinnan toteutusmalleihin. Tutkimuksen latauskohteina käytettiin peruslataukselle tyypillisiä latauskohteita, joissa sähköautoilijat voivat ladata autojaan aina pysäköidessään. Latauskohteet ja niiden tarpeet vaihtelevat laajalti, jonka takia tutkimuksessa ei tarkasteltu mitään tiettyä olemassa olevaa tai suunnitteluasteella olevaa latauskohdetta, vaan latauskohdetyyppejä on käsitelty yleisellä tasolla.

Tutkimukseen valikoiduista latauskohteista yksittäisten latauspisteiden tapauksissa omakotitalokohteissa ja muissa pientalokohteissa kuormanhallintaratkaisut voidaan sivuuttaa, jos latauskohteen sähköjärjestelmän kapasiteetti on riittävä sähkösopimuksen mukaisen liittymäkoon puolesta tarvittavaan latausvirtaan suhteutettuna. Mikäli kohteen liittymäkoon kasvattaminen tuottaa lisäkustannuksia tarvittavan latausvirran takia, kannattaa kohteeseen harkita yksinkertaisia ja helposti toteutettavia kuormanhallintaratkaisuja vaihtoehtona liittymäkoon kasvattamiselle. Tällöin vaihtoehtoina ovat lataustapahtuman ajastus pois huippukulutuksen ajankohdalta tai latausvirran hetkellinen rajoittaminen. Kuormanhallinnan näkökulmasta yksinkertainen peruslatausasema riittää omakotitalojen ja muiden vastaavien kohteiden yksittäiseksi latausasemaksi. Toisaalta tarve käyttäjän tunnistusominaisuuksille voi vaatia älykkäämpää latausasemaa jopa omakotitalokäyttöön. Esimerkiksi kahden samassa taloudessa olevan henkilön, joilla on käytössään vapaan autoedun työsuhdeauto, ja jotka lataavat sähköautojaan vuorotellen samasta latausasemasta, on latausenergia pystyttävä mittaamaan molemmilta käyttäjiltä erikseen.

Tutkimuksessa on todettu, että kaikissa latauskohteissa, kuten esimerkiksi asiakaslatauspisteillä, kuormanhallinta latausvirtaa rajoittamalla ei ole välttämättä tavoiteltavaa tai toivottavaa parhaan mahdollisen latauspalvelun takaamiseksi. Tällaisissakin kohteissa on silti latausjärjestelmän suunnitteluvaiheessa järkevää ottaa huomioon

latauskohteen koko elinkaari ja mahdolliset myöhemmät laajennustarpeet, jolloin erilaiset kuormanhallintaratkaisut voivat olla ainoa toteuttamiskelpoinen vaihtoehto latauspisteiden lisäämiselle jälkikäteen sähköjakelun rajoitteet ja lisäkapasiteetin investointikustannukset huomioiden. Latausjärjestelmän kuormanhallinnan valmiuteen voidaan varautua valitsemalla yhteensopivat latausasemat, joista löytyy vaaditut tiedonsiirtoyhteydet kuormanhallinnan ohjainlaitteelle. Suunnitteluvaiheessa kannattaa lisäksi miettiä tullaanko latausjärjestelmän kuormanhallinta mahdollisesti toteuttamaan dynaamisen vai staattisen mallin mukaan, jolloin tarvittavat mittauspisteet voidaan lisätä latausjärjestelmän rakennusvaiheessa. Tällöin latausjärjestelmän laajentaminen ja kuormanhallinnan käyttöönotto halutulla ohjausmenetelmällä on huomattavasti helpommin toteutettavissa, ja koko latausjärjestelmää ei tarvitse poistaa väliaikaisesti käytöstä päivityksen aikana. Mikäli latausasemat liitetään latausoperaattorin taustajärjestelmään OCPP-protokollan avulla, on kuormanhallinnan käyttöönotto tarvittaessa vaivatonta, sillä vaadittavat tiedonsiirtoyhteydet latausasemiin ovat valmiina.

