

Niklas Pasanen

SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA KUSTANNUSTEHOKAS TOTEUTUS

Latausjärjestelmien toteutusprojektien
kustannusanalyysi sekä kustannustehokkuuden
ja laadun kehittäminen

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastajat: Yliopistonlehtori Henrik Tolvanen
Professori Pertti Järventausta
Marraskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Niklas Pasanen: Sähköautojen latausjärjestelmän suunnittelu ja kustannustehokas toteutus, Latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannusanalyysi sekä kustannustehokkuuden ja laadun kehittäminen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Ympäristö- ja energiatekniikka
Marraskuu 2022

Liikenteen sähköistyminen on globaali ilmiö, joka vaikuttaa myös Suomeen. Suomessa arvioidaan olevan vuoteen 2030 mennessä jopa 700 000 sähköautoa. Sähköautojen lataus tapahtuu tutkimusten mukaan pääasiassa kodeissa ja työpaikoilla. Latauspisteiden määrälle sähköautoa kohden käytetään kerrointa 1,6. Sähköautojen määrän lisääntymisen sekä lainsäädännön vuoksi Suomeen tarvitaan tulevina vuosina satoja tuhansia uusia latausvalmiuksia ja -pisteitä. Latauspisteiden ja -valmiuksien rakentaminen on edelleen tuore ilmiö eikä toteutusta suoraan ohjaavia standardeja ole. Tämä aiheuttaa kovan kysynnän lisäksi riskin, että markkinoilla on toimijoita, joilla ei ole kokemusta latausjärjestelmien toteuttamisesta, mikä voi johtaa jopa riskeihin latausjärjestelmien toimivuudelle.

Tämän diplomityön toimeksiantaja oli sähköyhtiö Oomi Oy. Työn tarkoituksena oli selvittää, mitä vaiheita latausjärjestelmien toteutusprojekteihin kuuluu, keitä sidosryhmiä niissä on mukana ja mitä huomioitavaa etenkin suunnittelussa ja mitoituksessa yleensä on. Lisäksi etsittiin kirjallisuuden ja asiantuntijahaastattelujen avulla laatumittareita, joilla latausjärjestelmien toteutusprojektien laatua voitaisiin mitata ja vertailla. Tutkimus toteutettiin niin kirjallisuustutkimuksena, haastattelututkimuksena sekä toimeksiantajan sisäisten kustannus- ja projektitietojen perusteella. Työssä oli tutkimusaineistona mukana kolme Oomin toimittamaa latausjärjestelmää eri puolille Suomea. Kohteiden latausjärjestelmät sisälsivät kymmeniä ja satoja latausvalmiuksia. Case-esimerkkikohteille laadittiin kustannusanalyysi ja kohteita arvioitiin valittujen laatumittareiden perusteella Oomin sisäisten projektimateriaalien avulla. Lopuksi selvitettiin työn tulosten ja asiantuntijahaastattelujen tulosten kautta johtopäätöksenä keinoja kehittää yleisesti latausjärjestelmien toteutusprojektien laatua ja kustannustehokkuutta.

Latausjärjestelmän toteutusprojekti voidaan jakaa muiden rakennusprojektien tapaan määrittely-, suunnittelu-, toteutus- ja lopetusvaiheeseen, joissa voi olla mukana tilaajan ja pääurakoitsijan lisäksi aliurakoitsijoita, konsultteja ja ulkopuolelta hankittu suunnittelija. Latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannuksiin vaikuttavat merkittävästi kohteen sijainti, latausjärjestelmän tyyppi ja maatoiden tarve. Laatumittareina laadun arvioimiseen voidaan käyttää esimerkiksi arvioidun ja toteutuneen toimitusajan toteutumista, reklamaatioiden määrää sekä arvioitujen kustannusten suhdetta toteutuneisiin kustannuksiin.

Case-esimerkkikohteiden perusteella asennustyö, maatyöt, sähkökeskukset sekä asennustarvikkeet muodostivat suurimmat kustannukset niin tarjouslaskentavaiheessa kuin toteutuneisakin kustannuksissa. Lisäksi etenkin älykkäissä latausjärjestelmissä latauslaitteet ovat olennainen kustannustekijä, mutta niiden kustannukset ovat helposti arvioitavissa. Näiden huomioiminen tarjouslaskentavaiheessa on kriittistä projektin budjetissa pysymiseen. Takuuajan reklamaatioista valtaosa oli liittynyt latauslaitteiden takuukorjauksiin. Lisäkustannuksia oli syntynyt etenkin materiaalihankinnoista, tietoliikenneyhteyksien järjestämisestä ja maatoista.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tarjouslaskennan ja suunnittelun rooli on projektissa aivan keskeinen. Sillä on vaikutusta niin kustannustehokkuuteen kuin laatumittarien mukaisen laadun toteutumiseen. Rakennusvaiheessa erittäin tärkeää on myös tiedonjako eri sidosryhmien välillä sekä urakoitsijan puolella myös asennusresurssien tehokas koordinointi. Etenkin taloyhtiöpuolella korostuu tarve asiantuntijuudelle latausjärjestelmää hankittaessa, jolloin ulkopuolisen konsultin tai asiantuntijan käyttäminen apuna tarjouspyynnön laatimisessa sekä toimitusprojektin aikana helpottaa usein jokaista eri sidosryhmää.

Avainsanat: Kustannustehokkuus, laatu, latausjärjestelmä, projekti, sähköauto, sähköauton lataus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Niklas Pasanen: Designing and cost-efficient implementing of electric vehicle charging system, cost-analysis of an electric vehicle infrastructure projects and developing of cost-efficiency and quality
Master's Thesis
Tampere University
Environmental and Energy Engineering
November 2022

The electrification of transportation and mobility is a global phenomenon that is affecting Finland too. According to the forecasts, there will be up to 700 000 electric vehicles in Finland by 2030. Electric vehicles are charged mostly at home or at work. A coefficient of 1,6 is used to approximate the amount of needed charging points per electric vehicle. Due to increasing number of electric vehicles and the requirements of legislation there is a need for hundreds of thousands of charging points in the next years. The construction of charging points and charging infrastructure is still a new phenomenon and there are not any standards giving the straight guidance for the execution. In addition to the growing demand, this causes a risk that there are operators without the proper knowledge and experience in delivering the electric vehicle charging systems. This may even cause a risk for the functionality of the charging systems.

This thesis was done for electricity provider Oomi Oy. The goal of the study was to find out what phases and actors are included and participate in the electric vehicle infrastructure projects and what must be considered, especially in the designing phase of the project. In addition, the literature and expert interviews are used to find quality indicators for estimating and comparing the quality of the electric vehicle infrastructure projects. The study was conducted by literature review, interviews and by analyzing the client's internal cost and project data. Three case example projects from Oomi were used in the study. The case example projects included dozens and hundreds of charging points. A Cost analysis was conducted for the case example projects, and they were reviewed by the chosen quality indicators. The data was obtained from the internal project materials from Oomi. As a conclusion from the results, general ways to develop the quality and cost-effectiveness of the electric vehicle infrastructure projects were discussed.

The electric vehicle infrastructure project, like other construction projects, can be divided to four phases: initiation, planning, execution and closure. In addition to the owner and the main contractor, projects can involve subcontractors, consultants and designers. The cost of an electric vehicle infrastructure project depends mostly on the location, type of a charging system and the amount of earthworks. The amount of complaints, construction cost growth and the relation of delivery time and the delivery time in the contract can be used as a quality indicators.

According to the case projects, installation work, earthworks, electrical supply cabinets and the installation equipment have been the most significant factors in both offer calculations and the final costs. The smart chargers have also been a significant expense, but their cost does not have as many variables. Considering the previous factors in the offer calculation phase is crucial in sticking to a budget. Most of the warranty complaints in the case example projects had been about warranty repairs of the charging stations. The extra costs in the case projects were formed in material procurement, communications and the earthworks.

Overall, the role of offer calculation and design is crucial in the projects. It affects both cost-effectiveness and the realization of the quality indicators. During the construction phase, communication between the actors involved and the efficient coordination of installation resources were found to be particularly important. When the client is a housing cooperative, the need for external expert or consultant for the call for bids and the whole process was found to be beneficial for all of the actors involved in the project.

Keywords: Cost-efficiency, quality management system, project, electric vehicle, electric vehicle charging

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä työ on laadittu Tampereen yliopiston tekniikan ja luonnontieteiden ympäristö- ja energiatekniikan yksikössä osana diplomi-insinöörin tutkintoa. Työn tilaajana on toiminut sähköyhtiö Oomi Oy. Työ on kirjoitettu kevään 2022 ja syksyn 2022 välisenä aikana kotona, toimistolla, yliopistolla, hotellissa, junassa ja milloin missäkin.

Kiitokset työn tarkastajina olleille Tampereen yliopiston Henrik Tolvaselle ja Pertti Järventaustalle työnaikaisista neuvoista ja näkökulmista. Lisäksi haluan kiittää erityisesti työnantajaani diplomityön mahdollistamisesta sekä erityisesti työn ohjaajaa Arttu Raitalaa sekä lisäksi alussa mukana ollutta Timo Kenttälää vaivannäöstä sekä neuvoista työn alkuvaiheessa. Kiitokset myös muille Oomilla työssä avustaneille henkilöille asiantunteuksesta sekä tsemppauksesta. Kiitos kuuluu myös työssä mukana olleiden case-esimerkkikohteiden edustajille sujuvasta yhteistyöstä sekä haastatelluille asiantuntijoille haastatteluihin osallistumisesta ja muusta avunannosta.

Lisäksi haluan kiittää ystäviäni ja perhettäni diplomityön ja opintojen aikana saadusta tuesta. Erityiskiitokset Riikalle, jonka tuki diplomityön aikana on ollut erityisen arvokasta.

Tampereella, 10.11.2022

Niklas Pasanen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. SÄHKÖAUTOT JA SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄT.....	4
2.1 Sähköautojen määritelmä ja määrä Suomessa	4
2.2 Sähköautojen lataustavat	7
2.3 Latauspisteiden ja -valmiuksien määrän kehitys kiinteistöissä.....	9
2.4 Kiinteistön latausjärjestelmä ja latausasemat	10
2.5 Älykäs lataus ja kuormanhallinta	16
2.6 Latausjärjestelmän kustannukset ja projektien laadun arvioiminen.....	19
3. SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU- JA TOTEUTUSPROSESSI	23
3.1 Latausjärjestelmän toteutusprosessin vaiheet.....	23
3.2 Latausjärjestelmän suunnittelu ja mitoittaminen	25
3.3 Säädökset, turvallisuus ja asennustavat.....	32
3.4 Varautuminen tulevaisuuteen.....	35
3.5 Tarkastukset, luvat ja dokumentointi	35
4. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	39
4.1 Tutkimusstrategia.....	39
4.2 Case-esimerkkikohteet.....	41
4.3 Haastattelututkimus.....	46
4.4 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi	47
5. TULOKSET	49
5.1 Case-esimerkkikohteiden kustannusanalyysi	49
5.2 Case-esimerkkikohteiden laatumittareiden vertailu	55
5.3 Kustannuksiin ja lisätöihin vaikuttavat tekijät	57
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	62
6.1 Latausjärjestelmien toteutusprojektien vaiheet, sidosryhmät ja laatumittarit.....	62
6.2 Latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannusanalyysi ja laatumittarit	63
6.3 Kustannustehokkuuden ja laadun kehittäminen	64
7. YHTEENVETO.....	66
LÄHTEET	69
LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET	74
LIITE B: KOY KOSKENNISKAN PYSÄKÖINTI OY:N YLEISSUUNNITELMA.....	75

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Kuormanhallinta	Järjestelmän lataustehon hallinta rajoittamalla autojen ottamaa latausvirtaa ja jaksottamalla latausta
Kuormituskerroin	Prosenttilukuna tai numeroarvona ilmoitettu piirin tai piirien maksimitehon suhde piirin tai piirien asennettuun kokonaistehoon
Latausjärjestelmä	Kaikki sähköautojen lataamiseen tarvittavat laitteet ja järjestelmät, joiden avulla vaihtosähköä syötetään sähköautoihin lataamista varten
Latauspiste	Paikka, jossa voidaan ladata yhtä sähköautoa kerrallaan
Lataustapa 3	Sähköajoneuvon liittäminen vaihtosähkösyöttöön käyttäen erityisesti tähän tarkoitettua sähköajoneuvon latausjärjestelmää, jossa ohjaustoiminnot ulottuvat kiinteästi vaihtosähköverkkoon liitettyyn sähköajoneuvon latauslaitteeseen
Latausvalmius	Putkitus tai muu johtotie, joihin voidaan myöhemmin asentaa tarvittava kaapelointi sähköajoneuvojen latauspisteitä varten, sekä kaapelointia sähköajoneuvojen latauspisteitä varten
Liitäntäpiste	Piste, jossa sähköajoneuvo on liitetty kiinteään asennukseen
Plug and Charge	Ajoneuvon tai käyttäjän tunnistaminen suoran ajoneuvon yksilöintitietojen pohjalta mahdollistaen esimerkiksi automaattisen laskutuksen ilman erillistä tunnistautumista
SESKO	sähkötekniikan alan kansallinen standardointijärjestö
Sähköauto	Ladattava auto, sisältäen täyssähköautot ja ladattavat hybridautot
Täyssähköauto	Ajoneuvo, jossa kaikki ajamiseen tarvittava energia on varastoitu akustoon
AC	Alternating Current
ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus
BEV	Battery Electric Vehicle
BMS	Battery Management System
CB	Circuit Breaker
CONQUAS	Construction Quality Assessment System
CCS	Combined Charge System
CNG	Compressed Natural Gas
DC	Direct Current
DLM	Dynamic Load Management
HEV	Hybrid Electric Vehicle
OCA	Open Charge Alliance
OCPP	Open Charge Point Protocol
OSCP	Open Smart Charging Protocol
PASS	the Performance Assessment Scoring System
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PnC	Plug and Charge
RCD	Residual Current Device
V2G	Vehicle to Grid
VMS	Vehicle Management System
cos φ	Tehokerroin
kW	Kilowatti
kWh	Kilowattitunti

1. JOHDANTO

Ilmastonmuutos on ollut viime vuosina jatkuvasti esillä. Sitä on kutsuttu YK:ssa kriisien moninkertaistajaksi sekä suurimmaksi uhaksi, jonka nykyinen ihmiskunta on koskaan kohdannut. Osana ilmastonmuutoksen torjuntaa on esitetty uusien, aiempaa ympäristöystävällisempien teknologioiden käyttöönottoa. [1]

Liikenne aiheuttaa Suomen kokonaispäästöistä viidenneksen ja tieliikenteen osuus on 94 % kotimaan liikennepäästöistä. Kotimaan tieliikenteen päästöistä henkilöautot kattavat noin 54 % sekä paketti- ja kuorma-autot noin 41 %. Suomen hallituksen tavoitteena on vähentää tieliikenteen hiilidioksidipäästöjä vähintään 50 prosenttia verrattuna vuoteen 2030 mennessä vuoteen 2005 verrattuna. [2] Henkilöautoliikenteessä nykyisten päästövähennystavoitteiden kriittisenä keinona on liikenteen sähköistyminen, joka on edennyt etenkin henkilöautopuolella aiemmin ennakoitua nopeammin. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisemien ennusteiden ja arvioiden mukaan Suomessa olisi vuonna 2030 jo noin 600 000–700 000 sähkökäyttöistä henkilöautoa ja noin 45 000 sähkökäyttöistä pakettiautoa. Kasvun nopeutta kuvaa se, että vielä vuonna 2020 tehdyn ennusteen perusteella määräksi arvioitiin 350 000 kappaletta. [2,3]

Ladattavien autojen määrän kasvu vaatii kattavan latausverkoston ja sähköautojen latauspisteiden yleistymisen [4, s. 1]. Etenkin täyssähköautot vaativat käytännössä latauspisteen niille kiinteistöille, joissa niitä säilytetään [5]. Kiinteistöjen latausjärjestelmien rakentamista on Suomessa vauhditettu muun muassa erilaisilla tuilla, joita Asumisen rahoitus ja -kehittämiskeskus ARA on myöntänyt taloyhtiöille ja yrityksille [6,7]. Lisäksi lainsäädännössä on asetettu vaatimuksia latausvalmiuksien ja -pisteiden määrän lisäämiseksi kiinteistöissä [8].

Sähköautoilu eroaa käyttötavaltaan polttomoottoriautoista siten, että sähköautot ladataan pääasiassa kotona tai työpaikoilla. Yhdysvaltain energiaministeriö on arvioinut, että noin 80 % sähköautojen lataamisesta tapahtuu ensisijaisesti kodeissa kätevyys- ja alhaisen hinnan vuoksi. [9] Kotilatauksen puuttumisen on arvioitu kyselytutkimusten perusteella olevan merkittävä syy siihen, pidetäänkö sähköauton hankkimista järkevänä vaihtoehtona [10, s. 20].

Koska sähköautojen latausjärjestelmien toteutuksesta on olemassa vain vähän suoraan ohjaavia standardeja, on sähkösuunnittelijalla erittäin suuri rooli aina suunnittelusta muiden sidosryhmien opastamiseen [11, s. 5]. Sähköautojen lataus on uusimpia sähköverkkoon liitettäviä kuormia ja latausjärjestelmien määrä on viime vuosina lähtenyt reiluun kasvuun sekä tuonut alalle paljon erilaisia toimijoita vaihtelevalla suunnittelukokemuksella, mikä voi jopa aiheuttaa haasteita latausjärjestelmien toimivuudelle [12, s. 3–5].

Tämän työn tavoitteena on koota yhteen sähköautojen latausjärjestelmän toteutusprojektin vaiheet aina suunnittelusta ja mitoitukselta toteutukseen ja luovutukseen. Samalla on tarkoitus selvittää, mitä sidosryhmiä eri vaiheissa projektia on mukana. Jotta projekteja voidaan arvioida ja vertailla keskenään, on laadun arvioimiseen oltava erilaisia laatumittareita. Kirjallisuudesta selvitetään, mitkä laatumittarit sopivat latausjärjestelmien toteutusprojektien vertailuun.

Työn tilaajana on toiminut Oomi Oy (jatkossa käytetään nimitystä Oomi) ja diplomityö on toteutettu Aurinko ja sähköinen liikkuminen -liiketoimintayksikölle. Työssä on käytetty case-esimerkkikohteina kolmea Oomin toteuttamaa eri kokoista latausjärjestelmäprojektiä Oulussa ja Lahdessa. Tutkimuskysymyksiä työssä ovat:

- 1) Mitä vaiheita latausjärjestelmän toteutusprojektiin kuuluu ja mitä sidosryhmiä niissä on mukana?
- 2) Mistä latausjärjestelmän toteutusprojektin kustannukset muodostuvat ja millaisia laatumittareita näissä voidaan käyttää?
- 3) Miten case-esimerkkikohteissa kustannukset ovat muodostuneet ja miten laatumittarien mukainen laatu on niissä toteutunut?
- 4) Miten latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannustehokkuutta ja laadukkuutta voitaisiin kehittää case-esimerkkikohteista kerätyn tiedon ja asiantuntijahaastattelujen perusteella?

Tutkimuskysymyksiä selvitetään kirjallisuudesta löytyvän tiedon sekä alalla toimivien asiantuntijoiden avulla, hyödyntämällä kerättyä dataa toteutetuista case-esimerkkikohteista sekä haastattelemalla case-esimerkkikohteissa mukana olleita neljää alan asiantuntijaa, jotka vaikuttavat pääosin urakointi- ja konsultointipuolella.

Työssä tarkastellaan luvussa 2 esiteltävistä lataustavoista vain lataustapoja 3 ja 4 eli niin sanottua peruslatausta ja tehollatausta ja näistäkin työssä painotetaan erityisesti lataustapaa 3. Tämän vuoksi työn ulkopuolelle rajataan esimerkiksi suko-pistokkeisiin tai teollisuuspistorasiaan liitettävät lataustavan 2 mukaiset latauspisteet ja -järjestelmät sekä langattomat induktiolatauslaitteet. Työssä keskitytään henkilöautojen latausjärjestelmiin

eikä esimerkiksi raskaan liikenteen tai linja-autojen latausta käsitellä. Vastaavasti urakamuodoista käsitellään selkeyden vuoksi niin sanottuja KVR- eli kokonaisvastuurakentamismurakoita.

Johdannon jälkeen luvussa 2 esitellään sähköautot, niiden lataustavat ja sähköautojen latausjärjestelmät. Luvussa 3 käydään läpi sähköautojen latausjärjestelmien toteutusprojektien vaiheet ja selvitetään, että mitä prosessissa on otettava huomioon. Luvussa 4 esitellään lyhyesti tutkimusstrategia sekä työssä tarkasteltavat case-esimerkkikohteet ja haastateltavat henkilöt. Luvun lopussa arvioidaan vielä tutkimuksen luotettavuutta. Luvussa 5 käydään läpi työn tulokset eli edellisessä luvussa kuvatun haastattelututkimuksen ja case-esimerkkikohteiden kustannusanalyysin ja laatumittareiden tulokset. Luvussa 6 arvioidaan työstä syntyneet johtopäätökset. Luvun 7 yhteenvedossa tiivistetään työ yhteenvedoksi. Lopuksi listataan työssä käytetyt lähteet ja liitteet.

2. SÄHKÖAUTOT JA SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄT

Sähköautoiluun liittyvät termit eivät ole vielä täysin yhtenäistyneet. Tässä kappaleessa tarkastellaan sähköauton määritelmää ja sähköautojen määrän kehittymistä Suomessa viime vuosien aikana. Tämän jälkeen esitellään sähköautojen lataukseen tarkoitetut lataustavat ja luvun lopussa esitellään tyypillinen latausjärjestelmä, siihen liittyvät termit ja latausjärjestelmän kustannusten muodostuminen.

2.1 Sähköautojen määritelmä ja määrä Suomessa

Sähköautoilla, joskus myös ladattavat autot, tarkoitetaan yleisesti sekä täyssähköautoja (engl. BEV, Battery Electric Vehicle) että ladattavia hybridautoja (engl. PHEV, Plug-In Hybrid Electric Vehicle). Esimerkiksi sähköalan kansallinen standardointijärjestö SESKO määrittelee sähköauton autoksi, jonka voimanlähteenä on yksi tai useampi sähkömoottori ja johon voi ladata ulkopuolisesta lähteestä energiaa liikkumista varten. [13] Tämän määritelmän perusteella ei-ladattavat hybridautot (engl. HEV, Hybrid Electric Vehicle) eivät täytä sähköauton määritelmää.

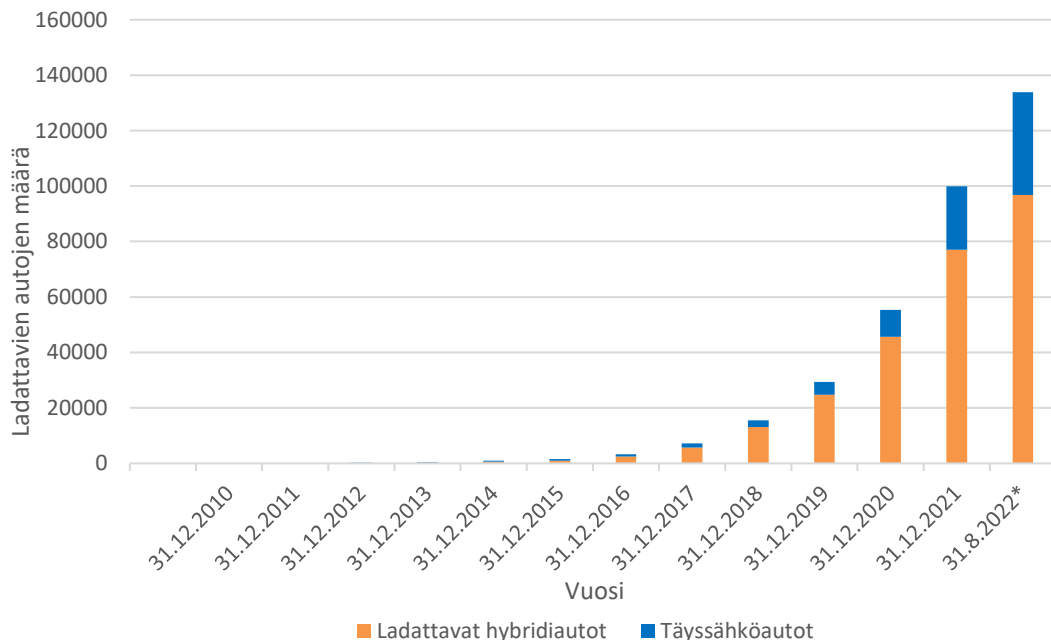
Täyssähköautoissa kaikki ajamiseen tarvittava energia on varastoitu autossa olevaan akustoon ja siellä oleviin suljettuihin kennoihin, jotka ladataan ulkopuolelta saatavalla sähköenergialla. Täyssähköautoissa akuston koko ilmoitetaan kilowattitunteina ja on tyypillisesti noin 20–100 kWh. [14, s. 14] Sähköenergiankulutus on automallista riippuen noin 10–30 kWh/100 km ja mitoitussarvona käytetään tyypillisesti kulutusta 20 kWh/100 km [4, s. 3].

Täyssähköautoissa on polttomoottorin sijasta yksi tai useampi sähkömoottori, joille syötetään ajoakusta taajuusmuuttajan eli invertterin avulla vaihtovirraksi (engl. AC, Alternating Current) muunnettua tasavirtaa (engl. DC, Direct Current). Sähkömoottorille ominaisen vääntökäyrän vuoksi vaihdelaatikkoo tai mekaanista kytkintä ei tarvita, mutta sähköautoissa on tyypillisesti alennusvaihe ja tasauspyörästä. Ajoakuston jännite on tyypillisesti 200–500 V ja pidemmän käyttösaiteen täyssähköautoissa ja raskaassa kalustossa 200–920 V. Apulaitteet ja elektroniikka toimivat muiden autojen tavoin erillisellä 12 voltin sähköjärjestelmällä erillisen lyijyakun avulla. Koska sähkömoottori ei synnytä suurta määrää hukkalämpöä, täyssähköautojen ohjaamon lämmitys toteutetaan sähkölämmittimellä, jonka lisäksi joissain malleissa on ilmalämpöpumppu. [14, s. 12–16].

Ladattavissa hybridautoissa (usein myös lataushybridi tai pistokehybridi) on kaksi voimanlähdettä: tyypillisesti polttomoottori eli joko bensiini- tai dieselmoottori sekä sähkömoottori ja ajoakusto. Ajoakusto on ladattavissa ulkoisesta lähteestä ja ladattavat hybridautot kulkevat tyypillisesti noin 20–80 kilometriä pelkällä sähköllä täyssähköauton tavoin, minkä jälkeen auto toimii tavallisen polttomoottorihybridauton tavoin. [15]

Ei-ladattavia hybridautoja eli niin sanottuja täys- ja kevythybridejä ei siis lasketa sähköautoiksi, sillä kaikki niiden ajoenergia on peräisin polttonesteistä eli joko bensiinistä tai dieselistä eikä niihin voida syöttää sähköenergiaa ajoneuvon ulkopuolelta [13]. Niissä kuitenkin on sähkömoottori, joka kevythybridissä tukee polttomoottoria esimerkiksi kiihdytyksissä ja täyshybridissä voi jo liikuttaa autoa joitakin kilometrejä. Sähkömoottori toimii täyssähköautojen ja ladattavien hybridautojen tavoin generaattorina, joka varastoi jarrutusenergiaa pieneen, usein noin 1 kWh, kapasiteetiltaan olevaan akkuun. [14, s. 12]

Sekä täyssähköautojen että ladattavien hybridautojen määrä on kasvanut voimakkaasti viimeisen kymmenen vuoden aikana ajoneuvokannan jopa kaksinkertaistuessa vuosittain [4, s. 1]. Kuvassa 1 on esitetty Suomessa liikennekäytössä olevien ladattavien autojen määrän kehitys vuosittain vuodesta 2010 vuoden 2022 elokuun loppuun saakka.



Kuva 1: Suomessa liikennekäytössä olevien ladattavien autojen määrän kehitys vuosina 2010–2021 sekä tilanne vuoden 2022 elokuun lopussa. Muokattu lähteestä [16].

Kuvasta 1 on huomattavissa kasvun noudattavan lähestulkoon eksponentiaalisen kasvun käyrää. Tuhannen ladattavan auton määrä ylittyi vuonna 2015, kymmenen tuhannen

vuonna 2018 ja sadan tuhannen vuoden 2022 alussa. Muusta Euroopasta poiketen Suomessa ladattavien hybridien osuus on ollut poikkeuksellisen suuri täyssähköautoihin verrattuna, mutta viime vuosina ero on jatkuvasti kaventunut ja täyssähköautojen osuus sähköautokannasta on noussut yli 20 % vuonna 2021 ja lähenteli vuoden 2022 kolmannella kvartaalilla jo 30 %. Kansainvälisesti sähköautokannasta noin 60 % on täyssähköautoja. Fossiilisen tieliikenteen raportissa on tavoiteltu, että ladattavien hybridien osuus uusien autojen myynnistä saavuttaisi huippunsa vuonna 2025 ja alkaisi sen jälkeen laskea voimakkaasti täyssähköautojen osuuden kasvaessa. Sähköautojen hintojen on arvioitu putoavan tavallisten polttomoottorikäyttöisten henkilöautojen tasolle noin 2020-luvun puolivälissä. [17, s. 21–23]

Taulukossa 1 on esitetty vastaavasti eri käyttövoimien osuuksien kehitys Suomessa ensirekisteröidyistä henkilöautoista vuodesta 2015 vuoden 2022 kolmannen kvartaalin loppuun. Käyttövoimisista vertailussa ovat mukana yksinomaan bensiini- ja dieselmoottoriset autot, ei-ladattavat hybridit (HEV), ladattavat hybridiautot (PHEV) sekä täyssähköautot ja kaasuauto (engl. CNG, Compressed Natural Gas). Vety- ja etanoliauto eivät ole taulukossa mukana, sillä niitä ei joko ole rekisteröity lainkaan tai määrät ovat olleet korkeintaan muutamia kappaleita vuodessa.