Taloyhtiökohteissa kuormanhallinnan avulla voidaan välttää koko kiinteistön sähköjärjestelmää koskevia lisäinvestointeja, jolloin kaikki latauspisteiden hankintaan liittyvät kustannukset kohdentuvat latausjärjestelmään. Tällöin latauspisteiden hankinnan kulut voidaan kohdentaa latauspisteen haluaville osakkaille. Tällä on todennäköisesti positiivinen vaikutus taloyhtiöiden latauspistehankkeisiin, jolloin latausjärjestelmähankkeen kumoamista ei voitaisi yhtä helposti perustella aiheutuvilla ylimääräisillä lisäkustannuksilla.

Erityisesti taloyhtiökohteissa latausasemien valinnassa kannattaa valita samanlaisia latausasemia tai saman valmistajan latausasemia, joille löytyy saatavilla olevia kuormanhallintaratkaisuja. Vaikka markkinoilla olevat älykkäät latausasemat tukevat lähes poikkeuksetta OCPP 1.6 -protokollan eri versioita, se ei takaa kuormanhallinnan yhteensopivuutta eri laitteiden ja järjestelmien välillä. Latausasemien kuormanhallinta on voitu toteuttaa myös Modbus-tiedonsiirron avulla, jolloin kuormanhallinta voidaan toteuttaa myös itsenäiseen latausjärjestelmään ilman erillistä taustajärjestelmää. Tällöin erilaisten latausasemien yhteensovittaminen saman ylätasen kuormanhallinnan alaisuuteen on entistä haasteellisempaa. Mikäli sähköautoilijat hankkivat erilaisia latausasemia autokauppailta autokaupan yhteydessä, ei näitä latausasemia voida välttämättä käyttää taloyhtiön latausjärjestelmässä

kuormanhallintaratkaisun yhteensopimattomuuden vuoksi. Tämän takia taloyhtiössään sähköauton latausta suunnittelevan osakkaan kannattaa hankkia latausasema vasta taloyhtiön latausjärjestelmähankkeen yhteydessä valitulta laitetoimittajalta.

Jatkossa latausjärjestelmien kuormanhallintaa voidaan kehittää tutkimalla tarkemmin sähköautoilijoiden latauskäyttäytymistä erityyppisillä latauspaikoilla tai tietyssä latauskohteessa. Latausoperaattorien keräämien tai kiinteistönhallintajärjestelmään taltioitujen lataustapahtumatietojen pohjalta voidaan suunnitella kehittyneempiä kuormanhallinnan ohjauksen algoritmeja. Ajatuksena on, että latausjärjestelmä oppii käyttäjiensä tottumuksiin. Käyttäjien suunnalta tulevien pyyntöjen hyödyntämistä latausjärjestelmän kuormanhallinnan ohjauksen osalta tulisi tutkia jatkossa enemmän, etenkin kun latausjärjestelmien koot ja käyttöasteet kasvavat. Latausjärjestelmien muodostaessa suurempia latausarkkitehtuurimaisia kokonaisuuksia täytyy käyttäjäkohtaista ja latauksen ohjaukseen liittyvää dataa siirtää eri osapuolien kesken. Siirrettävän datan määrä kasvaa vauhdilla ja tiedonsiirtoon käytettävät protokollat ovat tuoreita ja osa niistä on kehitetty nopealla aikataululla. Tämän takia olisi hyvä tarkemmin perehtyä, tiedostaa ja arvioida lataukseen tiedonsiirtoon liittyviä riskejä ja turvallisuushkia niin käyttäjien tietoturvan kuin latausjärjestelmien toiminnallisuuksien osalta. Lähitulevaisuudessa OCPP 2.0 -protokollan käyttöönoton myötä kaksisuuntaiset lataussovellukset, latausjärjestelmän yhteyteen asennettavat lisäenergiavarastot ja aurinkosähköjärjestelmät tai muut uusiutuvat energiantuotantotavat tuovat omat lisähaasteet latausjärjestelmien kuormanhallinnan toteutukselle ja kehitystarpeille.

LÄHTEET

Abousleiman Rami, Scholer Richard 2015. Smart Charging: System Design and Implementation for Interaction Between Plug-in Electric Vehicles and the Power Grid. IEEE Transactions on Transportation Electrification, Vol. 1, No. 1, June 2015

Acromag 2005. Introduction to Modbus TCP/IP. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.3.2018]. Saatavissa: https://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro_modbustcp.pdf

Alanen Raili, Hätönen Hannu 2006. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. State of art -selvitys. [Verkkodokumentti]. VTT Working Papers 52. [Viitattu 20.2.2018]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>

Avnet 2018. Technologies and Components for Designing Electric Vehicles. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.1.2018]. Saatavissa: <https://www.avnet.com/wps/portal/us/resources/technical-articles/article/markets/automotive+and+transportation/technologies-components-designing-electric-vehicles>

Cody Jarrad, Göl Özdemir, Nedic Zorica, Nafalski Andrew, Mohtar Aaron 2009. Regenerative Braking in an Electric Vehicle. [Verkkodokumentti]. University of South Australia. [Viitattu 15.1.2018]. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/e3bc/86855c1d9ccc15daab8349386f538a692e5b.pdf>

Daimler 2018. Under the microscope: charging technology: Charging made easier. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.1.2018] Saatavissa: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Under-the-microscope-charging-technology-Charging-made-easier.xhtml?oid=11110699>

Davide Andrea 2010. Battery Management Systems for Large Lithium Ion Battery Packs. Artech House. 290 s.

Eera 2017. Yritysten investointituki sähköautojen julkisille latauspisteille. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2018]. Saatavissa: <http://lataustuki.fi/>

ElaadNL 2017. EV Related Protocol Study. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.3.2018]. Saatavissa: <https://www.elaad.nl/downloads/downloads/>

Eur-Lex 2014. Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. 2014/94/EU. [Verkkodokumentti]. Euroopan parlamentti ja neuvosto. [Viitattu 9.1.2018]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=FI>

Eur-Lex 2014, 2014/32/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/32/EU mittauslaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.4.2018]. Saatavilla: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0032&from=EN>

E-clearing.net 2017. Europe's borderless charging network. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: <https://e-clearing.net/>

Finlex 2017. 588/2013. Sähkömarkkinalaki. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.2.2018]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588#Lidp451795104>

Finlex 2017. 478/2017. Laki liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelusta. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2018]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170478>

Fortum 2018. Fortum Vakaa -sähkösopimus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/vertaa-sahkosopimuksia-ja-valitse-elamantilanteeseesi-sopivin-0>

Helen 2018. Sähkö – Tee sähkösopimus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/sahko/kodit/sahkosopimus/>

Herron David 2016. Range Confidence: Charge Fast, Drive Far, with your Electric Car. [Verkkodokumentti]. Green Transportation. [Viitattu 18.12.2017]. Saatavissa: <https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-supercharger-etc.html>

Howell Chris 2015. Electric Vehicle Charging. [Verkkodokumentti]. OpenEVSE. [Viitattu 4.3.2018]. Saatavissa: <https://openev.freshdesk.com/support/solutions/articles/6000052074-basics-of-sae-j1772>

Huject 2018. The eRoaming platform for customerfriendly charging of electric vehicles. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: <https://www.huject.com/en/>

IEC 61851-1 Edition 3.0. 2017. Electrical vehicle conductive charging system. Part 1: General Requirements. [Verkkodokumentti]. International Electrotechnical Commission. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/IEC/IEC/ID9989/6/468652.html.stx>

IEC 61851-23 Edition 1.0. 2014. Electric vehicle conductive charging system. Part 23: DC electric vehicle charging station. Geneva: International Electrotechnical Commission. 162 s.