Taulukko 1: Suomessa ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimien osuudet vuosittain vuodesta 2015 alkaen. Muokattu lähteestä [18]. *Mukana vain 1–8/2022

Vuosi	Diesel [%]	Bensiini [%]	HEV [%]	PHEV [%]	Täyssähkö [%]	CNG [%]
2015	35,70	60,90	2,60	0,40	0,20	0,10
2016	33,20	61,60	3,90	0,20	0,20	0,10
2017	30,40	59,50	7,20	0,40	0,40	0,40
2018	23,80	60,60	9,80	0,60	0,60	1,00
2019	18,30	59,30	13,60	5,20	1,70	1,90
2020	13,25	47,29	19,42	13,72	4,40	1,91
2021	8,53	31,23	28,54	20,45	10,31	0,92
2022*	6,84	25,52	32,28	19,82	14,97	0,54

Kuten taulukosta 1 huomataan, käyttövoimien osuudet ovat muuttuneet vauhdilla viimeisen seitsemän vuoden aikana. Perinteisten bensiini- ja dieselautojen yhteenlaskettu osuus ensirekisteröidyistä henkilöautoista on pudonnut vuoden 2015 96,6 %:sta 32,36 %:iin alkuvuonna 2022. Vastaavasti täyssähköautojen osuus on kasvanut 0,20 %:sta

14,97 %:iin ja ladattavien hybridautojen osuus 0,40 %:sta 19,82 %:iin. Yhteensä ensirekisteröintien määrä on pysynyt suunnilleen samoissa lukemissa vaihdellen vuoden 2018 120 499 ensirekisteröinnin ja vuoden 2020 96 406 ensirekisteröinnin välillä [18].

2.2 Sähköautojen lataustavat

Sähköautojen lataustavat eroavat toisistaan esimerkiksi tehon ja sähköä syöttävän latauspistokkeen perusteella. Lataustavat on eroteltu standardissa SFS-EN IEC 6185 [19] neljään eri luokkaan:

- Kevyiden sähköajoneuvojen lataus (lataustapa 1, mode 1)
- Hidas lataus (lataustapa 2, mode 2)
- Peruslataus (lataustapa 3, mode 3)
- Teholataus (lataustapa 4, mode 4)

Lataustapa 1 kattaa lähinnä kevyiden sähköajoneuvojen latauksen, jossa liittäminen vaihtosähkösyöttöön tapahtuu käyttäen syöttöpuolella mitoitusvirraltaan korkeintaan 16 A ja mitoitusjännitteeltään korkeintaan 250 V yksivaiheista tai 480 V kolmivaiheista standardisoitua pistorasiaa. Lataustapa ei tue tiedonsiirtoa ja on kielletty lainsäädännöllä turvallisuussyistä muun muassa Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa. [19, s. 29]

Lataustavassa 2 (usein myös hidaslataus) ajoneuvoa syötetään vaihtosähköllä joko kotitalous- tai teollisuuspistorasiasta korkeintaan 32 A mitoitusvirralla ja joko 250 V yksivaiheisella tai 480 V kolmivaiheisella jännitteellä. Lisäksi lataustavassa käytetään ohjaustoimintoja ja henkilösuojaukseen vikavirtasuojausta, joka on sijoitettu joko liitäntäkaapelin suojalaitekoteloon tai pistotulpan ja sähköajoneuvon väliin. [19, s. 30]

Lataustapa 3 on suositeltavin tapa sähköajoneuvojen säännölliseen lataukseen. [13, 14] Siinä ajoneuvossa olevaa sisäänrakennettua latauslaitetta syötetään ulkoisesta sähköverkosta standardin SFS EN 62196-2 mukaisesta Type 2-pistorasiasta. Suurin mahdollinen latausvirta peruslatauksessa on 3x63 A, jolla saavutetaan suurimmillaan 43 kW latausteho. [19, 20]

Lataustavassa 4 eli tehollatauksessa (usein myös pikalataus) auton akustoa syötetään suoraan DC- eli tasasähköllä ajoneuvon ulkopuolisesta laturista ohi auton oman AC-laturin. [13, s. 30] Koska muunnos vaihtovirrasta tasavirtaan tapahtuu jo ennen autoa, ei auton sisäinen laturi rajoita lataustehoa vastaavasti kuin AC-latauksessa. Latausjohto on osana latausasemaa ja pistokkeena on standardin SFS-EN 62196-3 mukaisesti joko tyyppiä FF eli CCS tai AA eli ChaDeMo. Teholatureiden syöttämät latausvirrat ovat tyypillisesti satoja ampeereita ja lataustehot ovat välillä 50–350 kW. [4, s. 4]

Induktiolataus perustuu sähkömagneettiseen induktioon ilman fyysistä yhteyttä. Käämeistä toinen on asennettu ajoneuvon alle ja toinen tienpintaan tai muuhun alustaan. Induktiolatausjärjestelmien turvallisuusvaatimuksia käsittelee standardisarja IEC 61980 [19, 20].

Ensisijaisesti Suomessa suositellaan käytettävän lataustapoja 3 ja 4. Esimerkiksi osa vakuutusyhtiöistä saattaa asettaa erilaisia ehtoja tavallisen kotitalouspistorasian käytölle sähköautojen lataukseen. [14, s. 30] Kesällä 2022 Norjassa esitelty uusi kansallinen asennusstandardi kieltää jo uusien kotitalous- tai kolmivaiheisten teollisuuspistorasioiden asennuksen sähköautojen lataukseen [21].

Lataustehoissa esiintyy suuria eroja niin täyssähköautojen ja ladattavien hybridien välillä kuin molempien kategorioiden sisällä olevien automallien välillä. Taulukossa 2 on esimerkin vuoksi esitelty muutamien eri sähköautojen latausominaisuuksia:

Taulukko 2: Kolmen täyssähköauton ja kahden lataushybridin ajoakuston nettokapasiteetti sekä latausominaisuudet AC- ja DC-latauksessa. Data haettu lähteistä [22, 23].

Auto	Akun nettokapasiteetti [kWh]	Suurin DC-pikalatausteho [kW]	AC-latauslaitteen teho
Nissan Leaf e+	59	100	1x32 A / 6,6 kW
Tesla Model 3 Long Range Dual Motor	75	250	3x16 A / 11 kW
Renault Megane E-Tech EV60	60	130	3x32 A / 22 kW
Mercedes-Benz GLA 250e	15,6	24	2x16 A / 7,4 kW
Toyota RAV4 Plug-In	17,8	–	1x32 A / 6,6 kW

Taulukosta 2 voidaan havaita, että latausominaisuudet riippuvat suuresti autosta ja vaihtelevat myös täyssähköautojen ja ladattavien hybridiautojen välillä. Ladattavissa hybridiautoissa lataus onnistuu tyypillisesti vain vaihtovirralla, mutta poikkeuksia, kuten taulukon Mercedes-Benz GLA 250e, esiintyy. Täyssähköautoilla kolmivaiheinen AC-lataus on selvästi yleisempää ja näillä latausteho on tyypillisesti joko 11 tai 22 kW. [17, s. 20]

Kuten aiemmin todettiin, täyssähköautojen osuuden on arvioitu tulevaisuudessa kasvavan ja ladattavien hybridiautojen pienentyvän [17, s. 21–23]. Tämä perusteella latausjärjestelmän mitoittaminen tulisi tehdä nykytilanteen lisäksi tulevaisuuden tarpeet huomioiden eli käytännössä mitoittamalla latauspisteet ja -valmiudet kolmivaiheisiksi.

2.3 Latauspisteiden ja -valmiuksien määrän kehitys kiinteistöissä

Kuten aiemmin todettiin, ladattavien autojen määrä on ollut viime vuosina jatkuvasti nousussa ja kehityksen odotetaan jatkuvan voimakkaana myös tulevana vuosina. Tämä kasvattaa siten myös reilusti latauspisteiden tarvetta. Yleisesti latauspisteiden ja sähköautojen suhteelle on käytössä kerroin 1,6, joka kuvaa tarvittavaa latauspisteiden määrää yhtä sähköautoa kohden [14, s. 9]. Hallitusohjelman mukaisessa fossiilittoman liikenteen tiekartassa on asetettu tavoitteeksi, että Suomessa olisi jokaiselle täyssähköautolle yksi latauspiste yön yli tapahtuvaa latausta varten sekä yksi julkinen pikalatausasema sataa täyssähköautoa kohti. [17, s. 1]

Yksityisessä käytössä olevien latauspisteiden ja -valmiuksien määrää ei ole tilastoitu, mutta suuntaa antaa Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARAn latausinfrastruktuurin kumulatiiviset tiedot, joiden mukaan taloyhtiöille on rakennettu ARAn tuella n. 57 900 kpl latausvalmiuksia vuodesta 2018 alkaen. Työpaikoille ARAn tukea on myönnetty 972 latauspisteen rakentamiselle vuodesta 2022 alkaen. [24, s. 12]

Vauhdittaakseen latauspisteiden yleistymistä asuinrakennuksia omistavissa yhteisöissä eli esimerkiksi taloyhtiöissä ja niiden omistamissa pysäköintiyhtiöissä Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA on myöntänyt avustusta sähköautojen latausinfrastruktuurin rakentamiseen siten, että se kattaa 35 % ja maksimissaan 90 000 € hankkeen kokonaiskustannuksista. [6] Vastaavasti latausmahdollisuuksia työpaikoilla lisätäkseen ARA myöntää myös tukea työpaikkalataamiseen eli pääasiassa työntekijöiden käytössä oleville pysäköintipaikoille 750 € käyttökunnoista ja avustusehdot täyttävää latauslaitetta kohden. [7]

Latausvalmiudeksi määritellään joko putkitus tai muu johtotie, joihin voidaan myöhemmin asentaa sähköajoneuvojen latauspisteisiin vaadittavat kaapeloinnit tai vaihtoehtoisesti kaapeloinnit sähköajoneuvojen latauspisteitä varten. Latauspiste määritellään laissa pisteeksi, jossa yhtä sähköautoa voidaan ladata kerrallaan joko lataustavan 3 mukaisesta normaalitehoisesta latauspisteestä tai lataustavan 4 mukaisesta suuritehoisesta latauspisteestä. [25]

Suomessa lokakuussa 2020 voimaan tullut laki velvoittaa esimerkiksi varustamaan uudet ja laajamittaisesti korvattavat yli neljä pysäköintipaikkaa sisältävät asuinrakennukset latauspistevalmiuksilla siten, että jokaiselle pysäköintipaikalle on mahdollista asentaa myöhemmin latauspiste. [8] Taulukkoihin 3 ja 4 on koottu lain velvoitteet yli kymmenen pysäköintipaikkaa sisältävien, muiden kuin asuinrakennusten latausvalmiuksien ja -pisteiden rakentamiselle uudiskohteissa ja laajasti korjattavissa rakennuksissa.

Taulukko 3: Vaatimukset uusien ja laajasti korjattavien muiden kuin asuinrakennusten latauspisteiden määrälle. Tiedot lähteestä [8].

	11–50 pysäköinti- paikkaa	51–100 pysäköin- tipaikkaa	Yli 100 pysäköin- tipaikkaa
Latauspisteet	1 suuritehoinen tai 1 normaalitehoinen	1 suuritehoinen tai 2 normaalitehoista	1 suuritehoinen tai 3 normaalitehoista

Taulukko 4: Vaatimukset uusien ja laajasti korjattavien muiden kuin asuinrakennusten latausvalmiuksien määrälle. Tiedot lähteestä [8].

	11–30 pysäköintipaikkaa	Yli 30 pysäköintipaikkaa
Latausvalmiudet	Vähintään 50 % paikoista	Vähintään 20 % paikoista, mutta kuitenkin vähintään 15 paikalle

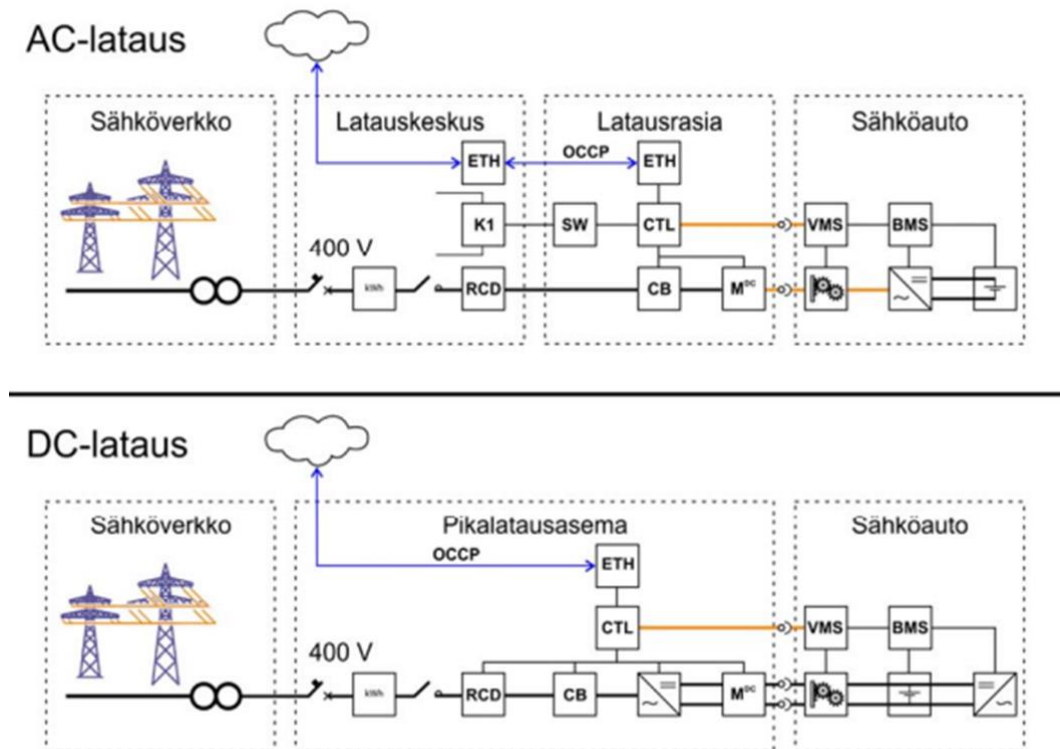
Kuten taulukoiden 3 ja 4 luvuista nähdään, etenkin latausvalmiudet on huomioitava uudisrakentamisessa ja laajasti korjattavissa muissa kuin asuinrakennuksissa jo suurella osalla pysäköintipaikoista sekä uusissa ja laajasti korjattavissa asuinrakennuksissa jo kaikilla paikoilla. Kuten aiemmin todettua, sähköautojen pääasiallinen latauspaikka on kodeissa sekä pienemmässä määrin myös työpaikoilla. Esimerkiksi taloyhtiöiden roolia liikenteen sähköistymisessä ja kotilatauksen mahdollistamisessa on pidetty kriittisenä. [17, s. 36–37] Tämä asettaa aiemmin todetun sähköautokannan kasvun lisäksi myös lainsäädännöllisiä velvoitteita latausvalmiuksien ja -pisteiden määrälle.

2.4 Kiinteistön latausjärjestelmä ja latausasemat

Kiinteistön latausjärjestelmä sisältää latauslaitteiden lisäksi muut latausjärjestelmään liittyvät osat, kuten latauskeskukset ja suojakomponentit sekä suuremmissa järjestelmissä myös taustalla olevat ohjausjärjestelmät. Taustalla olevien ohjausjärjestelmien sisällyttäminen riippuu siitä, onko latauksen ohjaus älykästä. [12, 14] Yksinkertaisimmat latausjärjestelmät, kuten tavalliseen kotitalousrasiaan liitetty tilapäislataukseen tarkoitettu lataustavan 2 mukainen tarpeelliset suojalaitteet sisältävä liitäntäjohto eivät sisälly työhön [14, s. 38].

Suuremmissa latausjärjestelmissä tyypillisesti tarvittavat erilaiset ohjausjärjestelmät vaativat tietoliikenneyhteyden, joka voidaan toteuttaa joko langattomasti, erillisellä datakaapeloinnilla tai datasähköyhteydellä, jossa data kulkee sähköverkon kaapeleissa [14, 26]. Tällöin puhutaan niin sanotusta älykkäästä latauksesta (engl. smart charging) [25].

Latausjärjestelmä voi sisältää sekä joko AC- tai DC-latauslaitteita, AC- tai DC-latausvalmiuksia tai näitä kaikkia sekaisin. Alla kuvassa 2 on esitetty sekä AC- että DC-latausjärjestelmän rakenne SLD-kaaviona (Single Line Diagram).



Kuva 2: AC- ja DC-latausjärjestelmien toimintaperiaate SLD-kaaviona. Muokattu lähteestä [12, s. 19]

Kuvasta 2 huomataan ero AC- ja DC-latausjärjestelmien välillä. AC-latauksessa muunnos vaihtovirrasta tasavirtaan tapahtuu autossa olevassa sisäänrakennetussa latauslaitteessa, kun se DC-latauksessa tapahtuu jo pikalatausaseman puolella. AC-latauksessa tyypillisesti johdonsuojatkaisijat (CB, engl. Circuit Breaker) ja vikavirtasuojat (RCD, engl. Residual Current Device) sijoitetaan keskitetysti erilliseen latauskeskukseen tai ne voivat olla sijoitettuna myös latauslaitteeseen. Latausjärjestelmän tiedonsiirto voi tapahtua keskitetysti latauskeskuksen kautta tai jokaisesta laitteesta ethernet-lähiverkkoyhteyden (ETH) avulla ja kommunikoi latausoperaattorin taustajärjestelmän kanssa. Ajo-neuvon ajoakuston hallintajärjestelmä VMS (engl. Vehicle Management System) ohjaa latausportin sähkömekaanista lukitusta ja estää ajamisen latauspistoliittimen ollessa kytkettynä. Akustoa ohjaava BMS (engl. Battery Management System) hallitsee lataustahtumaa. Latausrasian suurin syöttämä teho määritellään latausrasiassa (M^{DC}, engl. Maximum Demand Control). Latauskeskuksen kontaktorilla K1 ja latausrasian ohjaukkytkimellä SW (engl. Switch) voidaan ohjata latausta esimerkiksi muiden kuormien mukaan. [12, s. 19]

DC-latauksessa muunnos vaihtovirrasta tasavirraksi tapahtuu jo pikalatausaseman puolella, jolloin ajoneuvon akustoon syötetään suoraan tasavirtaa ajoneuvon oman latauslaitteen ohi. Energiamittari kWh voi sijaita joko latauskeskuksessa tai pikalatausasemassa. [12, s. 19] DC-latauksessa syötetään sähköverkon puolelta vaihtosähköä ajoneuvon ulkopuolella olevaan pikalatausasemaan, jossa se muutetaan tasasähköksi. Syötettävän tasasähkön jännite on tyypillisesti jopa 600 V ja latausvirta jopa 400 A. Tällöin lataustehot ovat moninkertaisia AC-lataukseen verrattuna, eivätkä auton AC-latauslaitteen ominaisuudet rajoita lataustehon suuruutta. Latausajat ovat nopeimmillaan alle puoli tuntia, kun ne AC-latauksessa tyypillisesti ovat jopa 8–16 tuntia. DC-latauslaitteissa tietoliikenneyhteys auton kanssa ennen latauksen aloitusta varmistaa, että lataus voidaan aloittaa turvallisesti. [28, s. 272–273]

Kohteesta ja latausjärjestelmän koosta riippumatta, latausasemien syöttö on järkevintä ja turvallisinta toteuttaa erillisestä jakokeskuksesta, jota syötetään varokkeen ja energiamittarin sisältävästä liityntäpisteestä. Pienissä järjestelmissä on usein mahdollista kuitenkin syöttää latausasemia jo olemassa olevista keskuksista. [11, s. 19] Standardin SFS 6000-5-51 mukaan ”*Suojalaitteet on sijoitettava ja merkittävä siten, että suojattavat piirit voidaan helposti tunnistaa. Tämän takia on tarkoituksenmukaista sijoittaa suojalaitteet jakokeskuksiin.*” [29, s. 9]. Etenkin jos laitteita ja valmiuksia alkaa olemaan kymmeniä, on olemassa olevista keskuksista haastava löytää lisätilaa [27].

Latausasemien suojaus on toteutettava latauspistekohtaisesti sulakkeiden tai johdon-suojakatkaisijoiden lisäksi vikavirtasuojauksella. B-tyypin vikavirtasuojan lisäksi sallitaan A-tyypin vikavirtasuoja, jos käytetään laitteita, joilla varmistetaan poiskytkentä yli 6 mA:n tasasähkövirralla. Tasasähkövirran tunnistus ja poiskytkentä on osassa latauslaitteista sisäänrakennettuna. [30, s. 8–13] Mikäli käytettävä latausjärjestelmä ei ole tiedossa, on latauskeskus varustettava vähintään tilavarauksilla vikavirtasuojille. Lisäksi latauskeskuksessa on hyvä olla erillinen tilavaraus mittausta varten. [4, s. 5].

Jos latausjärjestelmässä ei tarvita latauskaapelointien lisäksi muuta kaapelointia esimerkiksi ohjausjärjestelmiä varten, on kaapelointi yksinkertaista. [4, s. 6] Suositelluin tapa toteuttaa latauslaitteiden tai -valmiuksien kaapelointi on kaapeloida jokainen laite omalla kaapelilla eli niin sanottu säteittäinen kolmivaiheinen kaapelointi [14, s. 69]. Tämä mahdollistaa suojakomponenttien sijoittamisen keskitetysti yhteen tai maksimissaan muutamaamaan latauskeskukseen. Haittapuolena tähtikaapeloinnissa on kaapelipituuksien kasvu, kun jokaiselle laite on kaapeloitava omalla kaapelillaan. Kaapelipituuksien ja määrien kasvu voi myös vaikeuttaa suunnittelua, kun kaapelihyllyjen kantavuudet ja esimerkiksi maa-asennus- tai JAPP-putkien halkaisijat voivat tulla vastaan. [27]

Esimerkiksi lämmitysrasioille tyypillinen ketjutus on haastavaa, koska useimmissa latausasemissa ei ole ketjutukseen soveltuvia liittimiä tai useampia läpivientejä ketjutettavaa kaapelointia varten. Joissain tilanteissa ketjutus voi kuitenkin olla mahdollista ja tällöin on varmistettava, että runkojohto on suojattu oikosululta ja ylikuormitukselta luotettavasti, mikä vaatii yleensä sen, että latausasema sisältää tarvittavat suojalaitteet. Tällöin latausteho voi kuitenkin jäädä hyvin rajalliseksi. [14, s. 6]

Vaihtoehtoinen tapa kaapelointiin on käyttää erilaisia virtakisko- tai lattakaapelijakeluja, joissa syöttö tuodaan jakokeskuksesta joko lattakaapelin tai virtakiskon tapaisia ratkaisuja käyttäen. Tämän kaltaiset ratkaisut sopivat erityisen hyvin esimerkiksi suuriin pysäköintihalleihin sekä autokatoksiin ja -talleihin ja antavat paljon mahdollisuuksia latausjärjestelmän muunneltavuuteen. [14, 26] Kuvassa 3 on esitetty esimerkkikuva Wagon lattakaapelijärjestelmästä.



Kuva 3: Lattakaapelijärjestelmä, jossa lattakaapeliin liitetystä haaroitusrasiasta on otettu kaksi syöttöä kahdelle latausasemalle. Kuva lähteestä [31]

Kuten kuvasta 3 nähdään, lattakaapeli toimii runkojohtona, josta voidaan haaroitusrasioiden avulla ottaa syöttöjä latauslaitteille. Verrattuna perinteiseen tähtikaapelointiin, kaapelointimatkat vähenevät, koska runkojohtoon liityttäessä latausasemien vaatima kaapelointi on lattakaapelin tapauksessa tyypillisesti maksimissaan vain joitakin metrejä. Lisäksi tilantarve on tähtikaapelointia pienempi eikä esimerkiksi kaapelihyllyjä tai -tikkaita tarvita. Tarvittaessa lattakaapeli on kuitenkin mahdollista asentaa kaapelihyllylle. [27, 31]

Kaapelointitapa on valittava tapauskohtaisesti. Taulukkoon 5 on koottu yhteenvetona yleisimpien kaapelointitapojen etuja ja haittoja.

Taulukko 5: Yleisimmät latauskaapelointitavat ja niiden vertailu [14, 27, 31].

Kaapelointitapa	Suurin kuormitus yleisesti	Edut	Haitat
Tähtikaapelointi	Satoja ampeereja	Hyvin joustava ratkaisu kaikenlaisiin ympäristöihin, edullinen	Ei skaalaetua, kallista latauspisteiden ollessa kaukana latauskeskuksesta, muunneltavuus
Ketjutus	Kymmeniä ampeereja	Halpa esim. lämmitystolppien hyödyntämisessä	Soveltuvuus käytännössä, latauspistekohtaisen suojauksen toteuttaminen
Lattakaapelointi	3x63 A	Muunneltavuus, asennusteknisesti joustava, skaalaetu tiettyyn pisteeseen asti	Vain 16 mm ² kaapelit rajoittavat kuormitettavuutta, ei sovi latauslaitteiden ollessa kaukana toisistaan
Virtakiskot	Satoja ampeereja	Mahdollistaa suuremmat virrat lattakaapeliin verrattuna	Kallis, soveltuu käytännössä vain suuriin kohteisiin, kuten pysäköintihalleihin

Kuten taulukosta 5 huomataan, eri kaapelointitavoilla on omat vahvuutensa ja heikkoukset. Lattakaapelointi ja virtakiskot ovat samankaltaisia toteutusvaihtoehtoja, mutta virtakiskot mahdollistavat suuremmat virrat, mikä voi joissain kohteissa, kuten suurissa parkkihalleissa, olla eduksi. Lattakaapeli taas on joustavuutensa vuoksi erittäin muunneltava ja taivuteltavissa esimerkiksi erilaisten palkkien tai kulmien yli. [27]

Yleisesti latausasemiksi määritellään erilaiset latauspisteet, joissa voi olla yksi tai useampi lataustavan 3 mukainen AC-latauslaite tai lataustavan 4 mukainen DC-latauslaite tai edellä mainittujen yhdistelmä. Latausasema voi olla joko seinään asennettava latausrasia (wall box) tai maahan asennettava latauspylväs, jossa latausrasia on asennettu perustuksilla tuettuun latauspylvääseen. Latausrasiassa voi olla joko yksi tai kaksi latauspistorasiaa tai kiinteää latauskaapelia. [14, s. 44–47] Kiinteästi asennettu lataustavan 3 mukainen latausasema on suositeltavin ja helppokäyttöisin ratkaisu sähköauton lataamiseen [20, s. 5].

Latausaseman suurin mahdollinen latausteho on useimmiten rajoitettavissa asennuksen yhteydessä DIP-kytkimen avulla. Täyssähköautot pystyvät tyypillisesti lataamaan kolmesta vaiheesta, joten parhaiten täyssähköautoille sopiva latauslaite on minimissään 3x16 A eli 11 kW. [12, s. 10–11]

Kuten edellä todettiin, erityisesti suuremmissa latausjärjestelmissä on tarvetta erilaisille taustajärjestelmille, kuten lataussähkön laskutukselle tai kuormituksen valvonnalle. Taustajärjestelmien tekniikka perustuu pääasiassa OCPP-protokollaan (engl. Open Charge Point Protocol), joka mahdollistaa tiedonsiirron sähköauton, latausaseman sekä taustajärjestelmän kanssa riippumatta siitä, minkä valmistajan laitteita on käytössä. Taustajärjestelmät voivat olla joko paikallisia tai pilvipohjaisia. [14, s. 51–52] OCPP-yhteensopivuus mahdollistaa monet tärkeät ominaisuudet, kuten käyttäjähallinnan sekä lataussähkön automaattisen laskutuksen. Esimerkiksi taloyhtiöpuolella mahdollinen OCPP-protokollan mukaisesti toimiva älykäs latausjärjestelmä on yksi tärkeimpiä valintoja suunnitteluvaiheessa [14, s. 51]. Latauslaitteiden valinta on tärkeää myös siitä syystä, että eri latauslaitteiden valmistajien tai palveluntarjoajien taustajärjestelmät, kuten kuormanhallinta, eivät yleensä ole keskenään yhteensopivia [4, s. 20].

Useissa tapauksissa on tarve saada yksittäinen lataustapahtuma yksilöityä ja laskutettua kulutettu sähköenergia käyttäjiltä. Tällöin latausasemissa tulee olla laitekohtaiset ja riippuen laskutustavasta MID-sertifioidut energiamittarit, joiden avulla voidaan kulutustietoa käyttää suoraan lataussähkön laskuttamiseen [4, 11]. Energiamittareiden luenta voi tapahtua lukemalla latauslaitteen energiamittarista ladatun sähköenergian määrä tai erillisillä pilvipalveluilla, joissa ladatun sähköenergian määrä voidaan lukea suoraan palveluntarjoajan palvelusta. Myös laskutus voi tapahtua manuaalisesti tai täysin automaattisesti eri palveluntarjoajien järjestelmillä. [12, s. 14–15]

Latauslaitteet voidaan asentaa pääasiassa joko seinään tai erilliseen perustuksen päälle asennettavaan asennusjalkaan. Osa laitteista voidaan myös asentaa lämmitystolpissa käytettävään 60 mm teräsputkeen. Tällöin tulee kuitenkin varmistua siitä, että tolpan perustus on riittävän vahva, jotta latauspisteen ja -kaapelin paino ei kallista latauspistettä ja pääse taivuttamaan syöttökaapelia. [14, s. 43–45] Latauslaitteiden valinnassa on huomioitava myös koteloitiluokitus: sisätiloissa latauslaitteen koteloitiluokka on oltava vähintään IP41 ja ulkotiloissa vähintään IP44. Laitteiden on myös oltava mitoitettu tai suojattava keskimääräistä iskua (AG2) vastaan. [32, s. 142–143]

Käyttäjien tunnistaminen lataustapahtumien yksilöimiseksi tai käyttäjäkunnan rajaamiseksi voidaan toteuttaa joko RFID-tunnisteella, mobiilisovelluksella tai PIN-koodilla. [14, s. 52] Lisäksi laitteessa on tyypillisesti lataustapahtumaa kuvaava merkkivalo sekä joissakin malleissa myös LCD- tai kosketusnäyttö, josta on mahdollista tarkastella esimerkiksi lataustapahtuman kestoa ja siirrettyä energiamäärää. [12, s. 9]

2.5 Älykäs lataus ja kuormanhallinta

Älykäs lataus (engl. smart charging) tarkoittaa järjestelmää, jossa sähköauto ja latauslaite ovat tietoliikenneyhteydessä keskenään ja latauslaite on vielä yhteydessä latausoperaattoriin. Älykäs lataus on määritelty lainsäädännössä (478/2017) seuraavasti:

"Älykkäällä latauksella tarkoitetaan latausjärjestelmää, joka sisältää tietoliikenneyhteyden ajoneuvon ja latauslaitteen välillä sekä tietoliikenneyhteyden latauslaitteen ja latauspalveluntuottajan välillä mahdollistaen lataustapahtuman reaaliaikaisen mittauksen ja ohjauksen sekä lataustehon porrastetun säädön ylöspäin ja alaspäin ilman, että lataus keskeytyy"

Lain vaatimus koskee julkisia latauspisteitä, joissa tulee mahdollisuuksien mukaan käyttää älykkäitä latausjärjestelmiä. [25] Tietoliikenneyhteys siis mahdollistaa kommunikoinnin ulkoisen palveluntarjoajan eli latausoperaattorin taustajärjestelmän kanssa. Pilvipohjaiset taustajärjestelmät mahdollistavat lataustapahtumien ohjauksen erilaisten signaalien, kuten sääriippuvaisten energiantuotantomuotojen, paikallisen jakeluverkon kuormituksen tai samassa rakennuksessa olevien muiden latauksessa olevien sähköautojen yhteiskuormituksen perusteella. [33]

Aiemmin todetun OCPP-protokollan kehittäjinä ovat olleet globaaliin OCA (engl. Open Charge Alliance) -konsortioon kuuluvat alan johtavat julkiset ja yksityiset latausinfra-alan toimijat, kuten latausoperaattorit sekä latauslaite- ja autovalmistajat. OCA on myös valmistellut OSCP 2.0 (engl. Open Smart Charging Protocol) -protokollan, joka keskittyy mahdollistamaan älykkään latauksen laajemmin esimerkiksi huomioimalla jakeluverkko-yhtiön kapasiteetin ja paikallisen sähköntuotannon määrän. [34]

Älykäs latausjärjestelmä mahdollistaa esimerkiksi dynaamisen kuormanhallinnan, automaattisen laskutusjärjestelmän sekä kysyntäjoustop toteuttamisen ohjaamalla kulutusta esimerkiksi hinnoittelun avulla korkean kulutuksen ajanjaksolta matalamman kulutuksen ajankohdille. Erilaisten taustajärjestelmien avulla on myös mahdollista jakaa käyttöoikeuksia lataamiseen ennalta määritellylle käyttäjäjoukolle, jolloin taustajärjestelmään yhdistetään laitteiden lisäksi käyttäjätiedot. Tulevaisuudessa mahdollista on myös niin sanottu Plug and Charge eli PnC, jossa ajoneuvon tai käyttäjän tunnistaminen tapahtuu suoran ajoneuvon yksilöintitietojen pohjalta. Siinä tiedonsiirto tapahtuu ISO 15118-standardin mukaisen kommunikointiprotokollan avulla latauskaapelin välityksellä ja tekniikka mahdollistaa latauksen aloittamisen suoraan kytkemällä latauskaapeli. [11, 35]

Kuormanhallinta tarkoittaa yleisesti sähköverkon kokonaiskuorman säätelyä, jossa sähkön kysyntä pidetään tasapainossa saatavissa oleva tarjonnan kanssa. Yksi nykyisin maailmalla käytössä ja tulevaisuudessa yleistävä keino tähän on kysyntäjousto (engl.

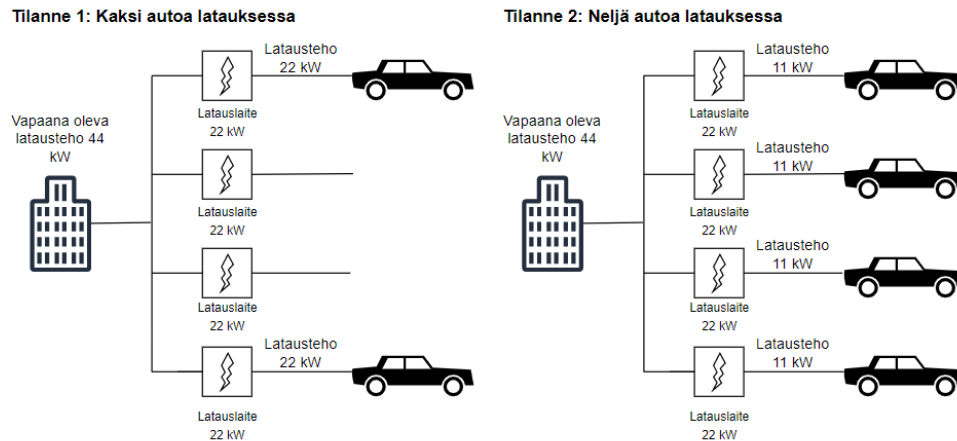
DR, Demand Response), jossa esimerkiksi kuluttajat siirtävät sähkönkulutustaan huipukulutustunneilta matalamman kulutuksen ajanjaksoille. Tähän voidaan kannustaa joko tukien tai hinnoittelun avulla. [36, s. 543–550]

Kuormanhallinta sähköautojen latauksessa tarkoittaa järjestelmää, jolla rajoitetaan latausjärjestelmän lataustehoa rajoittamalla sähköautojen ottamaa latausvirtaa [4, s. 3]. Kuormanhallinnan avulla latausjärjestelmään kuuluva sähköjärjestelmän voidaan mitoittaa tasoituskerrointa 1 pienemmäksi esimerkiksi sähköliittymän, runkojohtojen ja sähkökeskusten osalta [26, s. 13]. Kuormanhallinta perustuu latausasemien muuntamien ohjaussignaalien muokkaamiseen eli latausjärjestelmä säätty sen mukaan, miten paljon latausasema ilmoittaa ohjaussignaalilla ajoneuvolle virtaa olevan käytössä [14, s. 53]. Tulevaisuudessa latausjärjestelmien integrointi muun muassa jakeluverkkoyhtiöiden tai muiden sähkömarkkinatoimijoiden ohjausjärjestelmiin voi olla tarpeellista, jotta tarpeen vaatiessa voidaan myös vaikuttaa jakeluverkon tehonsäätöön [14, s. 53].

Kuormanhallinnalle ei ole olemassa omaa standardia, vaan runkojohdon tai muun edeltävän verkon ylikuormituksen estämiseen on olemassa monia erilaisia toteutustapoja: virtareleet ja -mittaukset tai ohjelmalliset menetelmät, jotka hyödyntävät pilvipalveluja. [30, s. 8] Täten toteutustapoja voivat olla pienemmässä päässä esimerkiksi yksittäisten laitteiden osalta parametrisoitavat energiamittarit ja digitaaliset ajastimet, joilla katkaistaan latauslaitteiden syöttö kuorman kasvaessa tietyn rajan yli tai asetetaan suoraan latauspisteiden sähkönsyöttö päälle vain yön tunneille [12, s. 15].

Dynaaminen kuormanhallinta (DLM, engl. Dynamic Load Management) mahdollistaa portaattoman lataustehon säädön. Se voi toimia esimerkiksi erillisten ohjausten, virtamittareiden tai ohjelmallisten pilvipalvelujen avulla. Ohjelmallisissa ratkaisuissa järjestelmä perustuu siihen, että latausasemissa on oma virtamittaus ja latausasemat kommunikoivat toistensa sekä erillisen pilvipalvelun kanssa. [26, s. 8]

Kuvassa 4 on esitetty teoreettinen tilanne, jossa neljä autoa on latauksessa yhtä aikaa. Kiinteistöllä on neljä AC-latauslaitetta ja jokaisen laitteen suurin mahdollinen latausteho on 22 kW (3x32 A). Esimerkkitalanteessa myös kunkin auton suurin mahdollinen AC-latausteho on 22 kW (3x32 A). Tilanteessa syöttävässä jakokeskuksessa on tehoa käytettävissä kuitenkin vain 44 kW (noin 3x64 A). Mikäli kuormanhallintaa ei olisi käytössä, pitäisi jokaiselle paikalle asettaa kiinteä tehorajoitus 11 kW:n maksimiteholle. Dynaamisella kuormanhallinnalla tasoituskerrointa voidaan kuitenkin pienentää, jolloin yksittäisen latauspisteen syöttämä latausteho voi vaihdella 11 kW:n ja 22 kW:n välillä riippuen siitä, kuinka monta autoa on kerrallaan latauksessa



Kuva 4: Dynaamisen kuormanhallinnan toimintaperiaate kuvattuna kahdessa eri tilanteessa, kun käytettävissä on 44 kW neljälle 22 kW:n latauslaitteelle.

Kuten kuvasta 4 havaitaan, dynaaminen kuormanhallinta mahdollistaa lataustehon säädön kiinteistöllä olevan latauskuorman perusteella. Tyypillisesti dynaaminen kuormanhallinta voi etenkin suuremmissa latausjärjestelmissä tuoda merkittäviä kustannussäästöjä sähköjärjestelmän mitoituksen osalta [4, s. 9].

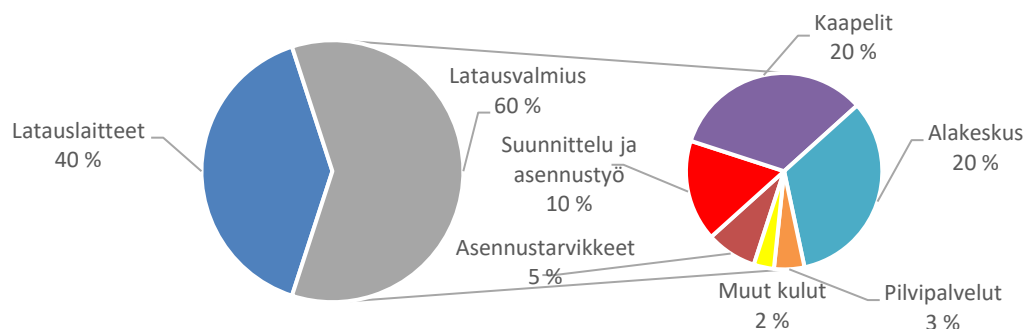
Älykkäissä latausjärjestelmissä on lukemattomia eri vaihtoehtoja ja toteutustapoja erilaisille kiinteistöille. Kaupallisten palveluntarjoajien järjestelmien avulla on mahdollista toteuttaa esimerkiksi moniportaisia kuormanhallintakokonaisuuksia, joissa voidaan jakaa tehoa myös useiden eri alakeskusten välillä ja tarvittaessa huomioida myös kiinteistön muu kuorma, kuten valaistus ja lämmitys, tai kiinteistön oma aurinkoenergian tuotanto [37]. Pilvipohjaiset palvelut toimivat OCPP-protokollan mukaisesti pienjännitekeskuksen paikalliselle OCPP-palvelimelle tai latausoperaattorin OCPP-palvelimelle [12, s. 16–17].

V2G-tekniikka (engl. Vehicle to Grid) tarkoittaa vuorovaikutusta sähköauton ja sähköverkon välillä. Vuorovaikutus voi kaksisuuntaisen kommunikoinnin lisäksi sisältää latausta sekä purkamista eli sähkönsyöttöä ajoneuvosta sähköverkon suuntaan. [35, s. 17] Sitä on kaavailtu tulevaisuudessa osaksi sähköverkon kulutuksen tasapainottamista. Siinä sähköautoja ladattaisiin matalan kulutuksen ajanjaksoina, kuten yöllä, ja vastaavasti korkean kulutuksen ja korkean sähkönhinnan aikana autojen akustoista syötettäisiin energiaa takaisin sähköverkon suuntaan. Erityisesti sähköautojen akustojen integrointia on ennustettu tulevaisuudessa käytettävien sääriippuvaisten uusiutuvien energianlähteiden, kuten tuuli- ja aurinkoenergian, varastointiin erityisesti korkean tuotannon ja matalan kulutuksen aikana. [28, s. 274–276] Sähkön syöttämisestä autosta sähköliittymän ulkopuolelle jakeluverkkoon on sovittava paikallisen jakeluverkkoyhtiön kanssa [20, s. 4].

2.6 Latausjärjestelmän kustannukset ja projektien laadun arviointi

Latausjärjestelmän kustannuksia muodostavat mahdollisten latauslaitteiden lisäksi erilaiset asennustarvikkeet, kuten jakokeskukset komponentteineen, kaapelit, kaapelihyllyt, kiinnikkeet ja muut sähkötarvikkeet. Jos kohde on parkkihallin sijasta esimerkiksi avonainen piha-alue, tarvitaan usein maa- ja asfaltointitöitä, putkituksia ja erillisiä maa-asennustarvikkeita, kuten lataustolppia perustoineen. Suuremmissa kohteissa on usein myös tarve erilaisille palveluille, kuten dynaamiselle kuormanhallinnalle ja automaattiselle lataussähkön laskutukselle, joista yleensä latausjärjestelmäoperaattori laskuttaa kuukausihintaa. [12,27] Karkeasti esimerkiksi taloyhtiöpuolella yhden latauspisteen toteuttaminen vaihtelee 2000–4000 € välillä riippuen suuresti kohteesta [12, s. 50]. Yksikkökustannukset tyypillisesti laskevat myös latausjärjestelmän koon kasvaessa [27].

Latausjärjestelmien kustannuksissa on eroa siinä, onko kyseessä niin sanottu älykäs latausjärjestelmä taustajärjestelmineen vai yksinkertaisempi, pääasiassa yksittäisistä laiteasennuksista koostuva projekti [12, s. 3]. Kuvassa 5 on esitetty esimerkkinä erään keskiuuren 16 latauslaitetta sisältävän latausjärjestelmän kustannusjakauma.



Kuva 5: Esimerkki kustannusjakaumasta 16 latauspisteen sisältämästä latausjärjestelmästä. Tiedot lähteestä [12, s. 3]

Kuvasta 5 nähdään, että latausjärjestelmän kustannuksista 60 % syntyy muista kuin itse latauslaitteista, joiden osuus on 40 %. Osuus vaihtelee merkittävästi kohteittain ja siitä, että millaista järjestelmää ollaan rakentamassa. Esimerkiksi taloyhtiöille on tyypillistä, että latausjärjestelmä sisältää sekä latauspisteitä, että latausvalmiuksia, koska taloyhtiöt eivät tyypillisesti hanki laitteita omistukseensa [27]. Suunnitteluun panostamisella ja projektin ylimääräisillä kustannuksilla on havaittu olevan selkeä yhteys. Toisin sanoen panostamalla suunnittelutyöhön tietyn määrän resursseja, voidaan sillä edistää budjetissa pysymistä. [38]

Voittoa tavoittelematon yhdysvaltalainen projektinhallinnan ammattijärjestö PMI (Project Management Institute) määrittelee projektin tilapäiseksi pyrkimykseksi toteuttaa ainutlaatuinen tuote, palvelu tai lopputulos. Projektin lopputulos on aina ainutlaatuinen ja projektille on tyypillistä myös niin sanottu deadline eli tavoiteaika valmistumiselle ja tietty budjetti, joka rajoittaa projektin toteuttamiseen hankittavien resurssien, kuten rahan, henkilöstön ja tarvikkeiden, määrää. [39]

Tarve projektille tulee usein joko yrityksen sisältä tai ulkoa. Ajavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi latausjärjestelmän toteutusprojektien osalta aiemmin esitetyn taustatiedon perusteella:

- Markkinalähtöinen kysyntä tuotannon kasvattamiseksi
- Erityinen tarve tai pyyntö avainasiakkaalta
- Hallituksen lakisääteinen vaatimus

Projektien vaiheiden määrittely voi eri organisaatioissa ja projekteissa vaihdella esimerkiksi projektien koon mukaan. Tyypillisesti projektit sisältävät kuitenkin neljä niin sanottua klassista vaihetta eli määrittely-, suunnittelu-, toteutus- ja lopetusvaiheet, jotka on esitetty kuvassa 6. [39]



Kuva 6: Projektin neljä klassista vaihetta. Kuva muokattu lähteestä [39]

Kuvan 6 mukaisella jaottelulla on siis mahdollista jakaa mikä tahansa projekti osiin. Määrittelyvaihe sisältää tavoitteiden määrittämisen, budjetin laadinnan sekä alustavat tavoitteet aikataulutukselle. Suunnitteluvaiheessa projektin toteutus jaetaan pienempiin osiin, jotta jokainen pienempi työsuoritus voidaan osoittaa oikeille henkilöille ja aikatauluttaa, jotta useampia pienempiä työvaiheita voidaan tehdä rinnakkain mahdollisimman tehokkaan kokonaistoteutuksen mahdollistamiseksi. Suunnitteluvaiheessa myös riskiarviointi ja muiden toteutusresurssien jakaminen ovat olennaisia tehtäviä. Toteutusvaihe sisältää varsinaisen toteutuksen lisäksi muun muassa työn seuraamista ja valvomista sekä riskinhallintaa. Lopetusvaiheessa kerrataan projektista opitut asiat. [39]

Rakennusprojekteissa asiakkaille tärkeimmät parametrit ovat hinta, aika ja laatu. Valtaosassa projekteista tärkeimmät parametrit ovat kuitenkin hinta ja aika, eikä laatuun tyypillisesti olla kiinnitetty tarpeeksi huomiota. Rakennusprojektien kilpailutuksessa tarjous-

kilpailun voittaja valitaan edelleen pääasiassa alhaisimman hinnan sekä joissakin tapauksissa myös toimitusajan perusteella. [40, s. 235–236] Tämä johtuu osittain siitä, että laatu on monimääritteinen ja sillä on monta eri ulottuvuutta [41, s. 7].

Laatu voidaan kuvata esimerkiksi hyödykkeen sopivuutena käyttötarkoitukseensa (Jurran), toiminnan ja tuotteiden virheettömyytenä (Crosby), kykyinä täyttää asetetut odotukset (Shewhart), vaatimusten ja normien mukaisuutena (Crosby), laatuvirheiden minimoitina (Crosby) tai oikein tehtynä ensimmäisellä kerralla (Crosby). Suomessa laatu-toimintaa on teollisuuden ja yritystoiminnan parissa ohjannut vahvasti ISO 9000-standardit. [41, s. 7–8]

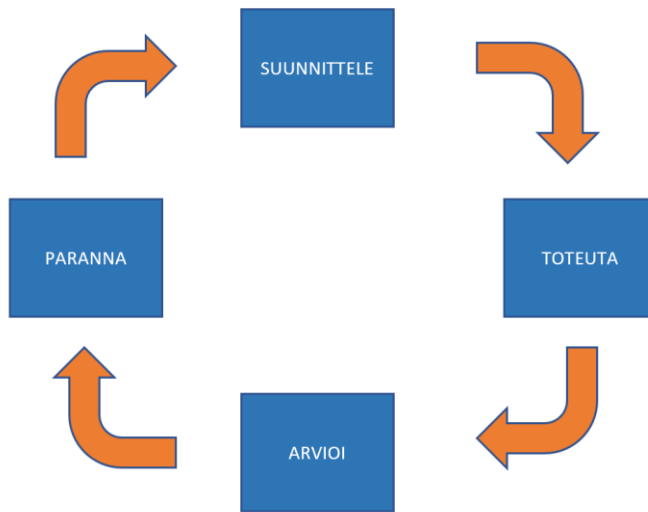
Erityisesti rakentamisen laatuun on olemassa useita erilaisia laatumittareita hyödyntäviä laadunmittausjärjestelmiä, jotka on kehitetty 1980- ja 1990-luvun Singaporen ja Hong Kongin rakennusboomien seurauksena. Esimerkkejä näistä ovat CONQUAS (engl. Construction Quality Assessment System) Singaporessa ja PASS (the Performance Assessment Scoring System) Hong Kongissa. Näissä molemmissa projektit jaetaan edelleen eri kategorioihin ja edelleen alakategorioihin ja näissä käytetään projektihenkilöstön lisäksi ulkopuolisia tarkastajia. [42, s. 56–57]

Latausjärjestelmien toteutusprojektit ovat kuitenkin pääosin selvästi esimerkiksi uudisrakentamiskohteita pienempiä, jolloin vastaavien laajojen laadunmittausjärjestelmien suora soveltaminen on haastavaa. Laatua on kuitenkin mahdollista mitata myös eri tasoilla, kuten työmaa- tai yritystasolla [43]. Esimerkiksi Rakennusteollisuuden Laatu-polkuhankkeessa laatumittareina ovat muun muassa työmaan ulkoinen siisteys, valmiin työn laatu sekä aikataulutilanne portaittain [43]. Toisaalta mittarina voidaan käyttää takuutöiden määrää, muutostöiden määrää per projekti, asiakasreklamaatioiden määrää sekä toimitusaikaa [44, s. 31]. Myös lopputuotteen visuaalinen laatu tai palaute- ja asiakastytyväisyysmittaukset voivat olla keino mitata rakentamisen laatua [41, s. 11].

Laatumittareiden käytön on lähdeävä aina yrityksen omasta tarpeesta. Motiivina laadun kehittämiseksi tyypillisesti taloudellinen hyöty kannattavuuden parantumisena sekä asiakastytyväisyytenä. Mittareiden käyttäminen edellyttää henkilökunnan koulutusta ja motivointia oman toiminnan mittaamiseen. Mittareiden soveltuvuutta on myös jatkuvasti seurattava ja mittausmenetelmiä kehitettävä. Seuranta on tehtävä jatkuvasti, jotta varmistetaan mittareiden sopivuudesta ja käyttökelpoisuudesta. [44, s. 30–31]

Yrityksen johdon tehtävä on keskeinen laadun tekemisessä ja parantamisessa. Johtamisen lisäksi tarvitaan laatu-tekniikka ja -työkaluja, joiden avulla organisaatioiden jäsenet voivat varmistaa työnsä laadukkuuden. [43, s. 8] Yksi keino tähän on Demingin PDCA-

malli (engl. Plan, Do, Check, Act), johon on koottu projektin tyypilliset vaiheet kehäoppimisen kannalta. [39] PDCA-malli on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7: PDCA-malli suomennettuna. Muokattu lähteestä [42, s. 8]

Kuten kuvasta 7 nähdään, malli koostuu suunnittelu-, toteutus-, arviointi- ja parannusvaiheesta. Malli perustuu jatkuvaan parantamiseen. Jatkuva parantaminen perustuu ajatukseen, että jokainen on oman työnsä paras asiantuntija ja siten myös paras kehittäjä. Jatkuvan parantamisen kulttuurin juurruttaminen yritykseen on haastavaa, mutta työntekijöiden osallistuminen on avainasia jatkuvan parantamisen päämäärään pääsemisessä. [42, s. 8]

3. SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU- JA TOTEUTUSPROSESSI

Tässä luvussa käydään läpi sähköautojen latausjärjestelmän toteutusprojektin vaiheet ja selvitetään, mitä sen aikana on otettava huomioon ja keitä sidosryhmiä projekteissa on tyypillisesti mukana. Luvussa painotetaan etenkin suunnittelua ja mitoitusta.

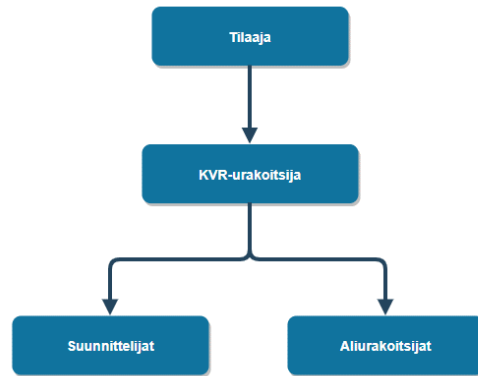
3.1 Latausjärjestelmän toteutusprosessin vaiheet

Sähköautojen latausjärjestelmän toteutus kattaa kaikki vaiheet kartoitus- ja tarjouspyyntövaiheesta aina rakentamiseen sekä järjestelmän luovutuksesta alkavaan takuu-aikaan asti [11, 12]. Sähkösuunnittelijan rooli latausjärjestelmän suunnittelussa on hyvin oleellinen, sillä aiheesta on vielä vähän suoraan toteutusta ohjaavia standardeja [11, s. 5].

Urakkamuoto tarkoittaa rakennushankkeen sopimuksen ja pääosapuolten organisointitapaa. Urakkamuodon valinta on tilaajan olennainen tehtävä ja se valitaan siten, että se on kohteeseen ja tilaajan tavoitteisiin soveltuva. Tilaajan on myös suositeltavaa urakkamuotoa valitessa määrittää hankkeelle aika-, hinta- ja laatuavoitteet. [45, s. 73]

Työssä käsitellään latausjärjestelmien toteutusprojekteja vain kokonaisvastuurakentamisen eli niin sanottujen KVR-urakoiden näkökulmasta. Kokonaisvastuurakentamisessa (usein myös avaimet käteen -urakka) tilaaja on sopimussuhteessa vain KVR-urakoitsijaan, joka huolehtii koko rakentamishankkeen toteutuksesta aina suunnittelusta toteutukseen. Suunnittelu tehdään tilaajan toimittamien lähtötietojen perusteella ja tilaaja vastaa toimittamistaan lähtötiedoista sopimusehtojen mukaisesti. [45, s. 73–77]

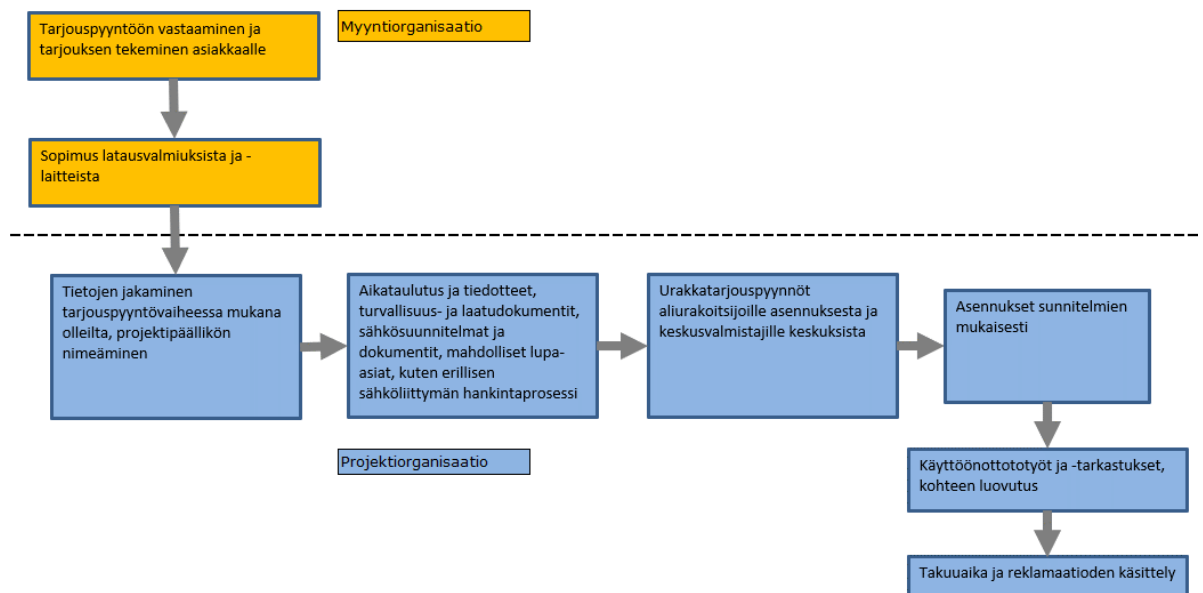
KVR-urakka on käyttökelpoinen etenkin silloin, kun rakennuskohde on toistuvaa ja tavanomaisen tyyppistä rakentamista, jolloin urakoitsija kykenee säästämään suunnitteluratkaisuissa. Erityiskohteista KVR-urakka on käyttökelpoinen etenkin tilanteissa, kun urakoitsijoilla on erityisasiantuntemusta hyväksi havaituista suunnitteluratkaisuista. [45, s. 76–77] Kaavio KVR-urakan urakkasuhteesta on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8: Urakkasuhteet KVR-urakassa. Muokattu lähteestä [45, s. 76]

Kuten kuvasta 8 huomataan, KVR-urakoitsija on suoraan vastuussa tilaajalle. Erilaisten aliurakoitsijoiden käyttö on tyypillistä. KVR-urakoitsija voi suunnitella kohteen itse tai suunnittelu voidaan tilata ulkopuolelta. [45, s. 76–77]

Diplomityön toimeksiantaja Oomi toimii lähes poikkeuksetta KVR-urakoitsijana latausjärjestelmien toteutusprojekteissa. Joissain kohteissa tilaaja saattaa kuitenkin käyttää ulkopuolista konsulttia ja tilata suunnittelun tai toteutusehdotuksen esimerkiksi tarjouspyyntöä varten, mutta usein tämänkin kaltaisissa projekteissa on mahdollista poiketa alkupe-
räisestä suunnitelmasta esimerkiksi erilaisten latauslaitteiden vuoksi. Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaistettu tyypillinen toimitusprosessi Oomilla aina tarjouspyyntövaiheesta luovutukseen ja takuu-aikaan saakka.