IEC 62196-2 Edition 2.0. 2016. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles. Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories. Geneva: International Electrotechnical Commission. 124 s.

IEC 62196-3 Edition 1.0. 2014. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles. Part 3: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for d.c. and a.c./d.c. pin and contact-tube-vehicle couplers. Geneva: International Electrotechnical Commission. 71 s.

IEC 63119-1 Edition 1.0. 2017. 69/541/CD. Information exchange for Electric Vehicle charging roaming service – Part 1: General. [Verkkodokumentti]. International Electrotechnical Commission. [Viitattu 28.1.2018]. Saatavissa: http://www.iec.ch/cgi-bin/restricted/getfile.pl/69_541e_CD.pdf?dir=69&format=pdf&type=_CD&file=541e.pdf

IEC TS 62196-3-1 Edition 1.0. 2017. 23H/388/CD. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles Part 3-1: Vehicle connector, vehicle inlet and cable assembly intended to be used with a thermal management system for DC charging. [Verkkodokumentti]. International Electrotechnical Commission. [Viitattu 28.12.2017]. Saatavissa: http://www.iec.ch/cgi-bin/restricted/getfile.pl/23H_388e_CD.pdf?dir=23H&format=pdf&type=_CD&file=388e.pdf

Jape Swaraj Ravindra, Thosar Archana 2017. Comparison of Electric Motors for Electric Vehicle Application. [Verkkodokumentti]. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. eISSN: 2319-1163. [Viitattu 15.1.2018]. Saatavissa: <http://esatjournals.net/ijret/2017v06/i09/IJRET20170609004.pdf>

Korpinen Leena, Mikkola Marko, Keikko Tommi, Falck Emil 2008. Yliaalto-opus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.2.2018]. Saatavissa: <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>

Lahti Energia 2017. Sähköenergian mittaus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.4.2018]. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/sahkoverkko/sahkourakoitsijan-opas/sahkoenergian-mittaus>

Lehtinen Jouni 2017. Kokemuksia pienasiakkaiden tehotariffin kehittämisestä ja käyttöönotosta. Helen Sähköverkko Oy. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 25.8.2018]. Saatavissa: https://energia.fi/files/1759/Kokemuksia_pienasiakkaiden_tehotariffin_kehittamisesta_ja_kayttoonotosta_Lehtinen.pdf

Liikenne- ja viestintäministeriö 2017. Liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkko. Suomen kansallinen ohjelma. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2018]. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79530>

Martinenas Sergejus, Marinelli Mattia, Andersen Peter Bach, Traeholt Chresten 2016. Evaluation of Electric Vehicle Charging Controllability for Provision of Time Critical Grid Services. Technical University of Denmark. Proceedings of the 51st International Universities Power Engineering Conference IEEE. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.3.2018]. Saatavissa: http://orbit.dtu.dk/ws/files/125363657/upec2016_full_v2.pdf

Mobility House 2017. Technical Data and Special Features of all Volkswagen Models. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2018]. Saatavissa: <http://www.mobilityhouse.com/en/portfolio/volkswagen-electric-cars/>

Motiva 2016. Kiinteistöjen latauspaikat -esiselvitys. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/10869/Kiinteistojen_latauspaikat_esiselvitys.pdf

Motiva 2017. Kiinteistöjen latauspisteet kuntoon. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.5.2018] Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/12544/Kiinteistojen_latauspisteet_kuntoon_Paivitetty_14.03.2017.pdf

Mouli Gautham R. C. 2016. Implementation of Dynamic Charging and V2G using Chademo and CCS/Combo DC charging standard. Dept. of Electrical Sustainable Energy, Delf University of Technology. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Netherlands, s. 1-6.