Kuva 9: Yksinkertaistettu Oomin latausjärjestelmän toteutusprojektin prosessikuvaus aina tarjouspyyntövaiheesta takuu-aikaan sekä eri vaiheissa mukana olevat organisaatiot.

Kuten kuvasta 9 havaitaan, myyntiorganisaatio on mukana projektin alkuvaiheessa ja toimitussopimuksen allekirjoittamisen jälkeen projekti siirtyy projektiorganisaation vastuulle toteutukseen. Projekteissa on tyypillisesti projektin koosta, kiireellisyydestä ja vaativuudesta riippuen mukana 1–5 henkilöä projektiorganisaatiosta. Suuremmissa tarjouksissa tai haastavissa kohteissa projektiorganisaatio voi olla mukana myös asiantuntijaroolissa tarjouslaskenta- ja tarjouspyyntövaiheessa.

Tarjouslaskenta on kriittinen osa projektia, sillä siinä lasketaan sitova tarjous pyydetyistä urakasta tilaajan antamien lähtötietojen perusteella. Lähtötietojen tarve on usein kriittinen ja vaikuttaa hintaan merkittävästi, koska jokaisessa kohteessa ei ole mahdollista käydä kartoituksella paikan päällä. Mikäli tilaajan antamat lähtötiedot ovat liian suppeat, on tarjouksen laatiminen haastavaa ja riskit on hinnoiteltava mukaan tarjoukseen, mikä nostaa urakan loppuhintaa. Ilman riittäviä lähtötietoja tarjoaja voi myös olla osallistumatta tarjouskilpailuun. Mikäli tilaajalla ei ole riittävästi asiantuntemusta hankittavasta järjestelmästä, on tarjouksen laatiminen tavallista työläämpää. [27, 46]

Kun toimitussopimus on allekirjoitettu, nimetään kohteeseen projektipäällikkö, joka vastaa kohteesta kokonaisuudessaan. Kohteen projektipäällikön vastuulla on urakan organisointi eli aliorakoitsijan kilpailuttaminen, materiaalihankintojen ja -varausten tekeminen, aikataulus ja tiedottaminen tilaajan suuntaan. Tyypillisesti projektipäällikkö myös piirtää tarvittavat dokumentit itse tai vähintäänkin organisoii niiden piirtämisen. Suuremmissa kohteissa voi olla mukana useampia henkilöitä projektiorganisaatiosta, mutta tyypillisin määrä on noin 1–2 henkilöä projektiorganisaatiosta.

Urakoitsijan valinnan jälkeen projektipäällikkö huolehtii urakkasopimuksen tekemisestä valitun urakoitsijan kanssa. Urakkasopimus sisältää tiedot sovitusta urakasta, urakan roolit sekä sovitut käytännöt muun muassa lisätöistä ja muista yleisistä ehdoista.

Toteutusvaiheessa projektipäällikkö käy tarvittaessa paikan päällä esimerkiksi aloituspalaverissa ja suuremmissa kohteissa muutamaan kertaan projektipalaverissa ja luovutustilaisuudessa. Joskus kohteissa ei kuitenkaan ole mahdollista vieraila fyysisesti lainkaan pitkien etäisyyksien vuoksi.

3.2 Latausjärjestelmän suunnittelu ja mitoittaminen

Latausjärjestelmän suunnittelu alkaa aina käyttötarkoituksen selvittämisellä. Tässä vaiheessa olennaisia kysymyksiä ovat:

- Millaista toimintasädetä halutaan tarjota ja millaisessa latausajassa?
- Millaiselle minimitelolle järjestelmä mitoitetetaan tilanteessa, jossa kaikki autot ovat latauksessa samaan aikaan?

- Miten nykyinen sähköjärjestelmä soveltuu sähköajoneuvojen latausjärjestelmän liittämiseen?
- Miten latauspisteet sijoitetaan turvallisesti ja siten, että lataus niissä onnistuu normaalin mittaisella latausjohdolla?
- Miten lataussähkön laskutus lataajilta hoidetaan?

Toinen merkittävä tekijä on määritellä lataustarve tarkasteltavan käyttäjäryhmän kautta. [12,14] Taulukossa 6 on esitetty muutamia esimerkkejä eri kiinteistöjen ja käyttäjien lataustarpeista latauksen ajallisen keston kautta arvioituna.

Taulukko 6: Esimerkkejä eri kohteiden ja käyttäjäryhmien lataustarpeista latauksen keston mukaan luokiteltuna. Muokattu lähteestä [26, s. 6].

Latauksen kesto	Tyypillisiä kohteita	Käyttäjät	Huomioita lataustavan valintaan
Alle 2 h	Huoltoasemat, päivittäistavarakaupat, ostoskeskukset	Kiinteistöillä asioivat ja pidempää matkaa ajavat	Keskeisillä liikennöintipaikoilla tehollataspisteet suositeltuja. Muutoin tehokkaat peruslatauspisteet usein riittäviä.
2–8 h	Työpaikat, liityntäpysäköinti, ostoskeskukset	Kiinteistöjen työntekijät tai asioivat sekä muusta syystä autoa säilyttävät	Peruslatauspisteet suositeltavia, teho mietittävä todennäköisen viipymäajan perusteella.
Yli 8 h	Asuinkiinteistöt, pysäköintilaitokset, hotellit	Asukkaat, pysäköintipaikkojen vuokraajat ja yöpyjät	Lataustehoa olennaisempaa on latauspisteiden määrä.

Kuten taulukosta 6 voi huomata, erilaiset lataustehot sopivat erilaisille kiinteistöille ja erilaisiin käyttötarpeisiin. Tästä voidaan kuitenkin vetää johtopäätös, että pääsääntöisesti yli 22 kW:n teholla tapahtuvaa varsinaista DC- eli tehollatausta tarvitaan vain hyvin lyhyessä asiointissa tai pidempien matkojen pysähdyksillä esimerkiksi huoltoasemilla ja suuremmissa kauppakeskuksissa [26, s. 6].

AC-latauksessa kiinteistötyypillä on suuri vaikutus tarpeelliseen lataustehoon. Esimerkiksi kauppakeskuksissa ja muissa liikekiinteistöissä lataustehon on oltava tarpeeksi suuri, jotta lyhytaikaisenkin asiointin aikana latauspisteiden käyttö on houkuttelevaa. Toisaalta esimerkiksi toimistokiinteistöissä ja asuinrakennuksissa lataustehoa voidaan mitoittaa vähemmän, koska näissä pysäköinti on tyypillisesti huomattavasti pidempikeskempää. [26, s. 6]

Kuten luvussa 2.2 todettiin, AC-latauksessa lataustehoa rajoittava tekijä on auton sisäinen latauslaite, jonka suurin mahdollinen latausteho on täyssähköautoilla tyypillisesti

joko 11 tai 22 kW eli 3x16 A tai 3x32 A. Ladattavilla hybrideillä se on usein joko 3,6 kW eli 1x16 A tai 7,2 kW eli 1x32 A. Tämä hankaloittaa mitoitus, koska toisaalta halutaan taata suurin mahdollinen latausteho, mutta samalla suojata järjestelmä ylikuormitukselta.

Standardin SFS 6000-7-722 mukaan kutakin liitäntäpistettä syöttävän ryhmäjohtoon sekä liitäntäpisteitä syöttävän keskuksen kuormituskertoimen tulee olla 1 ellei käytössä ole kuormanhallintaa, jonka kanssa voidaan käyttää pienempää kuormituskerrointa [30]. Toisaalta mitoitus rajaa myös alin mahdollinen latausvirta, joka kuvaa pienintä mahdollisinta latausvirtaa, jonka auto voi ottaa vastaan ja jonka jälkeen lataus katkeaa. Standardissa SFS-EN IEC 61851-1:2019 annetaan pienimmäksi mahdolliseksi latausvirraksi 6 A. Tämä ei kuitenkaan käytännössä toteudu kaikkien autojen osalta, jolloin suositeltavampaa olisi käyttää mitoituksena vähintään 2 kW latauspistettä kohden. Mikäli kuormanhallintaa ei ole käytössä, suositellaan vaihtosähkölatauksen mitoituksena vähintään 1x16 A eli 3,6 kW latauslaitetta kohden, minkä lisäksi on huomioitava myös lataushäviöiden määrä. [14, 19]

AC-latauksessa lataushäviöiden määrä on kuitenkin selvästi suurempi yksivaiheisessa latauksessa verrattuna kolmivaihelataukseen. Tehdyissä mittauksissa latauksen hyötysuhde on ollut 3x16 A latausteholla 87,2 % ja 1x16 A 80,3 %. Ero on ollut samaa luokkaa myös 10 A latauksessa, kun hyötysuhde on ollut kolmivaiheisena 87 % ja yksivaiheisena 79,6 %. [47, s. 744–747]

Vaikka standardissa on asetettu lataukselle minimivirta, on käytännössä havaittu, että kaikkien autojen lataus ei käynnisty vielä 6 A virralla. Lisäksi kylmissä olosuhteissa ja kovilla -20–30°C pakkasilla on mahdollista, että lataus ei käynnisty edes 8 A virralla. Ulkotiloissa suositellaan käytettäväksi 1x16 A mitoitusvirtaa, jotta jokainen auto latautuu myös kovimpien pakkasten aikaan. Parkkihallien kaltaisissa sisätiloissa, joissa lämpötila on aina yli 0°C, voidaan käyttää 1x8 A mitoitusvirtaa. [14, s. 19]

Sähköajoneuvojen älykkään latausjärjestelmän vaatimaa kokonaistehoa voidaan arvioida kokemusperäisellä laskentamallilla kaavalla 1. [48, s. 5]

$$P_{\text{sähköajoneuvojen lataus}} = \frac{\text{haluttu ajosuorite latauskerralla (km)} * 0,20 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} * n_{\text{auto}}}{\text{latauskerran aika (h)}} \quad (1)$$

Kaavassa 1 oletuksena on sähköajoneuvojen keskikulutukseksi 20 kWh/100 km ja älykäs latausjärjestelmä, jossa latauslaitteet rajoittavat tehoa liittymän muun kuormituksen perusteella tai jossa latauslaitteet kommunikoivat keskenään ja rajoittavat lataustehoa muiden latauslaitteiden tilanteen perusteella. Tarvittava ajosuorite voidaan määrittellä esimerkiksi Liikenneviraston vuonna 2016 toteuttaman henkilöliikennetutkimuksen perusteella, jossa suomalaisen päivittäiset matkat kotimaassa ovat keskimäärin noin 41

kilometriä [49]. Tämän perusteella esimerkiksi kaupunkialueilla 100 km ja maaseudulla 150 km ajosuorituksen mahdollistaminen voi olla riittävää. Pientaloissa ja taloyhtiöissä voidaan lataustapahtuma mitoittaa tapahtuvaksi esimerkiksi 10 tunnin aikana, mutta liikekiinteistöissä tai virastoissa vastaava 100 km ajosuoritetta vastaava latausenergia voidaan tarvita yhden tunnin aikana. [48, s. 5–12] Kaavalla 1 saadaan esimerkiksi 20 latauspisteen älykkään latausjärjestelmän kokonaistehoksi 200 km ajosuoritteella ja 10 h latauskerralla 80 kW.

Kuten aiemmin on todettu, AC-latauksessa eri autot sisältävät joko yksi-, kaksi- tai kolmevaiheisia sisäisiä latauslaitteita ja jotka lataavat vaihekohtaisesti joko 16 A tai 32 A. Vaikka standardissa SFS-EN IEC 61851-1:2019 on määritetty pienimmäksi latausvirraksi 6 A, tämä ei kaikilla autoilla käytännössä toteudu eli lataus ei tällöin käynnisty [27, s. 19]. Tämän vuoksi suositellaan kolmivaiheista latauskaapelointia eli käytännössä joko 3x16 A tai 3x32 A [27]. Taulukossa 7 on esitetty esimerkin vuoksi valittavan mitoitusvirran vaikutusta latausjärjestelmän vaatimaan kokonaiskapasiteettiin.

Taulukko 7: Esimerkkejä latausjärjestelmän mitoitusvirroista ja niiden vaikutuksesta kokonaiskapasiteettiin, kun oletuksena on kuormituskerroin 1 ja tehokerroin $\cos \varphi=1$.

Latauspaikat [kpl]	Mitoitusvirta			
	1x6 A	1x16 A	3x8 A	3x32 A
10	3x20 A	3x54 A	3x80 A	3x320 A
50	3x100 A	3x267 A	3x400 A	3x1600 A
100	3x200 A	3x534 A	3x800 A	3x3200 A

Taulukosta 7 on selvästi havaittavissa kapasiteetin mitoittamisen hankaluus. Taulukossa on oletettu latauksen olevan häviötöntä ja kuormituskerroimen olevan 1. Kuten aiemmin todettiin, mitoitusvirta 1x6 A on käytännössä liian pieni latausjärjestelmän mitoittamiseen ja 3x32 A on vastaavasti liian suuri. Sekä 1x16 A että 3x8 A ovat riittäviä nykytarpeeseen, mutta kolmesta vaiheesta ladattavien sähköautojen yleistymisen vuoksi näistä jälkimmäinen on todennäköisemmin järkevämpi [27].

Yksittäisen latauspisteen kaapelointi tulee mitoittaa latauspisteen suurimman tehon perusteella tai laitteen asetuksista määritettävälle pienemmälle latausteholle. Runkojohdossa voidaan huomioida älykkään latausjärjestelmän kuormituksen valvonta, jolloin taasoituskerrointa voidaan pienentää. Kuormanhallinnan kanssa käytettävälle tasauskertoimelle ei ole standardissa SFS-6000 annettu ohjeita eikä alalle vielä toistaiseksi ole muodostunut vakiintuneita käytäntöjä. [30, s. 8] Tällöin tasauskerroin on mitoitettava tapauskohtaisesti. [4, s. 7]

Edellisten lisäksi on huolehdittava etenkin suuremmissa latausjärjestelmissä vinokuormasta, jotta kaikki yksivaiheisesti lataavat autot eivät lataisi samasta vaiheesta. Tämä on relevanttia, koska suurin osa ladattavista hybridautoista ja osa täyssähköautoista on varustettu yksivaiheisella latauslaitteella. [4, s. 6] Vinokuorman välttäminen onnistuu helpoiten vaiheiden kierrätyksellä eli käytännössä asentamalla latauslaitteet siten, että latausaseman ensimmäiseen liittimeen tulee vuorotellen L1, L2 ja L3. Vaiheiden tulee olla oikeassa järjestyksessä kolmivaiheisessa latauspisteessä, jotta latauslaitteet toimivat oikein. [4, 14] Vaiheiden vuorottelun kytkentä on mahdollista toteuttaa joko latausasemilla tai syöttävässä keskuksessa, mutta molemmissa tapauksissa on huolehdittava riittävästä merkinnöistä [14, s. 70].

Tehontarpeen jälkeen luonteva toimenpide on selvittää nykyisen sähköjärjestelmän kapasiteetti ja kunto. Tämän avulla voidaan selvittää nykyisen järjestelmän pullonkaulat ja arvioida muutostarve. Yksinkertaisimmillaan voidaan lähteä liikkeelle liittymän pääsulakkeiden nimellisarvoista sekä verkkoyhtiön mittaustiedoista. [14, s. 73] Selvitettäviä asioita ovat muun muassa nykyinen kuormitus ja keskuksen tai keskusten pääsulakkeet ja laajennettavuus. Jos liittymää on kasvatettava, on liittymiskaapeli koko selvitettävä. [27] Sähköliittymän liittymisjohdon koko ja kunto sekä keskuksen nimellisivirta ja laajennettavuus vaikuttavat myös siihen, voidaanko olemassa olevaan sähköjärjestelmään lisätä uutta kulutusta vai onko sähköliittymää muutettava. Olemassa olevan sähköjärjestelmän kunto voidaan selvittää mittauksin sekä esimerkiksi lämpökuvauksella. [20] Mittaustiedot on mahdollista hankkia paikalliselta verkkoyhtiöltä. On kuitenkin tärkeä huomioda, että verkkoyhtiöiden tuntimittaustiedot ovat keskiarvoja mittausvälillä esiintyneistä tehoista eikä esimerkiksi vinokuormaa voida näistä tiedoista havaita. [48, s. 13]

Latausjärjestelmien rakentamisessa kuten muussakin rakentamisessa korostuu hyvä ja perusteellinen suunnittelu, joka toimii pohjana toimivalle toteutukselle. Mikäli suunnittelussa tehdään virheitä, ne usein näkyvät puutteellisina ja ristiriitaisina suunnitelmina ja työselostuksina, minkä vuoksi joudutaan tekemään muutos- ja lisätöitä. Nämä ovat rakennustyöltä vaaditun laadun lisäksi yleisimpiä rakennuttajien ja urakoitsijoiden välisten erimielisyyksien aiheuttajia. [45, s. 26–27] Tilaajan tulisi jo tarveselvitysvaiheessa valita yhteyshenkilö teknisiä päätöksiä ja prosessissa vaadittavia kannanottoja varten. Yhteyshenkilö voi olla esimerkiksi kiinteistön osakas, hallituksen jäsen tai vaikka tekninen isännöitsijä. [11, s. 6] Myös ulkopuolisen asiantuntijan eli esimerkiksi konsultin käyttö kartoitus- ja tarjouspyyntövaiheessa sekä itse projektin aikana on todettu käytännössä helpottavan projektin kulkua. Tämä johtuu siitä, että latauspisteiden suunnittelu ja sähköjärjestelmän kartoitus on ammattitaitoa vaativaa työtä. [14, 37]

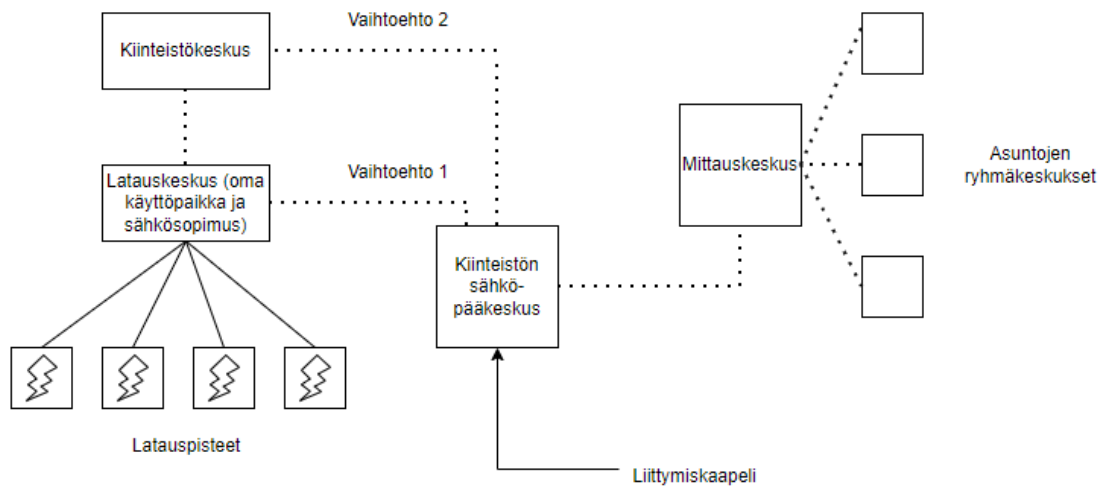
Tyypillisesti vanhemmissa kiinteistöissä laajennusvaraa on vähemmän kuin uusissa kiinteistöissä. Teknisten ominaisuuksien lisäksi on tärkeää tarkastella nykyisen sähköjärjestelmän ikää ja kuntoa. [20, 46] Taulukossa 8 on esitetty tyypillinen tekninen käyttöikä yleisimmille sähköjärjestelmän komponenteille ja kaapeloinneille.

Taulukko 8: Yleisimpien kiinteistöjen sähköjärjestelmän osien tekniset käyttöiät. Muokattu lähteen [50] liitteestä 1.

Kiinteistön sähköjärjestelmän osa	Keskimääräinen tekninen käyttöikä vuosina
Sähköpääkeskus	30–40
Sähkön jakokeskukset	30–40
Kaapeloinnit ja johdotukset	20–40
Pistorasiat	20–40
Kaapelihyllyjärjestelmä	50

Kuten taulukosta 8 nähdään, käyttöiät ovat pisimmilläänkin vain kymmeniä vuosia. Jos sähköjärjestelmä alkaa lähestyä teknisen käyttöikänsä loppua, on sähköjärjestelmän uusimisen lisäksi vaihtoehtona hankkia latausjärjestelmää varten erillinen sähköliittymä, jolloin vältetään koko kiinteistön sähköverkon saneerauselta [20, s. 4]

Koska latausjärjestelmissä edellytetään säteittäistä kaapelointia latauspisteille, tarvitaan latausjärjestelmälle tyypillisesti nykyisen pienjännitekeskuksen laajennus tai kokonaan uusi latauskeskus. [12, s. 21] Teollisuus- ja liikekiinteistöissä on tyypillisesti usein suuriakin varalähtöjä ja laajennustilaa tarjolla, eikä latauskeskuksen syötön järjestäminen useimmiten tuota ongelmia [46]. Taloyhtiöissä sähköpääkeskuksissa on yleisempää, että varalähtöjä ei ole ja tilaa keskuslaajennukselle on niukemmin. Taloyhtiöissä tarvitaan lähes aina suuremmissa järjestelmissä erillinen latauskeskus, joka voidaan kytkeä joko suoraan kiinteistön sähköpääkeskukseen tai kiinteistökeskuksen puolelle. Tällöin vaaditaan uusi käyttöpaikka, johon on hankittava erillinen sähkösopimus. [51] Periaatekuva latausjärjestelmän kaapeloinneista taloyhtiöissä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10: Latausjärjestelmän kaapelointi taloyhtiössä. Muokattu lähteestä [51].

Kuten kuvasta 10 nähdään, vaihtoehtoja on tyypillisesti taloyhtiöpuolella kaksi. Pienemmissä taloyhtiöissä, kuten rivitalokohteissa, on mahdollista toteuttaa latausasemien kaapelointi suoraan mittauskeskuksesta asunnoille lähtevien johtolähtöjen avulla, jolloin ladattu sähköenergia menee suoraan asunnon omaan kulutukseen [27].

Jos latausjärjestelmää varten tarvitaan erillinen liittymä, se tilataan verkkoyhtiöltä [12, s. 21]. Tyypillisesti liittymisjohdon rakentaa tai rakennuttaa paikallinen jakeluverkkoyhtiö liittymispisteelle saakka. Liittymispiste voi olla joko tontin raja, tontilla oleva pylvä, rakennuksen seinällä olevat talovarokkeet tai kiinteistön pääkeskus. [52, s. 48]

Tärkeä tekijä mitoituksessa on myös se, mitä latausvalmiudella tarkoitetaan. Lainsäädännön määritelmä latausvalmiudelle tarkoittaa sitä, että latauspistevalmiudella voidaan tarkoittaa montaa eri asiaa. Minimissään lainsäädännön perusteella latausvalmiudeksi voidaan katsoa esimerkiksi latauskäyttöön tarkoitettujen jakokeskusten tuominen lähelle pysäköintipaikkoja tai ulkona olevan piha-alueen varustaminen valmiilla putkituksilla. [8] Niin sanotusti loppuun asti viedyssä latausvalmiudessa latauskaapelointi tuodaan aina jokaiselle autopaikalle saakka ja päätetään esimerkiksi lähimmälle kaapelihyllylle tai maanvaraisilla pysäköintipaikoilla betoniperustaan. Tällöin latausaseman asennus myöhemmin vaatii vain kytkentätyön eikä enää tarvita kaapelointityötä tai johtolähtöjen lisäämistä keskuksen päässä. [27]

Mikäli kuormanhallinta toteutetaan mittaamalla, se vaatii keskuksen virran mittauksen. Jos energiamittaria edeltävä sulake on enintään 63 A, voidaan käyttää suoraa mittauksia, joka perustuu siihen, että mitattava virta kulkee suoraan kWh-mittarin läpi. Jos etusulake

on yli 63 A, käytetään pienjännitekohteessa virtamuuntajamittauksia. Tyypillisesti virtamuuntajien nimellisteho on 5 A pois lukien erityiskohteet, joissa se voi olla 1 A. [53, s. 19]

3.3 Säädökset, turvallisuus ja asennustavat

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 sisältää sähköturvallisuuden perusvaatimukset ja sen mukaan sähkölaitteistot ja -laitteet eivät saa aiheuttaa vaaraa tai kohtuuttomasti häiritä tai häiriintyä. Lakia sovelletaan sähkön tuottamiseen, siirtoon, jakeluun tai käyttöön tarvittavissa sähkölaitteissa ja -laitteistoissa. [54]

Sähköturvallisuuslain lisäksi valtioneuvoston asetuksina on annettu lisäsäädöksiä 1434/2016–1437/2016, jotka koskevat sähkölaitteistoja ja sähköasennusten turvallisuutta, sähkö- ja käyttötyötä, sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettista yhteensopivuutta sekä sähkölaitteiden turvallisuutta. Säädösten vaatimukset ovat useimmiten helpointa täyttää noudattamalla voimassa olevia sähköasennuksia ja -laitteita koskevia standardeja, joista pienjännitteellä tärkeimpänä SFS 6000-standardisarja. [55, s. 8–9] Kyseinen standardisarja on myös vahvistettu kaikille pienjännitesähköasennuksille velvoittavaksi standardiksi. SFS-6000-standardisarjan yleisen noudattamisen lisäksi on noudatettava etenkin sähköautojen latausjärjestelmiä koskevaa osaa SFS-6000-7-722. [14, s. 39]

Standardi SFS 6000-7-722:2017 sisältää erityisiä vaatimuksia piireihin, joita käytetään sähköajoneuvojen lataukseen. Kyseisen standardin kohdat lisäävät, muuttavat tai korvaavat standardin SFS 6000 osien 1–6 sisältämiä vaatimuksia. [30] Standardissa on mainittu, että sähköajoneuvojen syöttöön on käytettävä sille tarkoitettua virtapiiriä ja samaan piiriin on mahdollista kytkeä vain ajoneuvojen lämmityskuormaa. [30, s. 9]

Lähtökohtaisesti kaikki latausjärjestelmän kytkentäpisteelle eli latausasemalle asti ulottuvat sähköistykset määritellään osaksi rakennuksen kiinteää sähköasennusta ja kytkentäpisteeltä eteenpäin olevat asennukset laitestandardien mukaisiksi sähkölaitteiksi. Mikäli latausjärjestelmässä on mukana erillinen jako- eli latauskeskus, sen katsotaan kuuluvan osaksi kiinteää sähköasennusta. Toisaalta jotkin latausasemaan liittyvät, esimerkiksi käyttöönottotarkastusta koskevat, SFS 6000 asettamat vaatimukset koskevat myös latausaseman suojalaitteita. [14, s. 39–40]

Lisäksi suomalainen sähköteknisen alan kansallinen standardointijärjestö SESKO on laatinut oman lataussuosituksensa, joka sisältää täydentäviä suosituksia uusien latausjärjestelmien rakentamiseen tai olemassa olevien sähköjärjestelmien laajentamiseen tai muokkaamiseen lataukseen sopivaksi [20]. Edellisten lisäksi täydentävinä ohjeina ovat

esimerkiksi ST-kortisto ja valmistajien omat asennusohjeet, jotka ovat velvoittavia oikeanlaisen asennuksen varmistamiseksi sekä takuun säilyttämiseksi. [14, 52]

Yleisesti sähköasennusten kohdalla on käytettävä sähköiskuilta suojautumisessa perus- ja vikasuojausta sekä usein myös lisäsuojausta. Perussuojauksella tarkoitetaan suojausta, joka estää ihmisiä joutumasta kosketuksiin jännitteisten osien kanssa sähkölaitteiden ollessa normaalitilassa ja se voidaan jakaa suojaukseksi kaikelta koskettamiselta sekä suojaukselle tahattomalta koskettamiselta. [55, s. 78–79] Standardissa SFS 6000-7-722:2017 on mainittu erityisvaatimuksia latausjärjestelmien perussuojaukselle esimerkiksi kieltämällä perussuojaus käyttämällä esteitä [30, s. 9].