Nedco 2016. Electric Vehicle Charging Time for various Level 2 – 208/240V Stations. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2018]. Saatavissa: <http://pluginbc.ca/wp/wp-content/uploads/2016/05/EVs-on-board-systems-and-EVSE-Update-Jan-2016.pdf>

Nord Pool 2018. Day-ahead prices. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Hourly/?view=table>

OCHP 2017. Open Clearing House Protocol – Protocol Release Log. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: <https://github.com/e-clearing-net/OCHP/blob/master/OCHP.md>

OCHP e-clearing.net 2017. Open Clearing House Protocol – Protocol Version 0.2. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 25.2.2018]. http://www.ochp.eu/wp-content/uploads/2013/12/130425_Open-Clearing-House-Protocol_v0_2_0.9.pdf

Open Charge Alliance 2017. Welcome to the Open Charge Alliance. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 25.2.2018]. Saatavissa: <http://www.openchargealliance.org/>

Open Charge Alliance OCPP 2017. OCPP Development Roadmap. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.3.2018]. Saatavissa: http://www.openchargealliance.org/uploads/files/OCPP_Development_Roadmap_V01a.pdf

Open Charge Alliance OSCP 2017. Open Smart Charging Protocol 1.0. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: <http://www.openchargealliance.org/protocols/oscp/oscp-10/>

Phoenix Contact 2018. EV Charge Control Basic. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.1.2018]. Saatavissa: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/fifi/web/main/products/subcategory_pages/ac_charging_controllers_p-29-04-02/f96d92af-c4d3-456a-9def-a4c9a7f3813f/f96d92af-c4d3-456a-9def-a4c9a7f3813f

Phoenix Contact Lataustekniikkasarjat 2018. Set EV-SET-T2AC-ADV-RCM2-32ASE12. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.1.2018]. 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>

Plugit 2017. Taustajärjestelmä – yhteenveto lataustapahtumista. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.1.2018]. Saatavissa: <https://plugit.fi/fi-fi/ratkaisut-ja-palvelut/taustajarjestelma/267/>

Plugless 2018. The World Is Going Wireless. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.1.2018]. Saatavissa: <https://www.pluglesspower.com/learn-about-plugless/>

Pod Point 2018. BMW i3 Charger Guide. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2018]. Saatavissa: <https://pod-point.com/landing-pages/bmw-i3-charging>

Salonen Noora, Poskiparta Laura, Kumpula Niina 2015. Sähköautojen julkiset latauspisteet Selvitys ja suosituksia. [Verkkodokumentti]. Suomen Kuntaliitto. [Viitattu 7.12.2017]. Saatavissa: http://shop.kunnat.net/product_details.php?p=3104

Schneider Electric Charging Station Commissioning 2017. EVlink Charging Stations Commissioning Guide. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.1.2018]. Saatavissa: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Id=7435462382&p_File_Name=D OCA0060EN-06.pdf&p_Reference=DOCA0060EN-06

Schneider Electric EVlink 2017. Electric vehicle charging solutions. Catalog April 2017. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.1.2018]. Saatavissa: [http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=COM-POWER-VE-CA3-EN&p_EnDocType=Catalog&p_File_Id=7403930402&p_File_Name=COM-POWER-VE-CA3-EN%20\(web\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=COM-POWER-VE-CA3-EN&p_EnDocType=Catalog&p_File_Id=7403930402&p_File_Name=COM-POWER-VE-CA3-EN%20(web).pdf)

Schneider Electric Globaali kuvapankki 2018. Welcome to the Schneider Electric Asset Library. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.1.2018]. Saatavissa:

https://schneiderelectric.telescopeondemand.com/Scripts/WebObjects.dll/TSWeb?site=schneider&language=en_US

Schneider Electric Lehdistöle 2017. Lehdistöhuone. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.2.2018]. Saatavissa: <https://www.schneider-electric.fi/fi/about-us/press.jsp#/>

Schneider Electric StruxureWare 2017. Power Monitoring Expert 8.2 Design Guide. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.3.2018]. Saatavissa: https://www.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/313000/FA313035/en_US/PME%208.2-%20-%20Design%20Guide.pdf

SFS-EN ISO 15118-1. 2015. Tieajoneuvot. Ajoneuvo-verkko-kommunikaatiöväylän rajapinta. Osa 1: Yleiset tiedot ja käyttötapausten määrittely. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. s. 69

SFS-EN ISO 15118-2. 2014. Road Vehicles. Vehicle-to-Grid Communication Interface. Part 2: Network and application protocol requirements. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. s. 346

SFS 6000. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Seongpil Cheon, Suk-Ju Kang 2017. An Electric Power Consumption Analysis System for the Installation of Electric Vehicle Charging Stations. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.3.2018] Saatavissa: <http://www.mdpi.com/1996-1073/10/10/1534/htm>

SESKO ry 2018. Sähköajoneuvojen lataussuositus 2018. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.12.2017]. Saatavissa: https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_alueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/lataussuositus

Sähköinen liikenne 2017. Suomen julkiset latausasemat ja -pisteet. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.1.2018]. Saatavissa: http://www.sahkoinenliikenne.fi/sites/sahkoinenliikenne_fi/files/attachments/15052017_suomen_latauspisteet.pdf

Tukes 2013. Mittauslaitteet. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.4.2018]. Saatavissa: <http://tukes.fi/fi/Toimialat/Mittauslaitteet/>

U.S. Department of Energy 2018. The official U.S. government source for fuel economy information. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavissa: <https://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=noform&path=1&year1=1984&year2=2018&vtype=Electric&pageno=1&sortBy=Comb&tabView=0&rowLimit=10>

Valtioneuvosto 2018. EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistaminen sinettiä vaille valmis – sähköautojen latausmahdollisuuksia vauhditetaan. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.5.2018]. Saatavissa: https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/eu-n-rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistaminen-sinettia-vaille-valmis-sahkoautojen-latausmahdollisuuksia-vauhditetaan

Valtiovarainministeriö 2018. Energiaverotuksen muutoksia vuoden 2019 alusta. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.6.2018]. Saatavissa: http://vm.fi/artikkeli/-/asset_publisher/energiaverotukseen-muutoksia-vuoden-2019-alusta

Verohallinto 2018. Kotitalousvähennys. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2018]. Saatavissa: <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>

Vesa Juha 2017. Sähköajoneuvojen latausjärjestelmien standardointi. [Verkkodokumentti]. SESKO ry. [Viitattu 8.1.2018]. Saatavissa: http://www.sesko.fi/files/846/Sahkoajoneuvojen_latausjarjestelmien_standardointi_yleinen.pdf

Williams Brett, Anderson John 2015. Electric Vehicle Market Trends and Tools Webinar. [Verkkodokumentti]. Center for Sustainable Energy. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavissa: http://energycenter.org/sites/default/files/civicrm/persist/contribute/files/11-4-15_EV_Market_Trends_And_Tools_Webinar.pdf

Wilson Lindsey 2013. Shades of Green. Electric Cars' Carbon Emissions Around the Globe. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 18.2.2018]. Saatavissa: <http://shrinkthatfootprint.com/wp-content/uploads/2013/02/Shades-of-Green-Full-Report.pdf>

Xiao Lu 2015. Wireless Charging Technologies: Fundamentals, Standards, and Network Applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 18, No. 2, November 2015

Yijia Cao, Shengwei Tang, Canbing Li, Peng Zhang, Yi Tan, Zhikun Zhang, Junxiong Li 2012. An Optimized EV Charging Model Considering TOU Price and SOC Curve. IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1, March 2012

Yilmaz Murat, Krein Philip P. 2013. Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 28, No. 5, May 2013

Zhao Xu, Qiuwei Wu, Nielsen Arne H. 2009. System Architecture Design for Electric Vehicle (EV) Systems. [Verkkodokumentti]. Edison Consortium. [Viitattu 29.1.2018]. Saatavissa: http://www.edison-net.dk/~media/EDISON/Reports/WP2_D_2.1.2_EV_system_architecture.ashx

Liite 1: Latausjärjestelmän toteutuksen suunnittelukaavio