Vikasuojaus kattaa nimensä mukaisesti keinoja, joilla estetään ihmisiä ja kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteiseksi tulleita johtavia osia siten, että siitä aiheutuisi vaaraa. Tärkein vikasuojausmenetelmä on vikasuojauksen toteuttaminen syötön automaattisen poiskytkennän avulla. Menetelmä vaatii toimiakseen suunnitellun vikavirtapiirin sekä tarkoitukseen sopivan suojalaitteen. [32, s. 36–38] Usein käytännössä on määritettävä suurin sallittu johtopituus, kun suojalaitetta edeltävän verkon impedanssi Z_v tai oikosulkuvirta tunnetaan. Suurin sallittu johtopituus l metreinä voidaan laskea kaavalla 2:

$$l = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v}{2 \cdot z}, \quad (2)$$

jossa c on kerroin 0,95, U on pääjännite (V), I_k on automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa laukaiseva oikosulkuvirta, Z_v on impedanssi (Ω) ennen suojalaitetta sekä z suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km). Oikosulkuvirta liittymän liittymiskohdassa saadaan paikalliselta jakeluverkkoyhtiöltä. [55, s. 92–97] Poiskytkentäehtojen tarkastelu on hyvä tehdä jo suunnitteluvaiheessa, koska suojauksen korjaaminen jälkeen voi olla työlästä. Mikäli suojauslaskelmia ei ole suunnitteluvaiheessa tehty, on syötön automaattisen poiskytkennän toimivuus todettava käyttöönottotarkastusvaiheessa mittauksin. [55, s. 356–357]

Lisäsuojauksia käytetään varmistamaan suojaus sähköiskuilta myös tilanteissa, joissa perussuojausmenetelmät pettävät esimerkiksi käyttäjän huolimattomuuden tai eristeiden heikentymisen vuoksi. [55, s. 113] Kaikki sähköajoneuvoja vaihtosähköllä syöttävät latauspisteet on suojattava mitoitusvoimavirrallaan $I_{\Delta n}$ enintään 30 mA vikavirtasuojilla. Vikavirtasuojien on oltava vähintään tyyppiä A. Lisäksi on oltava käytössä toimenpiteet tasasähkövikavirroilta suojaukseen, mikäli suoja ei ole sisällytetty itse latausasemaan. Vaatimukset voidaan täyttää joko käyttämällä tyyppiä B vikavirtasuojaa, käyttämällä tyyppiä A vikavirtasuojaa sekä standardin IEC 62955 mukaista tasasähkövirran tunnistinta

(RDC-DD) tai tyyppin F vikavirtasuojaa sekä standardin IEC 62955 mukaista tasasähkövirran tunnistinta (RDC-DD). [25, s. 10–13]

Latausasemien kaapeloinnissa on huomioitava myös muiden sähköasennusten tapaan jännitteenalenema, oikosulku- ja ylikuormitussuojaukset. Kokemuspohjaisena perussääntönä on pidetty, että jos ryhmäjohtopituudet alkavat kymmenillä ryhmillä kasvamaan yli 50 metrin, joudutaan johdinpoikkipinta-aloja kasvattamaan jännitteenaleneman ja oikosulkuvirtojen riittävyyden vuoksi. Tällöin on kannattavampaa rakentaa lisää latauskeskuksia. [14, s. 69]

Latausjärjestelmien yhteydessä paloturvallisuus on ollut mediassa esillä viime vuosina. Jos verrataan palokuormaa, täyssähköauton akuston sisältämä energiamäärä on kuitenkin vain murto-osa polttomoottoriauton täyden polttoainesäiliön sisältämästä energiamäärästä. Sähköautojen litiumioniakkujen tulipalot ovat kuitenkin haastavampia sammutettavia kuin tavalliset autopalot, minkä lisäksi ne voivat sopivissa olosuhteissa syttyä itsestään uudelleen sammutuksen jälkeen. [14, s. 18] Akun anodin ja katodin kemiallisesta koostumuksesta riippuen, etenkin fluoridikaasut, kuten vetyfluoridi HF ja fosforyylifluoridi POF_3 , voivat olla hengenvaarallisia jo pieninä pitoisuuksina [57, s. 7]. Riskeistä ei kuitenkaan nykyhetkellä ole vielä riittävästi tutkimustietoa, johon tukeutua päätöksenteossa. Näin ollen ilman selvää ohjeistavaa suuntaa ja standardeja riskien tunnistamiselle ei ole riittävää teknistä perustaa. [58, s. 9]

Paloturvallisuuden huomiointi koskee erityisesti suljettuja tiloja, kuten pysäköintihalleja, autotalleja tai muita pysäköintilaitoksia. Latauspisteitä sisältäviin tiloihin soveltuvat hyvin rakennusten yleiset paloturvallisuusmääräykset. [26, s. 13–14] Palokuorman minimoimiseksi etenkin maanalaisissa tiloissa suositellaan käytettäväksi halogeenittomia ja vähäisen savunmuodostuksen eli luokan $\text{D}_{ca}\text{-s2d2a2}$ kaapeleita [23]. Lisäksi latauspisteiden olemassaolo ja reitti niille on hyvä merkitä selkeästi kiinteistössä ja opasteissa. Latauspisteiden sijainnit ovat tarpeellista merkitä rakennuksen savunpoistokeskukseen pelastushenkilöstön saataville mahdollisessa onnettomuustilanteessa. [26, s. 14]

Palosuojausta suunniteltaessa on riskejä mahdollista vähentää passiivisilla, aktiivisilla ja organisaation omilla toimilla. Passiivisilla ratkaisuilla tarkoitetaan esimerkiksi rakenteiden ja sijoittelun huomioimista palo-osastoimalla tilat tai sijoittamalla tiloihin käsisammuttimia tai vastaavia ensisammutusvälineitä. Aktiivisesti riskejä voidaan vähentää esimerkiksi vaaran tunnistamisella eli paloilmoinlaitteistoilla tai automaattisella suojauksella, kuten automaattisilla sammutusmenetelmillä. Organisaation toimiin kuuluvat henkilökunnan kouluttaminen alkusammutukseen, toimintaohjeisiin tai evakuointisuunnitelmaan.

Ohjeistukset ja niiden noudattaminen ovat myös tärkeä osa organisaation toimiin palosuojauriskien minimoimiseksi. [58, s. 13–15] Syöttävien keskusten kohdalla on tarvittaessa huomioitava erillinen latausasemien jännitteen keskitetysti katkaiseva hätäseis-painike, joka voidaan toteuttaa etukontaktoreilla tai muulla vastaavalla tavalla. [11 s. 19]

3.4 Varautuminen tulevaisuuteen

Latausjärjestelmä on tyypillisesti pitkäaikainen investointi, joten sitä toteutettaessa on tärkeää huomioida nykyhetken lisäksi tulevaisuuden tarpeet. Sähköautojen akustojen käyttöä on pitkään pohdittu energiavarastona ja latausta kysyntäjoustopona. Toisaalta verkkoyhtiöt ovat useassa kaupungissa joko harkinneet, siirtymässä tai jo siirtyneet hinnoittelemaan sähkönsiirtoa tehoperusteisesti. [46]

Varautuminen tulevaisuudessa kasvavaan kysyntään voidaan huomioida täyttämällä aiemmin esitellyn niin sanotun latauspistelain 733/2020 edellyttämät minimivaatimukset latausvalmiuksille ja -pisteille sekä mitoittamalla esimerkiksi sähköliittymät, jakokeskukset ja kaapeloinnit siten, että ne palvelevat myös tulevien vuosien kasvavaa tarvetta. [26, s. 6] Esimerkiksi sähköliittymän osalta tähän voidaan varautua ylimitoittamalla liittymiskaapeli tai asentamalla putkitusvaraukset mahdollista rinnakkaista myöhemmin lisättävää liittymiskaapelia varten [41, s. 13]. Lisäputkituksia on suositeltavaa myös asentaa latauslaitteiden lisäämistä varten [20, s. 4].

Latauspistekohtaisissa kaapeloinneissa kolmivaiheiset ratkaisut tulevat olemaan varmin valinta tulevaisuuden kannalta [14, 20]. Täyssähköautojen yleistymisen lisäksi tätä puoltaa myös esimerkiksi alaluvussa 2.5 käsitelty V2G-tekniikka, joka tulee todennäköisesti perustumaan kolmivaiheiseen jakeluun [14, s. 62]. Sähköautojen yleistyminen saattaa tulevaisuudessa myös vaikuttaa kiinteistöjen kulutusprofiileihin siten, että ne lisäävät aurinkosähköjärjestelmien hyödynnettävyyttä [56, s. 100–102]. Jo tällä hetkellä integrointi taloautomaation avulla mahdollistaa esimerkiksi latauksen ohjauksen aurinkosähköjärjestelmän tuotannon mukaan [12, s. 22].

3.5 Tarkastukset, luvat ja dokumentointi

Sähköturvallisuuslaki (1135/2016, 43 §.) edellyttää ennen sähkölaitteiston käyttöönotto-tarkastusta, jotta varmistetaan, että sähkölaitteisto täyttää sille asetetut vaatimukset (1135/2016, 6 §.). Vaatimus koskee uusien järjestelmien lisäksi myös olemassa olevien järjestelmien muutos- ja laajennustöitä. Sähkölaitteiston rakentaja suorittaa käyttöönotto-tarkastuksen ja laatii sähkölaitteiston haltijalle tarkastuspöytäkirjan. [54]

Käyttöönottotarkastuspöytäkirjan tulee sisältää kohteen yksilöintitiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta, yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusten ja testausten tulokset. Jos standardin SFS 6000 vaatimuksista on poikettu, turvallisuusvaatimusten täyttymisestä on annettava selvitys ja saatava suostumus tilaajalta. [55, s. 358] Latausjärjestelmille ei toistaiseksi vaadita muista sähköasennuksista poikkeavia käyttöönottomittauksia tai -testejä [59]. Mittauksista on lisättävä ainakin seuraavat tulokset:

- kaikki mittaustulokset eristysresistanssimittauksista
- kaikki mittaustulokset silmukkaimpedanssimittauksista, yleensä keskusalueittain epäedullisimmassa mittauspisteessä
- mittaustulokset vikavirtasuojista
- jatkuvuusmittauksista vaatimusten toteutuminen keskuskohtaisesti
- verkon kiertosuunta keskuskohtaisesti

Käyttöönottotarkastuspöytäkirjalle ei ole annettu muotovaatimuksia, kunhan siitä selviävät vaaditut asiat. [55, s. 358–359] Esimerkiksi ST-kortti 51.91 sisältää erityisesti sähköajoneuvojen latausjärjestelmiä varten kehitetyn käyttöönottotarkastuspöytäkirjan, jossa on huomioitu latausjärjestelmiä koskevat vaatimukset [59].

Mikäli kyseessä on sähkölaitteisto asuinrakennuksessa, joissa on yli kaksi asuinhuoneistoa tai muu kuin asuinrakennuksen sähkölaitteisto, jossa suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria, on tehtävä käyttöönottotarkastuksen lisäksi myös varmennustarkastus. Varmennustarkastuksen voi tehdä vain siihen valtuutettu tarkastaja tai valtuutettu laitos. [54]

Dokumentoinnin avulla tuote tai järjestelmä hahmotellaan, suunnitellaan, valmistetaan, asennetaan, sitä käytetään, huolletaan, kunnossapidetään ja puretaan. Toisaalta teknisen dokumentaation avulla voidaan todistaa se, että tuote tai järjestelmä on sille asetettujen turvallisuus-, ympäristö- ja laatuvaatimusten mukainen. Dokumentointi on tärkeä osa laitteen tai järjestelmän toimitusta aina suunnittelusta toteutukseen ja toimituksen jälkeiseen laatu- ja takuuprosessiin. [53, s. 97] Sähköasennusten dokumentointiin on käytettävä standardien SFS-En 61082 ja SFS-EN 81346 mukaisia kaavioita, piirroksia ja taulukoita, joista selviävät seuraavat tiedot:

- virtapiirien laji ja rakenne (kulutuspiirien sijainti, johtimien koko ja määrä, johdotilajin ja -tyyppi)
- tiedot, joiden perusteella kykin-, suoja- ja erotuslaitteiden ominaisuudet ja niiden sijainti ovat tunnistettavissa

Tämän lisäksi dokumentoinnin on sisällettävä seuraavat yksityiskohtaiset tiedot tarpeen mukaan asennuskohtaisesti:

- johdintyytit ja -poikkipinnat
- virtapiirien pituudet (suojauksen tai jännitteenaleneman laskennallista tarkastelua varten, usein mitoitusmittaan käytetyt maksimipituudet riittävät)
- suojalaitelajit ja -tyypit
- suojalaitteiden mitoitusvirrat tai asetellut
- prospektiiviset oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden katkaisukyvyt

Yllä mainittujen vaatimusten täytyy olla käytettävissä jokaisesta asennuksen virtapiiristä. [53, s. 101] Hankkeen tilaajalle luovutetaan tyyppillisesti luovutuksen yhteydessä korjatut tai täydennetyt toteutusdokumentit. Lisäksi voidaan luovuttaa erilliset käyttödokumentit, joissa esitetään järjestelmän tai sen osan normaaliin käyttöön, huoltoon, tarkkailuun tai valvontaan liittyviä ohjeita ja tietoja. [53, s. 108]

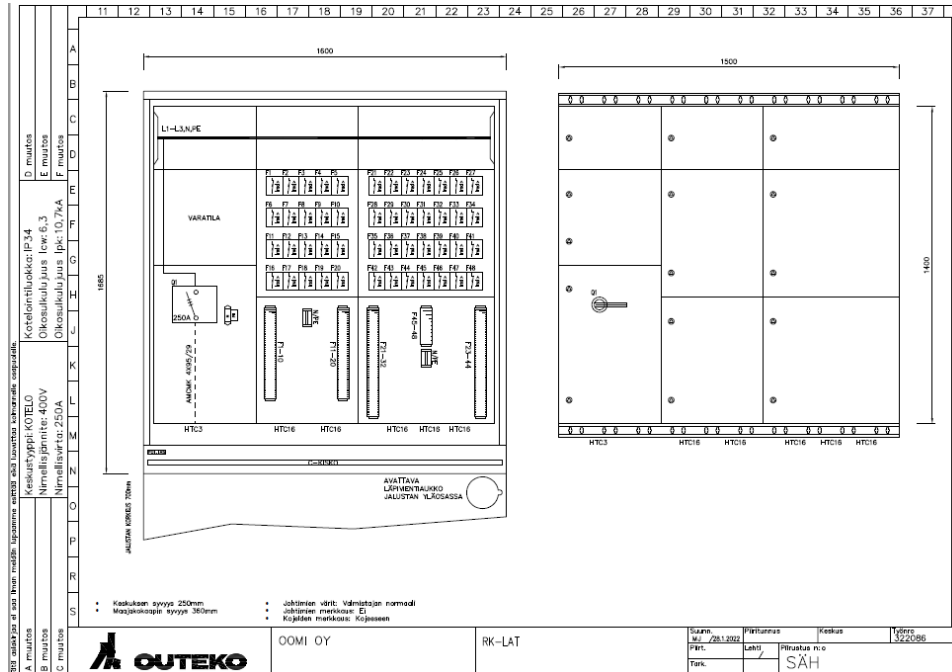
Teknisessä dokumentaatiossa esitettävän tiedon tulee olla mahdollisimman selkeää luettavaa, mikä onnistuu parhaiten käyttämällä tunnettuja ja standardoituja piirrosmerkkejä sekä jakamalla suuret kokonaisuudet eri sivuille ja käyttämällä selkeää sivulta sivulle ohjaavaa merkintäjärjestelmää. Mikäli standardisoiduista piirrosmerkeistä ei löydy tarkoitukseen sopivia merkkejä, voidaan käyttää standardoimattomia ja itse laadittuja piirrosmerkkejä, mutta nämä on selitettävä käytettävässä piirroksessa. [32, s. 286–287]

Lisäksi on suositeltavaa, että latausjärjestelmätoimittaja toimittaa myös käyttäjille selkeät ohjeet yhteystietoineen [12, s. 29]. Vikavirtasuojille, pistokytkimille ja muille säännöllistä huoltoa ja tarkastusta vaativille laitteille suositellaan laadittavaksi kirjallinen kunnossapito-ohjelma [20, s. 5]

Latausjärjestelmän suunnittelu- ja toteutusvaihe sisältää kokoluokasta ja sopimuksesta riippuen seuraavia dokumentteja:

- tarjousdokumentit
- asemapiirros
- maadoituskaaviot
- sähköpiirustukset
- piirikaaviot
- sähkökeskuskuvat
- johdotuskaaviot
- tasokuvat

Tyypillisesti tilaajalle luovutettava dokumenttipaketti sisältää Oomilla järjestelmäkaavion, latauskeskuksen kokoonpanokuvan sekä muutosten päivitykset tilaajan hallussa oleviin dokumentteihin, kuten asemapiirrokseseen ja pääkavioon. Tilaajan toimesta annettu yhte-näinen ohjeistus helpottaa eri urakoitsijoiden tekemien päivitysten onnistumista [53, s. 103]. Kuvassa 11 on esitetty esimerkkinä sähkökeskusvalmistajan toimittama kokoon-panokuva latauskeskuksesta.



Kuva 11: Latauskeskuksen kokoonpanokuva Oomin kohteelta.

Kuten kuvasta 11 nähdään, kokoonpanokuvasta on luettavissa esimerkiksi 250 A pää-kytkin, varatila esimerkiksi verkkoyhtiön mittaria varten, keskuksen fyysiset mitat sekä vikavirtajohdonsuojakatkaisijoilla varustettujen johtolähtöjen määrä.

4. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä luvussa esitellään ja kuvaillaan tutkimusstrategia, jonka mukaan työ on tehty ja kuvataan työssä käytetyt tutkimusmenetelmät. Lisäksi esitellään tutkimuksessa käytetyt esimerkkikohteet ja kuvataan haastattelututkimus.

Työssä on selvitetty latausjärjestelmien toteutusprojektien vaiheita ja mukana olevia sidoryhmiä kirjallisuuden avulla. Lisäksi on arvioitu kirjallisuuden sekä tässä luvussa esiteltävän haastattelututkimuksen avulla latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannusrakennetta sekä mittareita, joilla voidaan vertailla toteutusprojektien laatua. Oomin toteuttamien case-esimerkkikohteiden avulla on tarkasteltu toteutettujen projektien kustannusrakenteita sekä arvioitu niitä valittujen laatumittareiden avulla. Loppupäätelmänä on pohdittu viimeistä tutkimuskysymystä eli latausjärjestelmien toteutusprojektien laadun ja kustannustehokkuuden kehittämistä edellä arvioitujen tulosten perusteella. Kirjallisuuslähteiden ja asiantuntijahaastattelujen lisäksi on käytetty tutkimusaineistona Oomin sisäisiä kustannustietoja tarjouslaskennasta, tarjousmateriaaleista sekä projektikohtaisista materiaaleista. Tutkimustuloksia on mahdollista hyödyntää latausjärjestelmien toteutusprojektien suunnittelussa ja toteutuksessa.

4.1 Tutkimusstrategia

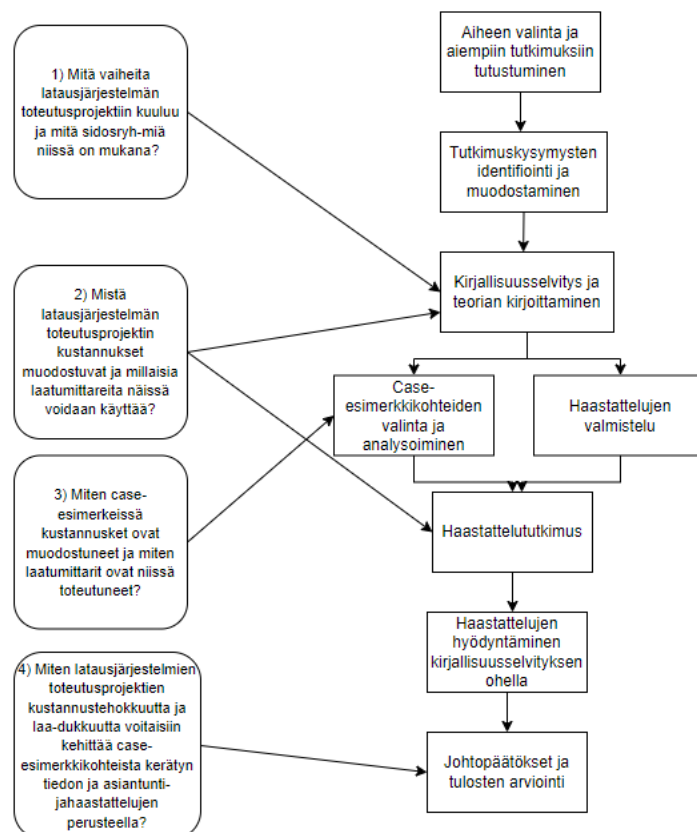
Yleisesti tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa luotettavaa ja hyödyllistä tietoa, joka perustuu empiirisiin todisteisiin sekä loogisiin argumentteihin. Tutkimusstrategialla tarkoitetaan yleistä suunnitelmaa tutkimuksen toteuttamiseksi. Tutkimusstrategia ohjaa tutkijaa tutkimuksen suunnittelussa, toteutuksessa ja valvonnassa. Tutkimusstrategian lisäksi tutkimusta ohjataan käytännön tasolla tutkimusmenetelmien avulla. Tutkimusmenetelmillä kuvataan sitä, miten tieto on hankittu. Tiedonhankintakeinoja voivat olla esimerkiksi haastattelut, tilastot tai erilaiset kyselyt. Toisin sanoen tutkimusstrategia ohjaa tutkimuksen toteutusta ylätasolla ja tutkimusmenetelmä voidaan käsittää tekniikkana tai työkaluna toteuttaa tietty tehtävä. [60, s. 39]

Tutkimusmenetelmät voidaan jakaa kvantitatiivisiin eli määrällisiin sekä kvalitatiivisiin eli laadullisiin menetelmiin. Määrällisessä tutkimuksessa on usein mukana numeerisuus ja se keskittyy selityksen tai kausaliiteetin eli syy-seuraussuhteen tavoitteluun. Määrällinen tutkimus keskittyy esimerkiksi tietyn ilmiön ymmärtämiseen tai kuvailemiseen. Joskus tutkimuksessa voidaan myös hyödyntää molempia tutkimusmenetelmiä. [61]

Työssä on käytetty sekä laadullisia että määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Tiedonkeruu on toteutettu laadullisesti niin kirjallisuuden kuin teemahaastattelujen avulla. Laadullisia tutkimusmenetelmiä on täydennetty määrällisellä tutkimuksella case-esimerkkiprojekteista kerätyllä tilastotiedolla kustannuksista, toimitusajoista ja reklamaatioiden määrästä.

Tutkimuksen tavoitteena on vastata johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Valitun aiheen vuoksi tutkimusmenetelminä on käytetty aiheesta olemassa olevaa kirjallisuutta etenkin tutkimuskysymyksissä 1 ja 2. Tutkimuskysymykseen 3 on vastattu määrällisellä tutkimuksella. Tutkimuskysymykseen 4 on vastattu sekä laadullisilla että määrällisillä tutkimusmenetelmillä.

Kuvassa 12 on esitetty vuokaavio tutkimuksesta ja selvennetty myös tutkimuskysymysten sijoittuminen tutkimuksen eri aiheisiin.



Kuva 12: Vuokaavio tutkimuksen rakenteesta ja tutkimuskysymysten sijoittuminen eri vaiheisiin.

Kuvan 12 perusteella on huomattavissa, että osaan tutkimuskysymyksistä pyrittiin vastaamaan kvantitatiivisella tutkimuksella ja osaan kvalitatiivisella tutkimuksella. Yleiset johtopäätökset tehtiin molempien eri tutkimusmenetelmien tulosten perusteella.

4.2 Case-esimerkkikohteet

Tässä alaluvussa esitellään kolme työssä tarkasteltavaa esimerkkikohdetta, joihin Oomi on toimittanut latausjärjestelmän ja urakat on kirjoitushetkellä vastaanotettu hyväksytysti. Tämä on vaatimuksena siitä syystä, että projektien toteutuneet kustannukset ovat täten tiedossa kokonaisuudessaan ja projektit ovat sen osalta vertailukelpoisia. Kohteet on valittu siksi, että ne ovat kooltaan tarpeeksi suuria, toteutettu ajallisesti syksyn 2021 ja kesän 2022 välisenä aikana ja kirjoittaja on ollut jokaisessa kohteessa itse mukana joko avustajana, tarjouspyyntövaiheen suunnittelijana tai projektipäällikkönä toteutusvaiheessa.

Esimerkkikohteet sijaitsevat Oulussa ja Lahdessa kahdessa eri kohteessa. Esimerkkikohteista suurin on oululaisten taloyhtiöiden omistama pysäköintiyhtiö, toinen on lahtelainen taloyhtiö ja kolmas on Lahden kaupungin omistama kiinteistöyhtiö. Taulukossa 9 on esitetty tiivistetysti kolme eri case-esimerkkikohdetta.

Taulukko 9: Yhteenvedotaulukko työssä tarkasteltavista case-esimerkkikohteista [62–64].

Kohde	Tyyppi	Latausvalmiuksien määrä [kpl]	Latauspisteiden määrä [kpl]
Spatium Toimitilat Oy, Lahti	Osakeyhtiö	24	10
Asunto Oy Kajaanselkä, Lahti	Taloyhtiö	34	9
Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti Oy, Oulu	Keskinäinen kiinteistöosakeyhtiö	234	38

Kuten taulukosta 9 huomataan, kohteet ovat eri kokoisia ja tilaajat ovat jo lähtökohtaisesti erilaisia organisaatioita. Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti Oy on selvästi suurin kohde ja Spatium Toimitilat Oy sekä Asunto Oy Kajaanselkä ovat samaa kokoluokkaa, mutta kohteina ne ovat hyvin erilaisia. Kaikki kolme latausjärjestelmää olivat älykkäitä latausjärjestelmiä, jotka perustuvat ulkoisen palveluntarjoajan Virran taustajärjestelmään. Valtaosa latauslaitteista hankittiin yksityiseen käyttöön eli käyttöoikeus rajattiin taustajärjestelmän avulla vain henkilöille, joilla oli käyttöoikeus latauslaitteille. Käytännössä käyttöoikeus oli siis rajattu vain taloyhtiön asukkaille ja Spatium Toimitilat Oy:n tapauksessa henkilökunnalle. Edellisen tapauksessa latauspisteistä asennettiin yksityiseksi henkilökunnan käyttöön 2 kpl ja yleiseen julkiseen käyttöön 8 kpl pääasiassa Lahden urheilu- ja messukeskuksen asiakkaiden käyttöön. [62–64]

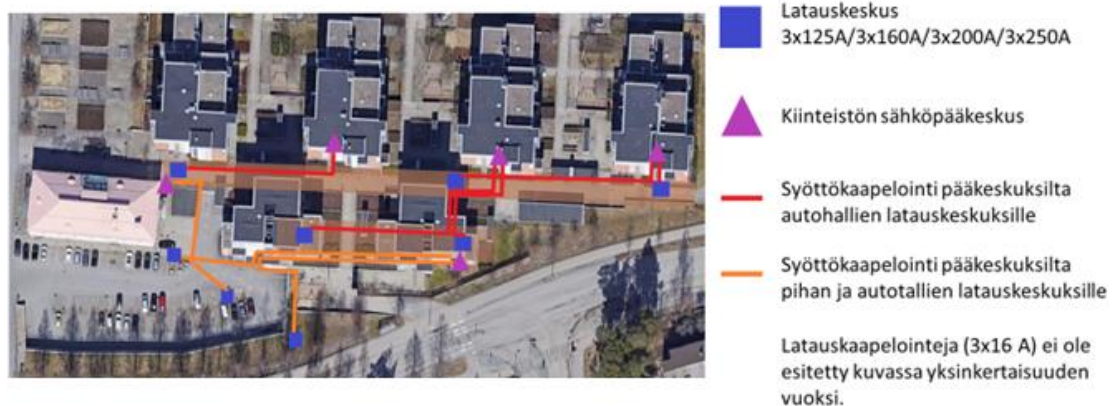
Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti on Oulussa Kasarmintiellä sijaitseva viiden eri taloyhtiön omistama pysäköintiyhtiö, johon kuuluu kaksi pysäköintihallia, joista suuremmassa on 96 autopaikkaa ja pienemmässä 47 autopaikkaa. Tämän lisäksi kohteessa on maan tasolla 29 autotalliapaikkaa sekä 62 pihalla olevaa autopaikkaa. [62]

Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti tilasi latausinfraan KVR-urakkana 234 autopaikalle. Tilaaaja oli palkannut tarjouspyyntö- ja toteutusvaiheeseen erillisen konsulttiryhtymän, Sitema Oy:n. Vaatimuksena oli muun muassa toteutus lataustavan 3 mukaisesti maksimissaan 11 kW:n teholla ja kuormanhallinnalla taattuna jokaiselle autopaikalle vähintään 3 kW:n latausteho. Lisäksi vaatimuksena oli esimerkiksi, että latausjärjestelmän oli tuettava OCPP 1.6 J/JSON-protokollaa tai uudempaa OCPP 2.0-protokollaa. Pysäköintipaikkojen omistajat saivat tilata latauslaitteita urakan yhteydessä ja niitä toimitettiin projektin luovutukseen mennessä 38 kpl. [62]

Laskennallisesti tehoa tarvittiin siis vähintään $234 \cdot 3 \text{ kW} = 702 \text{ kW}$ ja käytössä oli syöttöjä viidestä eri taloyhtiöstä, joissa oli eri tavalla vapaita lähtöjä valmiina. Latauskeskuksia tarvittiin myös lopulta kahdeksan latausvalmiuksien suuren määrän, kaapelointimatkojen ja vapaiden lähtöjen vuoksi. Kohteeseen asennettiin myös adaptiivinen kuormanhallinta mittaamaan liittymien kulutusta jokaiseen sähköpääkeskukseen ja näin välttyttiin sähköliittymien kasvattamiselta yhdessäkään taloyhtiössä. [62]

Tarjouspyyntövaiheessa oli tehtävä jo alustavat toteutussuunnitelmat latausjärjestelmästä. Kuvassa 13 on esitetty KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy:lle tehty tarjouskuva, johon oli tehty alustava toteutussuunnitelma.

Latausvalmius: Alustava pääsuunnitelma



Kuva 13: Tarjouskuva sisältäen yleissuunnitelman KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy:n latausjärjestelmän toteutuksesta. [62]

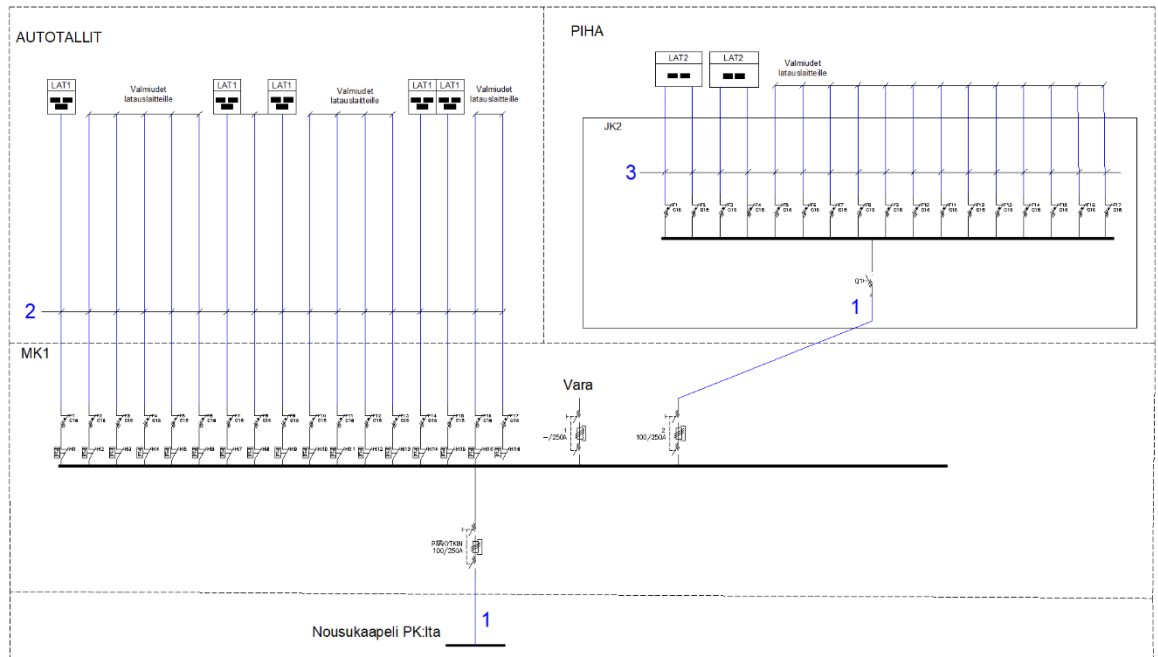
Kuten kuvasta 13 huomataan, kohteessa latauskeskusten sijoittelu ja niiden syöttökaapelointien järjestäminen oli haastavin tehtävä. Tehotarpeen järjestäminen viidestä eri sähköpääkeskuksesta oli yhdistettävä vähimmäistehon takaamiseen sekä kaapelointimatkojen minimoimiseen. Varsinaiseen toteutukseen alustava pääsuunnitelma ei juuri muuttunut. Lopullinen toteutussuunnitelma on esitetty työn lopussa liitteessä B.

Tilajana ja rakennuttajana toimi Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti Oy, rakennuttajakonsulttina Sitema Oy, pääurakoitsijana Oomi ja pääasiallisena aliurakoitsijana Energia Valtti Oy.

Kohteessa ongelmia aiheutui sähkökeskusten viivästyisestä, mikä johtui globaalista komponenttipulasta sekä juuri ennen käyttöönottoa verkkoyhteyksissä, kun parkkihallissa osa latauslaitteista ei saanut verkkoyhteyttä kuuluvuusongelmien vuoksi. Asennetuissa latauslaitteissa verkkoyhteys muodostetaan tyypillisesti langattoman 4G-modemin ja SIM-kortin avulla, mutta kuuluvuus maanalaisessa parkkihallissa tuotti ongelmia verkkoyhteyksien kanssa osalla paikoista. Tämän vuoksi latauslaitteet jouduttiin kaapeloimaan erillisellä verkkokaapelilla ja asentamaan erillisiä reitittämiä varsinaisten asennustöiden jälkeen. [62]

Toisena kohteena oli lahtelainen taloyhtiö Asunto Oy Kajaanselkä, joka tilasi latausvalmiuden 34 autopaikalle avaimet käteen -periaatteella sekä kaksi Eve Double 2x22 kW:n latauslaitetta taloyhtiön omistukseen. Lisäksi autotallien omistajat saivat halutessaan tilata latauslaitteen projektin yhteydessä ja niitä tilattiin luovutukseen mennessä 5 kpl. Kohde koostui taloyhtiön kellarissa olleista 17 pysäköintitallista sekä yläpihalla olleista 15 katospaikasta ja yhdestä maanvaraisesta kahden latausvalmiuden paikasta. Koska pysäköintitallit ja yläpihalla oleva autokatos sijaitsivat melko kaukana toisistaan, toteutettiin latausjärjestelmä kahdella latauskeskuksella MK1 ja JK2. Taloyhtiön sähköpääkeskuksesta rakennettiin uusi lähtö latauskeskukselle MK1, joka sijoitettiin nykyisen sähköpääkeskuksen läheisyyteen ja josta kaapeloitiin autotallien latausvalmiuspaikat ja lähtö pihalle sijoitetulle latauskeskukselle JK2. Latauskeskusta MK1 varten perustettiin uusi sähkönkäyttöpaikka ja se varustettiin verkkoyhtiön mittarilla. Latauskeskus JK2 asennettiin yläpihan autokatoksen viereen ja sieltä kaapeloitiin pihan 17 latausvalmiutta. Etenkin keskukseen JK2 jätettiin varatilaa yläpihan muita autopaikkoja varten. [63]

Kohteessa pääurakoitsijana toimi Oomi ja aliurakoitsijana lahtelainen SPS-Palvelut Oy. Tilajana ollut taloyhtiö käytti projektissa ulkopuolista valvojaa ja työmaapalavereita pidettiin noin kuukauden välein. Kuvassa 14 on esitetty yksinkertaistettu järjestelmäkaavio Asunto Oy Kajaanselälle toimitetusta latausjärjestelmästä.



Kuva 14: Yksinkertaistettu järjestelmäkaavio Asunto Oy Kajaanselälle toteutetusta latausjärjestelmästä [63].

Kuten kuvasta 14 nähdään, kohteen toteutus koostui kahdesta eri osasta. Syöttökaapelointi rakennukselta katoksen vieressä sijainneelle JK2:lle oli pituudeltaan noin 40 metriä ja sisälsi pääasiassa asfalttialuetta sekä reilun 5 metrin pituisen rinteeseen. Talon kellarikerroksessa latauskaapelointi vietiin kellarikäytävän välikattoja pitkin ja autotalleihin kaapelointi tuotiin läpivientien avulla.

Kohteessa ongelmia tuottivat maatyöt, jotka osoittautuivat haastavammaksi, kuin alun perin arvioitiin. Lisäksi sähkökeskusten toimitusaika oli komponenttipulasta johtuen reilusti tavanomaista pidempi.

Kolmas kohde oli Spatium Toimitilat Oy:lle toimitettu latausjärjestelmä Lahden Urheilija- ja messukeskuksen alueelle. Spatium Toimitilat Oy on Lahden kaupungin omistuksessa oleva kiinteistöyhtiö, joka hallinnoi, vuokraa sekä kehittää erilaisia kiinteistökokonaisuuksia. Spatium Toimitilat Oy käytti esisuunnittelussa ulkopuolista sähkösuunnittelijaa. Kohteessa pääurakoitsijana oli Oomi ja aliurakoitsijana SPS-Palvelut Oy.

Lahden Urheilija- ja Messukeskukseen toimitettu latausjärjestelmä sisälsi 24 latausvalmiutta, joista 8 kpl oli teholtaan 22 kW ja loput 16 kpl 11 kW. Lisäksi asennettiin 5 kpl Eve Double 2x22 kW:n latausasemia. Kohteessa latausalueita oli 3 kpl ja jokaiselle alueelle sähkönsyöttö tuotiin eri paikasta. Tämä tarkoitti sitä, että kohteeseen tarvittiin 3 kpl erillisiä 63 A:n latauskeskuksia.

Pihan länsipäädyssä oleva latausalue 1 sisälsi uuden 3x63 A latauskeskuksen sekä kahdeksan latausvalmiutta, joista neljään asennettiin latauslaite. Pääsisäänkäyntiä lähimpänä oleva latausalue 2 sisälsi kahdeksan latausvalmiutta, joista kahteen asennettiin latauslaite ja kuusi latausvalmiutta jäivät varalle. Latausalue 3 sisälsi kahdeksan latausvalmiutta, joista neljään asennettiin latauslaite. Syöttö latausalueelle 2 tuotiin rakennuksen pääsisäänkäynnin lähellä olevasta jakokeskuksesta ja latausalueelle 3 kiinteistön sähköpääkeskuksesta saakka. Kuvassa 15 on esitetty havainnollistava kuva Lahden Urheilu- ja Messukeskuksen alueen pysäköintialueesta, jossa latausalueita on merkitty oranssilla ja uusia latauskeskuksia sinisellä.



Kuva 15: Havainnekuva Lahden Urheilu- ja Messukeskuksen latausjärjestelmästä. Latausalueet merkittynä oranssilla ja uudet latauskeskukset sinisellä. Latausalueen 3 latauskeskus on tontin kiinteistön sähköpääkeskuksesta kuvan oikeassa reunassa. [64]

Kuten kuvasta 15 nähdään, latausalueet sijaitsevat kaukana toisistaan ja jokaisen sähkönsyöttö tuli eri paikasta. Myös kiinnitystavat olivat erilaisia: latausalueella 1 betonipierustaisiin asennusjalkoihin, latausalueella 2 betoniseiniin ja latausalueella 3 tuettuna olemaan olleeseen metallikaiteeseen.

Kohteessa pääurakoitsijan kannalta ongelmia aiheutui maatöiden osuudesta, joka osoitautui haastavammaksi kuin tarjouslaskennassa oli arvioitu. Myös sähkökeskusten toimitusaika oli tavallista pidempi.

Case-esimerkkikohteiden kohdalla hyödynnettiin projektikohtaista tietoa tarjouslaskentavaiheen arvioiduista kustannuksista sekä jälkikäteen projektinumerolle kohdistetuista laskutuksista ja aliurakoitsijoiden kanssa tehdyistä sopimuksista. Lisäkustannukset selvitettiin vastaavalla tavalla. Valtaosa tarvikkeiden kustannuksista todennettiin keskusvalmistajilta, maahantuojalta tulleilta laskuilta sekä muista tositteista. Mikäli erittelyä ei ollut

urakoitsijoiden antamista tarjouspyynnöistä tarpeeksi hyvin saatavilla esimerkiksi kaapelointitarvikkeiden ja kaapeloinnin asennustyön välillä, se arvioitiin kokemusperäisesti esimerkiksi jaottelulla 55 % ja 45 %. Vastaavasti esimerkiksi suunnitteluun ja projektinhoidon liittyvät kustannukset arvioitiin jälkilaskennalla, koska näitä ei työn kirjoitushetkellä vielä ollut Oomilla kohdistettu projektikohtaisesti.

4.3 Haastattelututkimus

Työssä käytettiin tutkimuskeinona kirjallisuuskatsauksen lisäksi asiantuntijahaastatteluja, jotka toteutettiin edellä esiteltyjen esimerkkikohteiden urakoitsijoiden edustajille sekä KOy Koskenniskan Pysäköinnin tapauksessa myös tilaajan palkkaamalle rakennuttajakonsultille. Lisäksi haastateltiin Destian Sähköauton lataus -liiketoiminnan tuotantopäällikköä, jolla on haastatelluista pisin tausta alalta ja joka on myös ollut useissa projekteissa mukana yhteistyössä Oomin kanssa.

Haastattelut valittiin tutkimusmenetelmäksi siksi, että ne täydentäisivät määrällistä tutkimusta ja toisivat syvyyttä tutkimukseen. Tutkimushaastattelussa olevat ihmiset eivät kuitenkaan koskaan tarjoa valmiita tutkimustuloksia, vaan heillä on kokemusperäistä tietoa ja arkista ymmärrystä tietyistä ilmiöistä, mikä ei vielä ole tutkimustietoa. Tutkimustuloksia saadaan vasta, kun tutkija itse analysoi aineistoaan. [66, s. 9]

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluina, joissa haastattelu etenee ennalta valittujen teemojen mukaisesti, mutta joissa voidaan esittää myös tarkentavia kysymyksiä. Teemahaastattelussa haastattelijä varmistaa, että ennalta määritetyt teema-alueet käydään läpi haastattelussa, mutta joissa kysymyksiin vastataan omin sanoin. Luottamuksen saavuttaminen haastateltavan ja haastattelijan välille on tärkeä osa-alue teemahaastatteluissa. [67] Haastateltavat toimivat eri puolilla Suomea pääkaupunkiseudulta Ouluun, minkä vuoksi haastattelut toteutettiin Microsoft Teamsilla. Haastatteluihin varattiin aikaa yksi tunti ja kaikki haastattelut saatiin pidettyä tässä ajassa. Kysymysrunko on esitetty työn lopussa liitteessä 1.

Haastateltavat toimivat erilaisissa rooleissa sähköalalla aina asennuspuolelta työnjohdun ja yksi haastateltavista toimii päätoimisesti konsulttina ja ulkopuolisena valvojana. Haastateltavien koulutustausta on jokaisella alun perin sähköalalta joko asentajana tai teknikkona. Haastateltava 1 on tämän jälkeen opiskellut sähköalan erikoisammattitutkinnon, haastateltava 2 on kouluttautunut ja hankkinut pätevyyden toimia sähkötöiden johtajana. Haastateltava 3 on alun perin opiskellut sähkötekniikoksi ja opiskellut tämän jälkeen muun muassa johtamisen ja yritysjohtamisen erityisammattitutkinnon. Haastatel-

tava 4 on opiskellut sähköasentajaksi ja jokaisella haastateltavalla on kokemusta esimerkiksi kohteiden ulkopuolelta myös muiden latausjärjestelmien rakentamisesta. Taulukossa 10 on kooste haastatelluista henkilöistä ja heidän taustoistaan.

Taulukko 10: Kooste teemahaastatteluissa mukana olleista henkilöistä [65].

Haastateltava	Tyypillinen rooli latausjärjestelmien toteutusprojekteissa	Nimike ja työnantaja	Case-esimerkkikohte, jossa mukana
Haastateltava 1	Tilaaajan tai rakennuttajan tilaama konsultti tai valvoja	Toimialajohtaja, Sitema Oy	KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy
Haastateltava 2	Sähkötöiden johtaja, projektipäällikkö, suunnittelija, asentaja	Toimitusjohtaja, Energia Valtti Oy	KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy
Haastateltava 3	Projektipäällikkö	Tuotantopäällikkö, Sähköajoneuvojen lataus, Destia Oy	-
Haastateltava 4	Sähkötöiden johtaja, projektipäällikkö, suunnittelija, asentaja	Toimitusjohtaja, SPS-Palvelut Oy	Asunto Oy Kajaanselkä, Spatium Toimitilat Oy

Kuten taulukon 10 koosteesta huomataan, haastateltavat edustavat melko laajaa kirjoa eri kokoisista yrityksistä ja toimivat hyvin moninaisissa tehtävissä latausjärjestelmien toteutusprojekteissa. Haastateltavien valinnassa pyrittiin saamaan mahdollisimman monipuolinen ja edustava joukko. Jokaisella haastateltavalla on vähintään muutamien vuosien kokemus latausinfraan rakentamisesta. Lisäksi useilla on vuosien kokemus myös jakeluverkkopuolelta, aurinkosähköjärjestelmistä sekä esimerkiksi rataliikenteen sähköistysprojekteista. Haastateltava 3 on ollut latausinfraan rakentamisessa mukana jo vuodesta 2011 esimerkiksi Fortum Charge & Driven sekä Tesla Supercharger -latausverkostojen rakentamisessa sekä myöhemmin mukana bussiliikenteen sähköistymiseen tarvittavan varikoiden ja pysäkkien latausinfraan suunnittelussa, urakoinnissa ja huollossa. Haastateltava 3 on mukana myös SESKOn SK69 Sähköautot ja latausjärjestelmät -työryhmässä.

4.4 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Tutkimukseen kuuluvat haastattelut suoritettiin melko lyhyellä aikavälillä vuoden 2022 syys- ja lokakuun aikana. Tutkimuskysymysten hahmottelu aloitettiin ajoissa kesällä

2022, mutta lomien ja diplomityöhön liittymättömien työtehtävien vuoksi haastattelut venyivät hieman aluksi suunniteltua pidemmälle. Haastattelujen toteuttaminen ei ollut tuttua opinnoista, joten kysymyksien lisäksi myös haastattelukäytäntöjä täytyi opiskella ennen haastattelujen aloittamista.

Haastattelujen luotettavuutta puoltaa se, että jokaisella haastateltavalla oli vuosien kokemus alalla työskentelystä ja he toimivat erilaisissa tehtävissä latausjärjestelmien toteutusprojekteissa tuoden näkökulmia myös hieman eri rooleista. Kaikkien haastateltavien vastauksissa oli myös paljon yhteneväisiä näkemyksiä, mikä puoltaa sitä, että kysymykset oli aseteltu oikein ja kaikki haastateltavat myös käsittivät ne samalla tavalla.

Vastaavasti kaikki haastateltavat olivat haastattelijalle vähintään osittain tuttuja henkilöitä, jolloin teemahaastatteluille tärkeän luottamuksen saavuttaminen oli jo lähtökohtaisesti helpompaa. Haastattelujen kesto myös pysyi tavoitellussa tunnissa, jolloin haastateltavat antoivat riittävän kattavia vastauksia. Haastattelujen teema ja kysymykset olivat myös haastateltavilla tiedossa ennen haastattelua.

Haastattelijan kokemattomuus tämänkaltaisessa tutkimuksessa saattoi kuitenkin hieman heikentää vastausten luotettavuutta, sillä haastattelututkimus oli ensimmäinen laatuaan koko diplomi-insinööriopintojen aikana. Tämä varmasti vaikutti esimerkiksi siihen, että tarkentavien kysymysten esittäminen ja haastateltavan haastaminen jäi hieman vajaaksi sitä, mitä olisi ollut mahdollista saavuttaa. Vastaavasti myös suurempi otanta olisi voinut tuottaa tarkempia tutkimustuloksia tai ainakin vahvistaa lisää haastattelujen perusteella tehtyjä johtopäätöksiä.

Case-esimerkkikohteet valittiin kymmenien kohteiden joukosta siksi, että ne olisivat edustavuudeltaan mahdollisimman käyttökelpoisia ja tutkimuksen suorittaja oli niissä itse mukana ja tunsivat projektit jo ennalta. Kohteet olivat tarpeeksi suuria ja toteutettu vuoden sisään, jolloin ne olivat edustavuudeltaan suunnilleen samalla tasolla. Jokaisesta kohteesta oli olemassa projektikohtaista tietoa riittävästi esimerkiksi jälkilaskentaa varten. Toisaalta Oomin jälkilaskentaa vaikeutti se, että osa asennusurakoitsijoilta tulleista tarjouksista sekä laskuista oli laadittu siten, että erittelyssä jouduttiin tekemään muutamia yksinkertaistuksia. Kokonaisuuden kannalta näiden merkitys arvioitiin kuitenkin vähäiseksi.

Hankaluutta aiheutti myös se, että käytännöt ja menetelmät päivittyvät Oomilla jatkuvasti ja esimerkiksi tarjouslaskentatyökalua oli päivitetty case-esimerkkikohteiden tarjouslaskentojen välillä aiemman palautteen ja kokemusten perusteella. Latausjärjestelmien toteutusprojektit ovat edelleen melko uusi ilmiö, jolloin alalla ja tapahtuu nopeaa kehitystä ja käytännöt alan toimijoilla muuttuvat jatkuvasti.

5. TULOKSET

Tässä luvussa käydään läpi case-esimerkkikohteista koottu data ja arvioidaan sen perusteella kohteiden kustannusrakennetta alaluvussa 5.1 sekä alaluvussa 5.2 laatumittarien mukaisen laadun toteutumista luvussa 2.6 selvitettyjen laatumittarien perusteella. Lisäksi käsitellään asiantuntijahaastattelujen tulokset luvussa 5.3.

5.1 Case-esimerkkikohteiden kustannusanalyysi

Kohteille on tarjouspyyntövaiheessa laskettu hinnat asiakkaan antamien lähtötietojen sekä osassa myös kartoituskäyntien perusteella Oomin sisäisessä käytössä olevalla tarjouslaskentatyökalulla. Kustannusrakenteet tähän työhön on koottu sopimuksissa olleista hinnoista ja selvitetty jälkilaskentana kohdekohtaisen tarjouslaskurin perusteella. Lisätyöt on määritelty siten, että ne ovat päätyneet pääurakoitsijan maksettavaksi ja johduneet esimerkiksi virheellistä tarvikelauksesta tai puutteellisten lähtötietojen perusteella tehdystä suunnittelusta, jossa on jäänyt huomioimatta jokin merkittävä seikka. Toteutuneet kustannukset selvitettiin tilaajan ja urakoitsijan välisistä materiaaleista sekä laskutuksesta. Mukaan ei ole otettu mahdollisia projektin aikaisia alkuperäiseen projektiin liittymättömiä ja projektin aikana sovittuja ylimääräisiä lisätyitä, kuten esimerkiksi lämmityskaapelien uusimisia. Mukana ei myöskään ole varsinaisen projektin jälkeen mahdollisesti asennettuja lisälatauslaitteita eikä KOy Koskenniskan ja Asunto Oy Kajaanselän tapauksessa pysäköintipaikkojen omistajien tilaamia latauslaitteita. Mukaan on huomioitu Spatium Toimitilat Oy:n tilaamat latauslaitteet sekä Asunto Oy Kajaanselän tapauksessa taloyhtiön omistukseen hankitut latauslaitteet.

Kustannusrakenteeseen vaikuttavat luvun 2 mukaisesti latauslaitteiden tai -valmiuksien sijoitus joko seinälle tai maahan, maatöiden tarve, sähköpääkeskuksessa olevat vapaat lähdöt ja laajennusvara sekä muut asennustekniset ominaisuudet, kuten kaapelivetojen pituudet ja mahdollisten kaapelihyllyjen tarve. Tyypillisissä taloyhtiökohteissa taloyhtiöt tilaavat vain latausvalmiuden, jolloin mahdollisen latauslaitteen hankinta ja asennustyö menevät osakkaalle, mikäli hän päätyy tilaamaan laitteen. Tyypillisesti toimittaja antaa määräajaksi sitovan hinnan myös latauslaitteiden asennukselle projektin jälkeen, jolloin latauslaitteita tilataan myös projektin jälkeisenä aikana. Yrityspuolella on yleisempää, että laitehankinnat kuuluvat samaan projektiin kuin latausvalmiudetkin.

Kustannusrakenteita muodostettaessa kustannukset on jaettu tarkastelussa seitsemään eri kategoriaan:

- Latauslaitteet
- Latauslaitetarvikkeet sisältäen esimerkiksi maa-asennustarvikkeet, kuten asennusjalat ja -jalustat
- Asennustyö sisältäen laiteasennukset, sähkökeskustyöt, syöttö- ja latauskaapeloinnit sekä kaapelihyllyjen ja -putkien asennukset
- Sähkökeskukset, kojeet ja suojat
- Asennustarvikkeet sisältäen muun muassa syöttö- ja latauskaapelit, asennusputket, kaapelihyllyt ja muut pientarvikkeet
- Maatyöt sisältäen kaivuutyöt ja asfaltointin
- Projektinhoito, suunnittelutyö, tarkastukset, varmennustarkastus sekä latausjärjestelmän dokumentointi

Näistä viimeisin on haastavin mitata etenkin suunnittelun ja projektinhoidon osalta, koska Oomilla ei ole käytössä järjestelmää, jossa tehtyjä työtunteja olisi mahdollista kohdistaa eri projekteille. Näin ollen suunnittelutyön ja projektinhoidon tarkastukset on jouduttu osittain arvioimaan. Toisaalta ne edustavat kustannuksista niin pientä osaa esimerkiksi kohteiden kokoisissa kohteissa, jolloin mahdollinen virhe ei ole ollut suuri.

Taulukossa 11 on vertailtu keskenään työn kolmen eri case-esimerkkiprojektin tarjouslaskennassa arvioituja kustannusrakenteita. Kustannustekijöiden osuus on laskettu suhteessa sopimushinnan mukaiseen omakustannehintaan. Prosenttiosuudet on pyöristetty yhden desimaalin tarkkuudelle.

Taulukko 11: Tarjouslaskennassa arvioidut kustannusrakenteet case-esimerkkikohteissa [62–64].

Kustannustekijä	Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti	Asunto Oy Kajaanselkä	Spatium Toimitilat Oy
Latauslaitteet	0 %	12,4 %	38,9 %
Latauslaitetarvikkeet	5,7 %	1,1 %	3,4 %
Asennustyö	47,8 %	44,2 %	34,4 %
Sähkökeskukset, kojeet ja suojat	15,4 %	12,6 %	7,6 %
Asennustarvikkeet (kaapelit, putket, hyllyt ja pientarvikkeet)	14,7 %	15,7 %	8,4 %
Maatyöt	9,6 %	9,8 %	7,3 %
Projektinhoito, suunnittelu, tarkastukset, dokumentointi yms.	6,9 %	4,2 %	0 %

Kuten taulukosta 11 huomataan, asennustyö on arvioitu suurimmaksi kustannustekijäksi jokaisessa projektissa, kun latauslaitteita ei huomioida mukaan. Maatöiden, latauslaitetarvikkeiden sekä projektinhoidon kustannukset ovat hyvinkin samaa luokkaa lukuun ottamatta Spatium Toimitiloja, jossa ilmeisesti inhimillisen tai tarjouslaskurissa olleen virheen vuoksi projektinhoito on jäänyt täysin huomioimatta tarjouslaskentavaiheessa. Maatöiden osuus on arvioitu kohteissa maltilliseksi, vaikka kaivuumatkat ovat tarjouslaskentavaiheessa vaihdelleet 15 ja 150 metrin välillä. Latauslaitetarvikkeiden eli käytännössä latauslaitteiden maa-asennusvarusteiden tarve riippuu lähinnä siitä, miten suuri osa latauslaitteista joudutaan asentamaan maanvaraisesti. Seinään tehtävissä asennuksissa latauslaitetarvikkeita ei tarvita lainkaan. Asennustarvikkeiden osuus on ollut kahta muuta esimerkkikohtetta alhaisempi Spatium Toimitilat Oy:ssä suhteellisen yksinkertaisten kaapelireittien vuoksi.

Tarjouslaskenta on aina tehty asiakkaan toimittamien lähtötietojen ja mahdollisen paikan päällä tehdyn kartoituskäynnin perusteella Oomin sisäisellä tarjouslaskentatyökalulla, joka perustuu urakoitsijoilta pyydettyihin vakiohintoihin sekä ajantasaisiin materiaali- ja laitehintoihin. Toteutuneet kustannukset koostuvat aliurakoitsijan tekemän tarjouksen mukaisesta hinnasta, johon vaikuttaa aliurakoitsijan tekemä tarjouslaskenta ja mahdollinen kartoituskäynti. Aliurakoitsijan antamien tarjoushintojen toteutuminen varmistettiin laskutuksesta jälkikäteen. Sähkökeskusten hankinta tehdään useimmiten erikseen muutamalta eri keskusvalmistajalta tarjouspyyntömenettelyllä. Latauslaitteille ja latauslaitetarvikkeille Oomilla on kiinteät hinnat maahantuojilta tietyille ajanjaksolle.

Seuraavana esitellään case-esimerkkikohteiden lopulliset toteutuneet kustannusjakaumat kohteittain ja verrataan niitä tarjouspyyntövaiheessa laskettuihin kustannuksiin. Myös toteutuneet kustannukset on laskettu suhteessa tarjouspyyntövaiheen laskettuun omakustannehintaan ja pyöristetty yhden desimaalin tarkkuudelle. Mahdolliset projektin aikana ilmenneet lisätyöt on koottu taulukkoon kahdeksanneksi kustannustekijäksi.

Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti toteutettiin syksyn 2021 ja kesän 2022 välisenä aikana. Taulukossa 12 on esitelty Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti Oy:n latausjärjestelmän toteutusprojektin toteutuneet kustannukset.

Taulukko 12: Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinnin latausjärjestelmän toteutusprojektin arvioitu ja toteutunut kustannusjakauma [62].

Kustannustekijä	Laskettu	Toteutunut
Latauslaitteet	0 %	0 %
Latauslaitetarvikkeet	5,7 %	5,6 %
Asennustyö	47,8 %	48,3 %
Sähkökeskukset, kojeet ja suojat	15,4 %	20,8 %
Asennustarvikkeet (kaapelit, putket, hyllyt ja pientarvikkeet)	14,7 %	23,2 %
Maatyöt	9,6 %	9,2 %
Projektinhoito, suunnittelu, tarkastukset, dokumentointi yms.	6,9 %	6,0 %
Lisätyöt	0,0 %	4,7 %
Yhteensä	100,0 %	117,8 %

Kuten taulukosta 12 huomataan, Kiinteistö Oy Koskenniskan tapauksessa toteutuneet kustannukset ovat olleet melko tarkasti linjassa arvioitujen kustannusten kanssa lukuun ottamatta sähkökeskuksia ja asennustarvikkeita. Edellä mainittujen hinnannousuun on vaikuttanut pääasiassa komponenttipula, minkä vuoksi sähkökeskusten ja asennustarvikkeiden hinnan nousivat voimakkaasti vuoden 2021 aikana. Kohteessa oli kahdeksan eri latauskeskusta ja useita kilometrejä kaapelointeja, jolloin hinnankorotuksilla on ollut merkittävät vaikutukset. Lisätöiden aiheuttamat kustannukset ovat olleet 4,7 % ja ne ovat johtuneet erityisesti autohallien tietoliikennekaapeloinneista, reitittimisestä ja modee-meista. Tietoliikennekaapelointien lisäksi lisäkustannuksia aiheuttivat sopimussakot projektin myöhästymisestä pääasiassa verkkoyhteyksien vuoksi. Projektin kustannukset siis pysyivät yleisesti budjetoiduissa arvoissa, mutta muutama yksittäinen kustannustekijä aiheutti merkittävät lisäkustannukset ja toteutuneet kustannukset olivat lopulta vajaa 18 % arvioitua suuremmat. Osasyynä tälle voidaan pitää sitä, että kohde oli Oomin historian suurin toteutettu latausjärjestelmä eikä verkkoyhteyksien kanssa ollut aiemmin ollut ongelmia muissa vastaavissa parkkihallikohteissa.

Asunto Oy Kajaanselän latausjärjestelmän toteutusprojekti toteutettiin talven 2022 ja kesän 2022 välisenä aikana. Taulukossa 13 on esitetty Asunto Oy Kajaanselän latausjärjestelmän toteutusprojektin arvioitu ja toteutunut kustannusjakauma osa-alueittain.

Taulukko 13: Asunto Oy Kajaanselän latausjärjestelmän toteutusprojektin arvioitu ja toteutunut kustannusjakauma [63].

Kustannustekijä	Laskettu	Toteutunut
Latauslaitteet	12,4 %	12,4 %
Latauslaitetarvikkeet	1,1 %	1,1 %
Asennustyö	44,2 %	29,1 %
Sähkökeskukset, kojeet ja suojat	12,6 %	20,7 %
Asennustarvikkeet (kaapelit, putket, hyllyt ja pientarvikkeet)	15,7 %	25,6 %
Maatyöt	9,8 %	32,2 %
Projektinhoito, suunnittelu, tarkastukset, dokumentointi yms.	4,2 %	5,5 %
Lisätyöt	0 %	3,1 %
Yhteensä	100,0 %	129,7 %

Kuten taulukon 13 tuloksista havaitaan, Asunto Oy Kajaanselän tarjouslaskenta ja toteutunut kustannusjakauma eroavat suuresti toisistaan lukuun ottamatta latauslaitteita, latauslaitetarvikkeita sekä projektinhoitoa. Erityisesti maa- ja asennustöiden sekä asennustarvikkeiden kustannusten kohdalla erot kustannuksissa ovat merkittäviä. Vastavasti myös sähkökeskusten kohdalla on ollut suuri ero.

Asunto Oy Kajaanselän tapauksessa tähän on ollut useita syitä. Oomin käyttämässä sisäisessä tarjouslaskentatyökalussa oli tarjouslaskentavaiheessa ohjelmallinen virhe, joka jätti huomioimatta yhden osan asennustyöstä ja -tarvikkeista. Toisaalta tarjouslaskentaohjelmaan ei ollut päivitetty uusimpia komponenttihintoja tarjouksen vaatiman urakan sisältäville kaapeloinneille, sähkökeskuksille sekä muille tarvikkeille. Tällä oli suuri vaikutus sopimusneuvottelujen ja toteutuksen välisenä aikana. Maatöiden osalta arviointi meni pahasti pieleen, koska kaivuureitti osoittautui käytännössä reilusti haastavammaksi, kuin tarjouslaskentavaiheessa arvioitiin. Kohteen maaperästä ja maan alla olevista rakenteista ei ollut tarkkaa tietoa ja tarjous laskettiin siten ilman riittäviä dokumentteja ja tietoja kaivuureitistä. Kohteen sähkökeskuksesta ja alustavista suunnitelmista oli saatavissa kattavat dokumentoinnit, mutta toteutuksesta ei laadittu kunnollisia toteutusdokumentteja ennen luovutusta.

Kohteen lisätyöt liittyivät toisen latauskeskuksen JK2 muutoksiin paikan päällä. Latauskeskuksen JK2 muutokset johtuivat siitä, että keskukselle oli tilattu inhimillisen virheen vuoksi osittain vanhojen suunnitelmien mukaisia komponentteja, jotka eivät sopineet

suoraan toteutettavaan järjestelmään. Aliurakoitsija joutui muokkaamaan latauskeskusta paikan päällä ja työ meni näin ollen pääurakoitsijan kuluksi. Edellä lueteltujen syiden vuoksi kohteen kustannukset olivat lopulta jopa noin 30 % suuremmat kuin mitä oli arvioitu.

Spatium Toimitilat Oy:n latausjärjestelmä toteutettiin kevään ja alkukesän 2022 aikana. Taulukkoon 14 on koottu yhteenveto kohteen latausjärjestelmän toteutusprojektin arvioituista ja toteutuneista kustannuksista.

Taulukko 14: *Spatium Toimitilat Oy:n latausjärjestelmän toteutusprojektin arvioitu ja toteutunut kustannusjakauma [64].*

Kustannustekijä	Laskettu	Toteutunut
Latauslaitteet	38,9 %	38,9 %
Latauslaitetarvikkeet	3,4 %	3,6 %
Asennustyö	34,4 %	18,6 %
Sähkökeskukset, kojeet ja suojat	7,6 %	20,2 %
Asennustarvikkeet (kaapelit, putket, hyllyt ja pientarvikkeet)	8,4 %	15,3 %
Maatyöt	7,3 %	15,7 %
Projektinhoito, suunnittelu, tarkastukset, dokumentointi yms.	0,0 %	3,9 %
Lisätyöt	0,0 %	1,0 %
Yhteensä	100,0 %	117,3 %

Kuten taulukosta 14 havaitaan, Spatium Toimitilat Oy:n kohdalla kustannuksia koitui etenkin sähkökeskusten ja asennustarvikkeiden hankinnasta sekä maatyöistä merkittävästi laskettua enemmän. Vastaavasti asennustyö oli merkittävästi arvioitua pienempi menoerä.

Sähkökeskusten osalta hintoihin vaikutti reilusti projektin aikana vaikuttanut komponenttipula, joka nosti sähkötarvikkeiden hintoja ja pidensi toimitusaikoja. Tarjouslaskentavaiheessa tarjouslaskentatyökalussa ei vielä ollut päivitettyjä hintoja sähkökeskusten osalta. Maatöiden osalta asennus arvioitiin toteutunutta helpommaksi eikä tarjouslaskentavaiheessa ollut riittävää tietoa maatöiden vaativuudesta.

Jostain syystä varmennustarkastusta, projektinhoitoa tai suunnittelua ei ollut laskettu tarjousvaiheessa ollenkaan mukaan. Lisätyöt jäivät kuitenkin pieniksi, mutta pääasiassa sähkökeskusten ja maatöiden alhaisen hinnoittelun vuoksi toteutuskustannukset olivat 17,3 % suuremmat kuin oli arvioitu.

5.2 Case-esimerkkikohteiden laatumittareiden vertailu

Kuten luvussa 2.6. todettiin, laadun arvioimiselle on olemassa useita erilaisia mittareita. Case-esimerkkikohteiden kohdalla näistä vertaillaan arvioitua ja toteutunutta toimitusaikaa, reklamaatioiden ja takuukorjausten määrää sekä rakennusajan lisäkustannuksia. Valittuja laatumittareita voidaan perustella siksi, että ne ovat suhteellisen helposti mitattavia ja vertailtavissa keskenään.

Toimitusaika lasketaan tyypillisesti sopimuksen allekirjoittamisesta projektin luovutukseen. Koska työn kirjoitushetkellä ei ollut tarjousmateriaaleissa tietoa toimitusajan alkamisesta, se on laskettu alkavaksi suoraan allekirjoitushetkestä. Taulukossa 15 on vertailtu case-esimerkkiprojektien toimitussopimuksiin kirjattuja arvioituja toimitusaikoja sekä toteutuneita toimitusaikoja.

Taulukko 15: Case-esimerkkiprojektien arvioidut ja toteutuneet toimitusajat

Kohde	Arvioitu toimitusaika	Toteutunut toimitusaika	Suhteellinen ylitys
KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy	35 viikkoa	48 viikkoa	37 %
Asunto Oy Kajaanselkä	6–8 viikkoa	40 viikkoa	400 %
Spatium Toimitilat Oy	6–10 viikkoa	30 viikkoa	200 %

Kuten taulukosta 15 huomataan, jokainen projekti on ylittänyt arvioidun toimitusajan. Asunto Oy Kajaanselän ja Spatium Toimitilat Oy:n osalta tätä selittää kuitenkin se, että sopimukset on allekirjoitettu talvella ja projektit ovat sisältäneet maatöitä, joita ei oletuksena toteuteta talvella, joten talvikuukausien aikana projektia ei ole saatu edistettyä tämän osalta. Asunto Oy Kajaanselän tapauksessa varsinaiset asennustyöt aloitettiin vasta maaliskuun taitteessa ja projekti luovutettiin kesäkuun lopussa.

Arvioituun toimitusaikaan vaikutti olennaisesti myös se, että kaksi jälkimmäistä kohdetta olivat tarjoushetkellä keskivertoa suurempia projekteja, jolloin tarvittavasta toimitusajankohdasta ei vielä ollut realistista arviota. Toisaalta toimitusaikoja pidensi toimitushetkellä myös se, että esimerkiksi sähkökeskusten ja sähkökeskuskomponenttien saatavuus oli paljon tavallista heikompaa. Sähkökeskusten toimitusaika oli oletuksena esimerkiksi Asunto Oy Kajaanselän projektissa 12 viikkoa, mikä saatiin neuvoteltua lopulta kymmeneksi viikoksi.

KOy Koskenniskan Pysäköinnin tapauksessa viivästys oli suhteellisesti selvästi pienempi ja johtui siitä, että tilaajalla oli alusta alkaen käytettävissä asiantuntija, jolla oli realistinen käsitys kyseisen kokoluokan projektin kestosta ja jo sopimusneuvotteluissa asetettiin realistinen tavoiteaikataulu tilaajan puolelta. Lopulta tavoiteaikatauluun ei kuitenkaan päästy, mikä johtui pääasiassa ongelmista pysäköintihallien tietoliikenneyhteyksien järjestämisestä. Viivästys sijoittui loma-aikaan ja vaati lopulta myös laitetoimittajan edustajan käynnin kohteessa.

Yksi käytetyistä laatumittareista oli reklamaatioiden ja takuukorjausten määrä. Taulukossa 16 on eriteltyinä case-esimerkkikohteiden reklamaatioiden lukumäärät sekä niiden syyt.

Taulukko 16: Reklamaatioiden määrä ja niiden kustannuksia lisäävä vaikutus prosentteina suhteessa alkuperäiseen budjetoituun toteutushintaan

Kohde	Takuuaikaa kulunut [kk]	Reklamaatioiden määrä takuuaikana [kpl]	Syy
KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy	3	3	Latauslaitteen takuuvaihto
Asunto Oy Kajaanselkä	4	2	Latauslaitteen takuuvaihto
Spatium Toimitilat Oy	4	1	Latauslaitteen takuuvaihto

Kuten taulukosta 16 huomataan, jokaisessa projektissa on ollut takuuaikana reklamaatioita ja kaikki ovat liittyneet latauslaitteisiin. Kaikki reklamaatiot on käsitelty takuukorjauksina ja vialliset latauslaitteet on vaihdettu uuteen. Takuuviat ovat koskeneet erityisesti valmistajan tiettyä mallia, jossa takuuvaihtoprosentti on ollut hyvin suuri, jopa 100 % tiettyissä kohteissa, kuten Asunto Oy Kajaanselässä. Ongelma on vaivannut joitakin kyseisen valmistajan toimituseriä vuosien 2021 ja 2022 aikana. Latauslaitteiden viat ovat liittyneet pääasiassa latauspistokkeen lukitusmoottorin vikaan tai yhteysongelmiin, joiden vuoksi laite ei ole yhdistynyt taustajärjestelmään. Kahden yksittäisen vikatyypin merkitys on case-esimerkkikohteissa ollut hyvin merkittävä. Takuuajan reklamaatioiden määrä on ollut suhteellisesti ja kustannusvaikutuksiltaan pieni, mutta kustannusvaikutusten lisäksi reklamaatioiden käsittely on vienyt myös aikaa ja aiheuttanut asiakkaille vaivaa.

Projektien laadun arvioimisessa yhtenä mittarina oli paikan päällä pääurakoitsijan laskuun tehdyt lisätyöt, joita ei ollut huomioitu tarjouspyyntövaiheessa ja joita ei voitu hy-

väksyttää ja laskuttaa tilaajalla. Taulukossa 17 on listattu projekteissa toteutuneiden lisätöiden aiheuttamien kustannusten osuus suhteessa alkuperäiseen laskettuun omakustannehintaan.

Taulukko 17: Lisätöiden osuus lasketusta omakustannehinnasta kohteittain case-esimerkkikohteissa [62–64].

Kohde	Lisätöiden osuus	Syy
KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy	4,7 %	Parkkihallien datakaapelointi, viivästys-sakot
Asunto Oy Kajaanselkä	3,1 %	Sähkökeskusmuutokset paikan päällä
Spatium Toimitilat Oy	1,0 %	Energiamittarin asennus

Kuten taulukosta 17 huomataan, lisätöiden osuus on ollut tyypillisesti muutamia prosentteja suhteessa alkuperäiseen laskettuun omakustannehintaan. Toisaalta esimerkiksi 4,7 % osuus on jo merkittävä osuus projektin omakustannehinnasta. KOy Koskenniskan tapauksessa valtaosa lisäkustannuksista koostui parkkihallien tietoliikennekaapeloinneista sekä pääasiassa juuri tietoliikenneyhteysongelmista aiheutuneista viivästys-sakoista. Asunto Oy Kajaanselässä lisäkustannuksia aiheutui latauskeskuksen muutostöistä paikan päällä. Viimeisessä kohteessa energiamittarin asennus aiheutti 1,0 % lisätyön, mikä johtui siitä, että energiamittarin tarvetta ei ollut huomioitu alun perin suunnittelussa ja tarjouslaskennassa.

5.3 Kustannuksiin ja lisätöihin vaikuttavat tekijät

Haastatteluissa ilmeni, että latausjärjestelmän kustannukset riippuvat aina kohteen lisäksi siitä, millaista järjestelmää ollaan rakentamassa. Kohteen tyypillä ja ympäristöllä on suuri vaikutus siihen, miten kustannukset muodostuvat. Monissa vastauksissa painottui erityisesti se, että tilaajalla tulisi latausjärjestelmää hankkiessaan olla riittävästi asiantuntemusta siitä, että millaisia ominaisuuksia latausjärjestelmässä on oltava. Mikäli riittävää asiantuntemusta ei ole, voi projektin läpivienti olla työlästä ja aiheuttaa ristiriitoja pääurakoitsijan ja tilaajan välille. Tämä korostui etenkin älykkäiden latausjärjestelmien kohdalla, joiden vaikutus latausjärjestelmän kustannuksiin on suuri verrattuna järjestelmiin, joissa ei ole tietoliikenneyhteyttä vaativia taustajärjestelmiä esimerkiksi automaattista lataussähkön laskutusta varten. Älykkäät latauslaitteet ovat tyypillisesti reilusti kalliimpia kuin tavalliset latauslaitteet, minkä lisäksi hintaa tulee palveluntarjoajien kuukau-

simaksuista sekä esimerkiksi tietoliikenneyhteyksien järjestämisestä. Jo tarjouspyynnössä tulisi olla varmuus siitä, että ollaanko hankkimassa älykästä latausjärjestelmää vai halvempaa ja tavallisista latauslaitteista koostuvaa latausjärjestelmää. Vain osa markkinoilla olevista yrityksistä tarjoaa älykkäitä latausjärjestelmiä, mikä rajaa jo tarjouspyyntövaiheessa monia toimijoita pois. Toimittajien ja tilaajien yhteisymmärrys tilattavasta järjestelmästä ja sen toimitusprosessista ovat tärkeitä. Tämän todetaan helpottavan yhteistyötä etenkin siksi, että kaikilla osapuolilla on sama käsitys tilanteesta.

Tarjouspyyntövaiheessa tilaajalta tulisi saada kohteesta myös riittävät dokumentit, kuten asema- ja tasopiirroksiset, nousujohtokaaviot ja sähkökeskusten pääkaaviot, mikä helpottaisi selkeiden suunnitelmien tekoa sekä myös loppudokumentointia. Erityisesti DWG-kuvien saaminen koettiin hyödylliseksi. Tästä kaikki haastateltavat olivat yhtenevästi samaa mieltä. Mikäli tarjouspyyntövaiheessa kohteesta saatavat dokumentit ovat puutteellisia tai niitä ei ole lainkaan, aiheuttaa se lisätyötä suunnitteluvaiheessa ja saattaa aiheuttaa lisätöitä ja viivästyksiä myös projektin aikana.

Teknisesti kustannuksissa haastateltavien mukaan suurin tekijä ovat maatyöt, asfaltoinnit ja pinnoitukset sekä latausjärjestelmän tehontarpeeseen liittyvät muutostyöt. Usein maatyöt joudutaan hankkimaan erikseen erilliseltä maaurakoitsijalta, mikä tietysti tuo urakkaan yhden portaan lisää. Lisäksi maatöissä dokumentit esimerkiksi maanalaisista kaapeleista ja putkista helpottavat maatöiden suunnittelua. Latauksen vaatima tehontarve ja erityisesti sen järjestäminen on tyypillisesti myös merkittävä kustannus. Vaikka etenkin taloyhtiöpuolella uudemmissa kiinteistöissä sähköpääkeskuksissa on usein vapaata kapasiteettia, sen saamiseksi joudutaan lähes poikkeuksetta tekemään keskustaajennoksia, muutostöitä ja syöttökaapeloimaan reitti latauskeskusta tai -keskuksia varten. Kaapelireittien suunnittelussa esimerkiksi kaapelihyllyjen osalta tulisi varmistua siitä, että onko kohteessa tarpeeksi olemassa olevia kaapelihyllyjä ja onko tarvetta asentaa uusia.

Erityisesti haastateltavat 1 ja 3 korostivat myös tiedotuksen ja tiedonjaon merkitystä projekteissa. Tiedon tulisi kulkea mahdollisimman tehokkaasti niin tilaajan, pääurakoitsijan kuin mahdollisen konsultin välillä. Lisäksi tiedotukset esimerkiksi äänekkäistä työvaiheista tai parkkipaikkojen käyttökatoista tulisi tiedottaa mahdollisimman tehokkaasti ja aikaisessa vaiheessa.

Haastattelun tärkeänä osana olivat asiantuntijoiden näkemykset kustannuksiin ja lisäkustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. Taulukossa 18 on esitetty haastateltavien vastauksia kustannuksiin liittyneistä kysymyksistä, jotka käsittelevät projektien kustannusrakennetta sekä lisäkustannuksia, joita projektin aikana syntyy.

Taulukko 18: Kooste haastattelutuloksista eniten kustannuksiin sekä lisäkustannuksiin vaikuttavista tekijöistä [65].

Haastateltava	Kolme eniten kustannuksiin vaikuttavaa tekijää	Lisäkustannuksia aiheuttavat tekijät
Haastateltava 1	Maatyöt, latausjärjestelmän älykkyys, tehontarpeen varmistaminen	Puutteelliset lähtötiedot, puutteellinen suunnittelu
Haastateltava 2	Materiaalihankinnat, kaapelointityö, datayhteydet	Maatyöt, virheet tarjouslaskennassa, komponenttien ja laitteiden toimitusajat, projektin viivästyttämisestä johtuvat lisäkulut, kuten sopimussakot
Haastateltava 3	Lähtötiedot, maatyöt, yhteisymmärrys projektista tilaajan ja toimittajan välillä	Puutteelliset lähtötiedot, ongelmat hankinnassa tilaajalla, muutokset etenkin maatoissa
Haastateltava 4	Maatyöt, tehontarve, jakokeskukset	Tarvikkeiden hinnat ja saatavuudet

Kuten taulukosta 18 havaitaan, vastauksissa korostuvat maatyöt, latausjärjestelmän älykkydestä aiheutuvat vaatimukset, materiaalihankinnat, kaapelointityöt sekä tehontarpeen järjestäminen. Samankaltaisiin tuloksiin päästiin myös alaluvun 5.1 tuloksissa.

Projektinaikaisten lisäkustannusten aiheuttajiksi mainittiin erityisesti puutteelliset lähtötiedot, puutteellinen suunnittelu sekä virheet tarjouslaskennassa. Jokaisella haastateltavalla oli kokemusta tästä. Lisäksi mainittiin erityisesti tarvikkeiden hintoihin ja saatavuuteen liittyvät lisäkustannukset. Tämä oli korostunut etenkin vuosina 2021–2022 komponenttipulan ja Ukrainan sodan aikana. Usein sopimukset oli tehty ennen kriisin tai kriisien alkua, jolloin komponenttien, kuten sähkökeskusten, kaapelien tai kaapelihyllyjen, hinnat olivat reilusti halvempia ja saatavuus parempaa kuin itse projektin toteutushetkellä.

Maatyöt sekä projektinaikaiset muutokset maatoihin liittyen mainittiin kahdessa haastattelussa. Näiden todettiin osaltaan liittyvän puutteelliseen suunnitteluun sekä siihen, että maatojen yhteydessä riskinä on maan alta löytyvät dokumentoimattomat esteet tai muut yllätykset, kuten kalliit tai suuret kivet. Lisäksi maatojen puutteellinen suunnittelu saattoi vaikuttaa siihen, että esimerkiksi viemäriputkien tai kiinteistöjen sähköliittymien liittymiskaapeleiden sijainti ei ollut ennalta tiedossa.

Kustannuksiin vaikuttavien sekä lisätöiden aiheuttamien kustannusten jälkeen haastateltavilta kysyttiin lisäkustannusten minimointitoimenpiteistä sekä vaiheista, joissa kysei-

set toimenpiteet olisivat tehokkainta toteuttaa. Sen jälkeen haastateltavilta pyydettiin keinoja latausjärjestelmien toteutusprojektien laadun ja kustannustehokkuuden yleiseen parantamiseen. Taulukossa 19 on esitetty tiivistetysti haastateltavien vastaukset haastattelukysymyksiin 8 ja 9.

Taulukko 19: Kooste haastatteluvastauksista liittyen projektinaikaisten lisäkustannusten minimointiin projektien aikana sekä yleisiä keinoja latausjärjestelmien toteutusprojektien laadun ja kustannustehokkuuden parantamiseen [65].

Haastateltava	Millä keinoilla ja missä vaiheissa projektia lisäkustannusten määrää voitaisiin minimoida latausjärjestelmien rakentamisessa?	Millä eri keinoilla latausjärjestelmien rakennusprojektien laatua ja kustannustehokkuutta voitaisiin parantaa?
Haastateltava 1	Riittävät lähtötiedot, joiden perusteella laadukkaampi suunnittelu ja valmistelu, erilaisten vaihtoehtojen kartoitus projektiaikaisille lisätöille	Eri sidosryhmien välinen yhteistyö ja tiedonjako, riittävät lähtötiedot ja realistinen aikataulu, jossa joustovaraa
Haastateltava 2	Tarjouslaskentavaiheeseen ja suunnitteluun panostaminen, lähtötietojen pyytäminen	Tarjouslaskentavaiheeseen ja suunnitteluun panostaminen, töiden organisointi kohdekohtaisesti
Haastateltava 3	Selkeät lähtötiedot ja selvät suunnitelmat	Selkeät lähtötiedot, selvät suunnitelmat, tiedonjako sidosryhmien välillä, urakoitsijoiden laatujärjestelmät
Haastateltava 4	Panostamalla tarjouslaskenta- ja suunnitteluvaiheeseen	Tilaaajan asiantuntemus tilattavasta järjestelmästä, hyvä suunnittelu, erillinen konsultti

Kuten taulukosta 18 havaitaan, kaikki haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että tarjouslaskenta- ja suunnitteluvaiheeseen panostaminen on tehokkain keino minimoida latausjärjestelmien toteutusprojektiin liittyviä projektinaikaisia lisäkustannuksia. Panostaminen tarkoittaa konkreettisesti huolellisesti laadittua tarjouslaskentaa, joka tehdään riittävien dokumenttien ja mielellään kohdekartoituksen perusteella. Kun dokumentteja on kattavasti, on myös mahdollista varautua projektin aikana mahdollisesti havaittaviin ongelmiin ja haasteisiin. Lisäksi useilla näistä on vaikutusta myös projektin aikataulutukseen ja näin ollen arvioidun toimitusajan toteutumiseen. Haastateltava 4 mainitsi yhdeksi keinoksi tilaaajan asiantuntijana toimivan erillisen konsultin projektin läpivientiin. Erityisesti pienempiin projekteihin liittyvät ongelmat puutteellisten lähtötietojen kanssa tulisi ehkäistä siten, että tarjoustusta ei annettaisi ollenkaan ilman riittäviä lähtötietoja riskien minimoimiseksi.

Projektin aikaisista keinoista mainittiin haastateltavan 2 osalta myös töiden tehokas organisointi, jolla asennusresurssit voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti ja minimoida odottelu ja siirtymisiin kuluva aika. Projektin aikainen yhteistyö mainittiin myös haastateltavien 1 ja 3 vastauksissa. Yhteistyön merkittävin osuus on tiedonjako eri sidosryhmien välillä.

Haastateltava 3 ehdotti kustannustehokkuuden ja laadun kehittämiseen urakoitsijoiden laatujärjestelmiä, joilla voidaan pyrkiä mahdollisimman laadukkaaseen toimintaan. Kuten alaluvussa 2.6 käsiteltiin, laatujärjestelmiin sitoutuminen on koko organisaation yhteinen tehtävä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa käydään läpi työn perusteella syntyneet johtopäätökset. Luku on jaoteltu siten, että johtopäätökset on kirjattu työn jaottelun perusteella kolmeen alalukuun. Alaluvussa 6.1 käsitellään latausjärjestelmän toteutusprojektin vaiheisiin, sidosryhmiin ja laatumittareiden mukaiseen laatuun liittyvät johtopäätökset, luvussa 6.2 kustannusanalyysiin ja laatumittareiden mukaisen laadun arviointiin perustuvat johtopäätökset sekä luvussa 6.3 yleiset latausjärjestelmien toteutusprojekteihin liittyvät johtopäätökset laadun ja kustannustehokkuuden kehittämiseen.

6.1 Latausjärjestelmien toteutusprojektien vaiheet, sidosryhmät ja laatumittarit

Kirjallisuuden avulla selvitettiin vastausta tutkimuskysymykseen 1 sekä osittain myös tutkimuskysymykseen 2. Koska aihe on vielä melko uusi, kirjallisuudesta ei juuri löydy tutkimusta tai julkaisuja aiheesta. Toisaalta sähköautojen latausjärjestelmän toteutusprojektien ei havaittu eroavan muusta, esimerkiksi sähkörakentamisesta, niin paljon, etteikö projekteja voitaisi jakaa samanlaisiin vaiheisiin eli määrittely-, suunnittelu-, toteutus- ja lopetusvaiheisiin. Tyypillinen latausjärjestelmän toteutusprojekti koostuu sekä kirjallisuudessa että Oomin projekteissa tarveselvitys- ja tarjouspyyntöosuudesta, suunnittelu- ja valmisteluosuudesta, rakentamisesta sekä käyttöönotosta ja sen jälkeisestä takuuajasta. Valtaosa Oomin toteuttamista projekteista on niin sanottuja KVR-urakoita, joissa mukana on tilaajan ja pääurakoitsijan lisäksi useimmiten yksi tai useampi aliurakoitsija ja joissain tapauksissa myös erillinen suunnittelija. Tilajalla voi lisäksi olla erillinen asiantuntija konsultin tai valvojan roolissa mukana projektissa. Riippuen kohteesta, mukana voi myös olla viranomaisia esimerkiksi lupa-asioissa tai paikallinen jakeluverkkoyhtiö erillisen liittymän tai käyttöpaikan hankintaprosessissa.

Latausjärjestelmien toteutusprojektien laatuun liittyen ei kirjallisuudesta havaittu aiempaa tutkimusta aiheesta. Rakentamiseen liittyvien yleisten laatumittareiden havaittiin kuitenkin olevan sovellettavissa myös latausjärjestelmiin. Toisaalta latausjärjestelmien toteutusprojektit ovat kooltaan reilusti esimerkiksi asuinrakentamista pienempiä, jolloin laatumittareiden on oltava tarpeeksi selkeitä ja toteutettavia. Valittuja mittareita voidaan perustella sillä, että ne ovat helposti mitattavissa ja vertailtavissa keskenään. Toisaalta esimerkiksi asiakastyytyväisyys tai -uskollisuus olisi voinut olla myös sopiva mittari, mutta se jätettiin pois siksi, koska sen toteuttamiseen liittyi epävarmuuksia esimerkiksi liittyen tilaajien erilaiseen taustaan ja siten erilaiseen asiantuntemukseen.

Kirjallisuudessa esitettyjen kustannusjakaumien perusteella suurimmat kustannukset latauslaitteita huomioimatta latausjärjestelmien toteutusprojekteissa muodostuivat tyypillisesti alakeskuksista, syöttö- ja latauskaapeloinneista, asennustyöstä sekä maatoista. Edellisistä viimeisin on tyypillisesti suurin muuttuva kustannus eri kohteissa.

6.2 Latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannusanalyysi ja laatumittarit

Case-esimerkkikohteet olivat riittävän edustavia sisällöltään ja ne sisälsivät maatöitä sekä perinteisiä seinäasennuksia. Jokaiseen kohteeseen hankittiin myös useampia jakokeskuksia suoraan keskusvalmistajilta.

Kustannusanalyysin perusteella latauslaitteiden ja latauslaitetarvikkeiden myynti ei sisällä suuria riskejä lisäkustannuksille, sillä näissä pitkät ostohinnat pitävät hinnat samalla tasolla ennustettavasti. Toisaalta latauslaitteiden ongelmana on ollut suhteellisen korkea reklamaatioprosentti tiettyjen latauslaitemallien osalta ja takuuvaihtoja on jouduttu suorittamaan paljon. Kustannusten lisäksi reklamaatiot aiheuttavat ylimääräistä työtä ja aiheuttavat harmia asiakkaalle. Tämän vuoksi erilaisten latauslaitteiden kartoitus ja yhteistyö maahantuojan tai laitevalmistajan kanssa on tarpeellista tilanteen parantamiseksi.

Eryteisesti suunnitteluvaiheen merkityksen on havaittu olevan kriittinen latausjärjestelmien toteutusprojektin kannalta. Suunnittelun ja projektin hoitamisen kustannukset olivat esimerkkikohteissa välillä 1,0–4,7 % urakoiden lasketusta omakustannushinnasta, mutta suurin osa esimerkiksi lisätöiden aiheuttamista kustannuksista olisi voitu välttää huolellisemmalla suunnittelulla. Lisäkustannusten lisäksi puutteellinen suunnittelu aiheutti ylimääräistä työtä niin KVR-urakoitsijalle, sähköurakoitsijalle kuin usein tilaajallekin esimerkiksi ylimääräisten yhteydenottojen vuoksi. Näille on kuitenkin haastavaa laskea rahallista hintaa.

Case-esimerkkikohteiden välillä on korrelaatio tiettyjen laatumittareiden ja urakoitsijan kustannustehokkuuden osalta sille, että tilaajalle ulkopuolisen konsultin tai sähkösuunnittelijan hankkiminen on sekä tilaajan että latausjärjestelmätoimittajan etu. Tällöin jo tarjouspyyntövaiheessa kaikilla osapuolilla on selvä käsitys siitä, millaista latausjärjestelmää ollaan hankkimassa sekä millaiset edellytykset sen rakentamiseen kyseisessä kohteessa on.

Maatöiden kustannusten arviointi oli epäonnistunut täysin kahdessa projektissa kolmesta, kun toteutuneet kustannukset olivat olleet jopa kaksin- tai kolminkertaiset arvioituun nähden. Kolmannessa projektissa ne arvioitiin lähes täysin oikein. Yksi syy tähän

voi olla se, että tarjouslaskuria muokattiin kolmanteen projektiin siten, että kaivuukustannuksissa painotettiin metrimäärää kiinteän metrihinnan sijaan. Yhden kohteen osalta ei kuitenkaan voida varmaksi sanoa, että miten suuri vaikutus tällä oli.

Toisaalta on huomioitava, että osa lisäkustannuksista johtuivat kertaluontoisista virheistä, jotka oletettavasti eivät enää vastaavana toistu jatkossa toteutettavissa projekteissa. Yksi esimerkki tästä on parkkihallien tietoliikenneyhteydet. KOy Koskenniskan Pysäköinti Oy:n tapauksen seurauksena tietoliikenneyhteyksien järjestämisestä on painotettu myöhemmin jo tarjousvaiheessa ja mahdollista langallista kaapelointia tarjotaan jatkossa optiona jo heti tarjousneuvotteluissa, mikäli se on kohteeseen tarpeellista. Vastaavasti toimitusaikojen arviointi on nykyisin jaettu eri luokkiin kohteen kokojen ja maatöiden tarpeen perusteella. Tällä pyritään siihen, että aikataulu on realistinen ja myös tilaajalle selkeämpi. Edellä luetellut parannuskeinot noudattavat alaluvussa 2.6 käsiteltyä PDCA-mallia.

Vaikka työssä saatiin selkeän suuntaisia tuloksia esimerkiksi suunnittelun vaikutuksesta budjetissa pysymiseen ja laatumittareiden mukaisen laadun toteutumiseen, on otanta melko pieni ja lisätutkimusta kaivattaisiin tutkimalla useampia esimerkkikohteita. Tutkimustuloksia saattaa lisäksi hieman vääristää se, että latausjärjestelmien rakentaminen on edelleen suhteellisen uutta ja muutkin toimijat kehittävät jatkuvasti toimintaansa.

6.3 Kustannustehokkuuden ja laadun kehittäminen

Kuten edellä on todettu, latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannukset muodostuvat valtaosin asennustyöstä ja -tarvikkeista, sähkökeskuksista sekä maatöistä. Myös case-esimerkkikohteiden kustannusanalyysissä havaittiin näiden osa-alueiden olevan avainasemassa sekä tarjouslaskennassa että projektin kokonaiskustannuksissa. Jokaisen kohteen ominaispiirteet on huomioitava mahdollisimman hyvin jo tarjouslaskennassa ja ne vaikuttavat erityisesti kaapelivetojen ja maatöiden toteuttamiseen. Nämä on helpointa todeta käymällä paikan päällä kartoituksella, mutta tämä voi käytännössä olla ajankäytöllisesti haastavaa, kun esimerkiksi työn tilaaja Oomi toimii valtakunnallisesti ja suurempien kohteiden tarjouslaskenta on muutamien henkilöiden vastuulla. Toisaalta hyvillä dokumentaatioilla ja valokuvilla on mahdollista helpottaa tarjouslaskentaa ja suunnittelua siten, että se hyödyttää kaikkia osapuolia. Tilaaja hyötyy onnistuneesta tarjouslaskennasta ja suunnittelusta hieman alhaisempana tarjoushintana ja laadukkaampana projektina ja urakoitsija vastaavasti vähäisemmällä työmäärällä ja kustannuksilla.

Yleisesti kustannustehokkuudessa avainasemassa on huolellinen tarjouslaskenta tilaajan toimittamien lähtötietojen perusteella. Mikäli dokumentteja, piirroksia ja valokuvia on

kohteelta riittävästi ja tilaajan tavoite on selkeä, on tarjouksen laatiminen helpompaa eikä hinnoitteluun ole tarvetta jättää niin paljoa varaa erilaisille riskeille, jotka voivat realisoitua työmaalla. Tarjouslaskennan onnistuminen jättää myös lopulliselle suunnittelulle ja aikataulutukselle enemmän vaihtoehtoja, kun budjetti on realistinen ja vaatimukset jo ennalta tiedossa.

Asennustarvikkeiden sekä sähkökeskusten osalta on etenkin vuoden 2021 aikana toteutunut riski äkillisille hinnanmuutoksille sekä toimitusaikojen pitenemiselle. Tämä asettaa haasteita toteutukselle, jos sopimuksen laadinnan sekä toteutuksen välillä on kulunut pitkä aika. Osaan riskeistä on mahdollista varautua jo ennalta. Taulukossa 20 on esitetty kootusti eri projektin osa-alueiden aiheuttamia riskejä sekä keinoja varautua niihin.

Taulukko 20: *Latausjärjestelmien toteutusprojekteihin liittyviä riskejä ja varautumiskeinoja niihin.*

Osa-alue	Riski	Varautumiskeino
Sähkökeskukset, asennustarvikkeet	Äkillinen hinnannousu esimerkiksi globaalien komponenttipulan vuoksi	Lyhyemmät tarjousten voimassaoloajat, komponenttihintojen päivittäminen ajoissa
Maatyöt	Kaivuun haastavuus esimerkiksi kallion, kivien tai maanalaisten rakenteiden vuoksi	Dokumenttien pyytäminen tarjousvaiheessa, kohteen kartoitus paikan päällä, huolellinen suunnittelu, tarjoamatta jättäminen
Latauslaitteiden takuuviat	Takuutöiden asennuskustannusten kohdistuminen pääurakoitsijalle, heikon luotettavuuden aiheuttama haitta asiakkaalle, mainehaitta	Yhteistyö maahantuojan tai valmistajan kanssa, vaihtoehtoisten latauslaitteiden kartoitus
Lisätyöt	Viivästys, lisäkustannukset	Huolellinen suunnittelu ja kartoitus, ajantasaiset dokumentit

Kuten taulukosta 20 huomataan, jo suhteellisen pienillä toimilla voidaan vaikuttaa riskien vähentämiseen. On kuitenkin tärkeää huomata, että riskejä on mahdotonta täysin poistaa, mutta niiden toteutumistodennäköisyyttä on mahdollista vähentää.

Jatkotutkimuksena voisi olla esimerkiksi yritys- ja taloyhtiöprojektien vertailu sekä toisaalta myös suunnitteluun ja tarjouslaskentaan käytetyn ajallisen ja rahallisen panostuksen suhde projektin kustannustehokkuuteen ja laatumittarien toteutumiseen. Toisaalta myös vaihtoehtoisten laatumittareiden soveltuvuus voisi olla tarpeellista selvittää. Diplomityön laajuuden rajoittamiseksi tätä ei kuitenkaan voitu tässä työssä selvittää.

7. YHTEENVETO

Liikenteen päästövähennykset ovat olennainen keino pyrkiä rajoittamaan ilmastonmuutoksen aiheuttamaa globaalia lämpenemistä. Etenkin henkilöautoliikenteen sähköistyminen on edennyt viime vuosina vauhdilla niin maailmalla kuin Suomessakin. Tämä vaatii myös kasvavaa latausinfraa, jonka rakentamista on vauhditettu lainsäädännöllä ja erilaisilla tuilla.

Diplomityössä tutkittiin sähköautojen latausjärjestelmien toteutusprojektien vaiheita ja siinä mukana olevia sidosryhmiä erityisesti KVR-urakoissa. Lisäksi selvitettiin latausjärjestelmien toteutusprojektien kustannusten muodostumista ja laatumittareita, joilla eri projekteja voitaisiin vertailla keskenään. Tämän jälkeen selvitettiin kolmen Oomin toteutaman latausjärjestelmän toteutusprojektin kustannusrakennetta ja laatumittarien mukaisen laadun toteutumista projektimateriaalien avulla. Lisäksi mukana oli neljä latausinfraalalla työskentelevää asiantuntijaa, joita haastateltiin latausjärjestelmien toteutusprojektien laatuun ja kustannustehokkuuteen sekä niiden kehittämiseen liittyvistä asioista. Yleisenä johtopäätöksenä kirjallisuuskatsauksen, case-esimerkkikohteiden kustannusanalyysin ja asiantuntijahaastattelujen perusteella työssä pohdittiin latausjärjestelmien toteutusprojektien laadun ja kustannustehokkuuden kehittämistä.

Latausjärjestelmän toteutusprojektiin havaittiin jakautuvan muiden projektien tavoin neljään eri vaiheeseen: määräys-, suunnittelu-, toteutus- ja lopetusvaiheeseen. Näissä mukana KVR-urakassa on tyypillisesti tilaajan lisäksi vähintään pääurakoitsija. Tilaajan puolella voi olla vielä erillinen konsultti ja urakoitsijan puolella aliurakoitsijoita sekä esimerkiksi suunnittelija. Useimmiten latausjärjestelmän toteutus ei vaadi viranomaislupaa, mutta erillisen sähköliittymän hankinnassa tai muissa keskustöissä paikallinen verkko-yhtiö voi olla mukana projektissa yhtenä sidosryhmänä.

Kohteiden kustannusjakaumista havaittiin, että suurimmat kustannustekijät olivat asennus- ja maatyöt, latauslaitteet, sähkökeskukset sekä asennustarvikkeet. Latauslaitteiden osuus vaihtelee reilusti, koska esimerkiksi taloyhtiöpuolella latauslaitteet eivät usein sisälly taloyhtiön tilaamaan latausjärjestelmän toteutusprojektiin vaan ne ovat autopaiikkaosakkeiden haltijoiden tilattavissa erikseen. Yritykset ja julkiset toimijat tilaavat useimmiten latauslaitteet kuitenkin samassa projektissa.

Latausjärjestelmien toteutusprojektien laatumittareiden mukaisen laadun arvioimiseen on mahdollista käyttää samanlaisia laatumittareita, kuin muussakin rakentamisessa. Tässä työssä käytettiin yksinkertaisuuden vuoksi arvioidun ja toteutuneen toimitusajan

suhdetta, reklamaatioiden määrää sekä lisätöiden osuutta arvioidusta omakustannehinnasta.

Case-esimerkkikohteissa havaittiin, että valtaosa lisätöistä ja näistä aiheutuneista viivästyksistä sekä kustannuksista muodostuivat projektin rakennusvaiheen aikana ilmenneistä ongelmista, jotka usein liittyivät puutteelliseen suunnitteluun tai vajavaisiin lähtötietoihin. Esimerkkejä tällaisista olivat vääränlaiset latauskeskukset sekä jälkityönä tehdyt tietoliikennekaapeloinnit tietoliikenneyhteyden muodostamiseen langallisesti 4G SIM-korttien sijaan. Toisaalta osa esimerkiksi toimitusaikaan liittyneistä ongelmista johduivat pääurakoitsijasta riippumattomista syistä, kuten globaalia komponenttipulasta. Komponenttipulan aiheuttama hinnannousu vaikutti muutamassa projektissa, kun esimerkiksi sähkökeskusten ja asennustarvikkeiden hinnat nousivat tarjousneuvotteluiden ja toteutusvaiheen välillä ja lisäkustannukset menivät pääurakoitsijan maksettavaksi. Taulukkoon 21 on koottu yhteenvetona case-esimerkkikohteiden toteutuneiden kustannusten ja tarjouslaskennassa arvioitujen kustannusten ero prosenttiyksikköinä sekä lisätöiden osuus alkuperäisestä tarjouslaskentahinnasta.

Taulukko 21: Case-esimerkkikohteiden arvioitujen ja toteutuneiden kustannusten osuuksien ero prosenttiyksikköinä sekä lisätöiden osuus projektien kokonaishinnasta

Kohde	Asennustyö [%-y]	Asennustarvikkeet [%-y]	Maatyöt [%-y]	Sähkökeskukset, kojeet ja suojat [%-y]	Lisätyöt [%]
KOy Kosken niskan Pysäköinti	0,5	8,4	-0,3	5,4	4,7
Asunto Oy Kajaanselkä	-15,1	9,9	22,4	8,1	3,1
Spatium Toimitilat Oy	-15,8	6,9	8,5	12,6	1,0

Kuten taulukosta 21 havaitaan, erityisesti maatyöiden, asennustarvikkeiden ja sähkökeskusten osalta tarjouslaskentavaihe on kriittinen projektin kustannusten osalta. Asennustyöiden arvioinnissa keskeistä on kokemus ja asiantuntemus ja ne oli kahdessa esimerkkikohteessa arvioitu liian suureksi. Sähkökeskusten ja asennustarvikkeiden osalta eroa selittää osittain päivittämättä jääneet hinnat sekä globaali komponenttipula. Sähkökeskusten ja asennustarvikkeiden osalta tarjousten voimassaoloaikojen lyhentäminen ja ajankohtaisten hintatietojen ylläpito on kriittistä projektien kustannustehokkuuden kan-

nalta. Maatöiden osalta eroa selittää ainakin osittain maatöiden tarjoaminen ilman riittäviä dokumentteja ja käyntiä paikan päällä. Riittäväillä dokumenteilla on mahdollista pienentää riskiä esimerkiksi maanalaisiin rakenteisiin tai muihin esteisiin kaapelireiteillä. Jos dokumentointeja tai varmuutta kaivuureitistä ei ole, aliurakoitsijan on hinnoiteltava kaivuutöihin riskilisää.

Case-esimerkkikohteiden vertailusta saatujen havaintojen sekä asiantuntijahaastattelujen perusteella havaittiin, että huolellisen suunnittelun merkitys korostuu projektin kaikissa vaiheissa aina tarjouslaskennasta alkaen. Jokainen haastateltava piti suunnittelua ja tarpeeksi laadukkaita lähtötietoja tärkeimpänä latausinfraan toteutusprojekteissa. Lisäksi vastauksissa ilmeni, että tilaajalla ja urakoitsijalla tulisi olla nykyistä useammin selvä käsitys siitä, mitä ollaan tekemässä eli millaista latausjärjestelmää ollaan toteuttamassa. Tästä syystä puolet haastateltavista ehdotti erillisen asiantuntijan palkkaamista projektin alussa etenkin taloyhtiöpuolella. Tärkeänä tekijänä havaittiin myös kokemuksen tuoma osaaminen sekä PDCA-mallin mukainen jatkuva parantaminen projektien toteutuksessa. Erilaisiin ongelmiin ja haasteisiin on helpompi varautua, kun niihin on törmätty aiemmin.

Työ keskittyi aiheeseen, josta ei ollut merkittävästi aiempaa tutkimustietoa. Tämä toi sekä mahdollisuuksia että haasteita työn toteuttamiseen. Etenkin laatumittareiden osalta oli sovellettava rakentamisen laatuun yleisesti käytettyjä laatumittareita. Toisaalta asiantuntijahaastattelujen vastauksissa oli paljon yhteneväisyyksiä toistensa sekä myös case-esimerkkikohteista teetetyin kustannusanalyysin kanssa. Haastateltavilla oli vuosien kokemus latausinfraan toteutuksesta, ja he olivat olleet mukana useissa eri kokoisissa projekteissa. Kustannusanalyysin ja haastattelututkimuksen perusteella syntyneet havainnot olivat hyvin samanlaisia.

LÄHTEET

- [1] UN Security Council, Press Release, 2021. Saatavissa (viitattu 10.5.2022): <https://www.un.org/press/en/2021/sc14445.doc.htm>
- [2] Liikenne- ja viestintäministeriö, Hallitus päätti tieliikenteen päästöjen vähennyskeinoista – päästöt puoleen 2030 mennessä, 2021. Saatavissa (viitattu 11.7.2022): <https://www.lvm.fi/-/hallitus-paatti-tieliikenteen-paastojen-vahennyskeinoista-paastot-puoleen-2030-mennessa-1293954>
- [3] Liikenne- ja viestintäministeriö, Ennuste: Tieliikenteen päästöt laskevat hieman ennakoitua nopeammin – syynä sähköautojen yleistyminen, 2021. Saatavissa (viitattu 10.5.2022): <https://www.lvm.fi/-/ennuste-tieliikenteen-paastot-laskevat-hieman-ennakoitua-nopeammin-syyna-sahkoautojen-yleistyminen-1509917>
- [4] ST 51.90 Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus, Sähkötieto ry, 2021.
- [5] Motiva, Täyssähköautot, 2021. Saatavissa (viitattu 8.6.2022): https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/autotyypitaiyssahkoauto
- [6] Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, Avustus sähköautojen latausinfraan rakentamiseen, 2020. Saatavissa (viitattu 27.8.2022): <https://www.ara.fi/latausinfra-avustus>
- [7] Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, Sähköautojen latauspisteavustus työpaikoille, 2021. Saatavissa (viitattu 27.8.2022): https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Tyopaikkojen_latauspisteavustus
- [8] 733/2020, Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä.
- [9] Fuels Institute, EV Consumer Behavior, 2021, 61 s. Saatavissa (viitattu 20.7.2022): <https://www.fuelsinstitute.org/Research/Reports/EV-Consumer-Behavior/EV-Consumer-Behavior-Report.pdf>
- [10] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Department of Energy, Charging at Home, 2017. Saatavissa (viitattu 20.7.2022): <https://www.energy.gov/eere/electricvehicles/charging-home>
- [11] Ensto, Suunnittelijan opas. Sähköautojen latausjärjestelmien huomioiminen kiinteistöjen sähkösuunnittelussa 2021. Saatavissa (viitattu 5.6.2022): <https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/oppaat/suunnittelijan-opas/>
- [12] Energiategollisuus, SESKO, JAMK, Elenia, Jyväskylän Energia, ABB, Sähkö liikenteen käyttövoimana osana energiamurrosta – EV latausjärjestelmän suunnittelijan opas, 1. painos, 2019. Saatavissa (viitattu 20.6.2022): <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A1741&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>

- [13] Sähköalan standardointijärjestö SESKO, Sähköautosanasto, 2021. Saatavissa (viitattu 21.7.2022): <https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/sahkoautosanasto/>
- [14] ST-Käsikirja 41, Sähköautot ja latausjärjestelmät, Sähkötieto ry, 2019.
- [15] Motiva, Ladattava hybridauto, 2022. Saatavissa (viitattu 21.7.2022): https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/autotyyppeiladattava_hybridauto
- [16] Autoalan tiedotuskeskus, Liikennekäytössä olevien ladattavien henkilöautojen määrä, 2022. Saatavissa (viitattu 9.9.2022): https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys
- [17] Liikenne- ja viestintäministeriö, Fossiilittoman liikenteen tiekartta: Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:15, 2021. Saatavissa (viitattu 21.7.2022): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-588-0>
- [18] Autoalan tiedotuskeskus, Ensirekisteröityjen henkilöautojen käyttövoimatilastot, 2022. Saatavissa (viitattu 28.5.2022): https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/henkiloautojen_kayttovoimatilastot
- [19] SFS-EN IEC 61851. Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements, Suomen Standardoimisliitto, 2019, 139 s.
- [20] SESKO, Sähköajoneuvojen lataussuositus, 2021. Saatavissa (viitattu 25.7.2022): <https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/lataussuositus/>
- [21] Norges Automobil-Forbund, Nå kan du ikke lenger installere stikkontakt til lading, 2022. Saatavissa (viitattu 2.10.2022): <https://nye.naf.no/elbil/elbilnytt/na-er-det-slutt-pa-stikkontakten-for-lading>
- [22] Electric Vehicle Database, 2022. Saatavissa (viitattu 25.7.2022): <https://ev-database.org/>
- [23] Autotalo Ampeeri, Sähköautotietoa, 2022. Saatavissa (viitattu 25.7.2022): <https://www.autotaloampeeri.fi/sahkoautotietoa/>
- [24] Sähköinen liikenne ry, Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q2/2022. Saatavissa (viitattu 3.10.2022): <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/fi/toimiala/tilastot>
- [25] 478/2017, Laki liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelusta
- [26] ST 51.92 Sähköajoneuvojen latauspisteet kiinteistöissä, Sähkötieto ry, 2022.
- [27] M. Rytönen, projekti-insinööri, Oomi Oy, 2022, yksityinen sähköpostiviesti.

- [28] R. Singh, S. Padmanaban, S. Dwivedi, M. Molinas, F. Blaabjerg, Cable Based and Wireless Charging Systems for Electric Vehicles - Technology and Control, Management and Grid Integration - 10.9 Vehicle-to-Grid, Institution of Engineering and Technology (The IET), 2022.
- [29] SFS 6000-5-51:2022, Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt, Suomen Standardoimisliitto, 2022, 29 s.
- [30] SFS 6000-7-722, Pienjännitesähköasennukset. Osa 7–722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö, Suomen Standardoimisliitto, 2022, 17 s.
- [31] Wago, Lattakaapelijärjestelmä hybridi- ja sähköautojen latauslaitteiden sähkösyöttöön, 2021. Saatavissa (viitattu 7.9.2022): <https://www.wago.com/fi/saehkoeliittimet/tutustu-pistoliittimiin/winsta/lattakaapelijaerjestelmae>
- [32] Sähköinfo Oy, Sähköasennusopas, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 10. painos, 2018, 331 s.
- [33] Virta, Smart Charging of Electric Vehicles, 2022. Saatavissa (viitattu 4.10.2022): <https://www.virta.global/smart-charging>
- [34] Open Charge Alliance. Saatavissa (viitattu 4.9.2022): <https://www.openchargealliance.org/>
- [35] SFS-EN ISO 15118-1:2019, Road vehicles. Vehicle to grid communication interface. Part 1: General information and use-case definition (ISO 15118-1:2019), Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2019, 133 s.
- [36] S. Shao, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, Grid Integration of Electric Vehicles and Demand Response With Customer Choice. IEEE transactions on smart grid. 2012, Vol 3, pp. 543–550.
- [37] Virta, Smart Energy Management Solutions, 2022. Saatavissa (viitattu 18.8.2022): <https://www.virta.global/charging-solution/energy-management>
- [38] D.D. Gransberg, C. Lopez del Puerto, D. Humphrey, Relating Cost Growth from the Initial Estimate to Design Fee for Transportation Projects. Journal of construction engineering and management, 2007, Vol 133, pp. 404–408.
- [39] G. M. Campbell, Project Management, Alpha a member of Penguin Group USA Inc, 2014, 384 pp.
- [40] K. Forsberg, H. Mooz, H. Cotterman, Projektinhallinta – Malli kaupalliseen ja tekniseen menestykseen, Edita Publishing Oy, 2004, 350 s.
- [41] Talonrakennusteollisuus ry, Rakennustöiden laatu 2017, Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, 2017, 352 s.
- [42] S.L. Tang, S.M. Ahmed, R.T. Aoieong, S.W. Poon, Construction Quality Management, Hong Kong: Hong Kong University Press, HKU; 2005.
- [43] Rakennusteollisuus, Laadun mittaaminen. Saatavissa (viitattu 17.10.2022): <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Laatu/laadun-mittaaminen/>

- [44] J. Pesonen, Rakennuttajan laadunmittaus, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1996.
- [45] A. Oksanen, V. Laine, K. Kaskiaro, Urakkasopimukset: rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998, Kauppakamari, 2019.
- [46] M. Hytönen, projektipäällikkö, Oomi Oy, 2022, yksityinen sähköpostiviesti.
- [47] B. Reick, A. Konzept, A. Kaufmann, R. Stetter, D. Engelmann, Influence of Charging Losses on Energy Consumption and CO2 Emissions of Battery-Electric Vehicles. *Vehicles* 2021, Vol 3, pp. 736-748.
- [48] ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen, Sähkötieto ry, 2021.
- [49] Traficom, Valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus, 2016. Saatavissa (viitattu 2.11.2022): <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/julkaisut/valtakunnallinen-henkiloliikennetutkimus?toggle=Henkil%C3%B6liikennetutkimusen%202016%20faktakortit&toggle=Yleiskuva%20suomalaisten%20liikkumisesta>
- [50] ST 97.00 Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoarvio- ja tutkimus, Sähkötieto ry, 2018.
- [51] Motiva, Kotilataukseen liittyvä tekniikka tutuksi, 2022. Saatavissa (viitattu 10.10.2022): https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/latauspisteet_taloyhtioidin/kotilataukseen_liittyva_tekniikka_tutuksi
- [52] Sähköasennukset 1, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2018, 4.painos, 234 s.
- [53] Sähköasennukset 4, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017, 4. painos, 195 s.
- [54] 1135/2016 Sähköturvallisuuslaki, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>
- [55] DI-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2018, 26. painos, 442 s.
- [56] ST-Käsikirja 40, Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus, Sähkötieto ry, 2021, 182 s.
- [57] F. Larsson, P. Andersson, B-E, Mellander, Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests, *Batteries* 2016, Vol 2, 2016.
- [58] Palontorjuntatekniikan kehitysryhmä, Muuttuva rakennettu ympäristö ja uudet teknologiat, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK, 2020, 47 s.
- [59] ST 59.91 Sähköajoneuvojen latausjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja, Sähkötieto ry, 2021.
- [60] P. Johannesson, E. Perjons, Research Strategies and Methods. In: *An Introduction to Design Science*, Cham: Springer International Publishing. 2021.

- [61] McGill Qualitative Health Research Group, Qualitative or Quantitative Research?, 2022. Saatavissa: (viitattu 1.11.2022): <https://www.mcgill.ca/mqhrq/resources/what-difference-between-qualitative-and-quantitative-research>
- [62] Kiinteistö Oy Koskenniskan Pysäköinti, projektidokumentaatio, luottamuksellinen.
- [63] Asunto Oy Kajaanselkä, projektidokumentaatio, luottamuksellinen.
- [64] Spatium Toimitilat Oy, projektidokumentaatio, luottamuksellinen.
- [65] Latausjärjestelmien toteutusprojektien sidosryhmien haastattelututkimuksen yhteenveto, 2022, luottamuksellinen.
- [66] M.K. Hyvärinen, P. Nikander, J. Ruusuvuori, A.L. Aho, Tutkimushaastattelun käsikirja, Tampere: Vastapaino, 2017.
- [67] W. Adams, Conducting Semi-Structured Interviews, 2015.

LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET

Haastattelija ja diplomityön tekijä: Niklas Pasanen

Yleiset kysymykset:

- 1) Kuka on haastateltavana (=nimi, titteli, koulutustausta)?
- 2) Millainen tausta haastateltavalla on latausinfra-alalla?
- 3) Millaisissa latausjärjestelmien toteutusprojektien olet ollut mukana? (koko, tyyppi, laitteiden määrä yms.)
- 4) Millaisissa rooleissa olet ollut latausjärjestelmien toteutusprojektien mukana?

Kysymykset laadusta ja kustannustehokkuudesta:

- 5) Mitkä kolme tekijää vaikuttavat mielestäsi latausjärjestelmien toteutusprojektien hintaan eniten?
- 6) Miten mielestäsi latausjärjestelmien toteutusprojektien laatua voisi mitata tai vertailla?
- 7) Mitkä tekijät aiheuttavat useimmiten lisäkustannuksia ja -työtä latausjärjestelmien rakentamisessa?
- 8) Millä keinoilla lisäkustannuksia voitaisiin minimoida latausjärjestelmien rakentamisessa?
- 9) Millä eri keinoilla latausjärjestelmien toteutusprojektien laatua ja kustannustehokkuutta voitaisiin yleisellä tasolla parantaa?
- 10) Tuleeko mieleen jotain muuta aiheeseen liittyvää, mitä ei kysymyksissä ollut listattuna?

LIITE B: KOY KOSKENNISKAN PYSÄKÖINTI OY:N YLEISSUUNNITELMA

