

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Kim-Henrik Romppanen

SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUSINFRASTRUKTUURIN  
KEHITTYMINEN

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2016



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2016**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä  
Kim-Henrik Romppanen

Nimeke  
Sähköajoneuvojen latausinfrastruktuurin kehittyminen

Toimeksiantaja  
Karelia-ammattikorkeakoulu

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyön perustana oli Euroopan Unionin direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. Direktiivin myötä Euroopan Unionin jäsenvaltioiden on tarjottava vähimmäisinfrastruktuuri vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkaus- ja latausasemille vuoden 2020 loppuun mennessä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys sähköajoneuvojen latausinfrastruktuurin rakentamisesta aiheutuvista haasteista ja mahdollisuuksista. Työssä selvitetään Suomen sähköajoneuvokantaa ja kehitystä sekä tutkitaan sähköisen liikenteen tilannetta Joensuussa. Tarkastellaan sähköajoneuvojen latausta koskevaa standardisointityötä ja eri lataustekniikoita sekä niitä koskevia standardeja. Lisäksi paneudutaan latauksen aiheuttamiin vaikutuksiin sähköverkon puolella ja pohditaan mahdollisuuksia sähköjärjestelmän kannalta. Työn lähtökohtana oli selvittää, mitä asioita latauspistettä perustaessa on huomioitava.

Kieli  
suomi

Sivuja 38  
Liitteet

Asiasanat  
sähköajoneuvo, sähköauto, lataus, standardisointi, latausinfrastruktuuri



**THESIS**  
**April 2016**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**  
Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358 13 260 6800

Author  
Kim-Henrik Romppanen

Title  
Electric vehicles charging infrastructure progression

Commissioned by  
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The bases of this thesis was the European Union directive of deploying the alternative fuels infrastructure. Member States will have to provide a minimum infrastructure for alternative fuels by the end of 2020.

The purpose of this study was to investigate the challenges and opportunities what build-up of electric car charging infrastructure cause. The work present electric car charging standardization, different charging technologies and standards. The thesis also present electrical gird effects and opportunities of charging electrical vehicles. The aim of this thesis was to study about things what needs to consider when built the charging station.

Language

Finnish

Pages 38

Appendices

Keywords

electric vehicle, electric car, charging, standardization, charging infrastructure

## Sisältö

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto.....  | 6  |
| 2     | Sähköajoneuvokanta Suomessa .....                            | 7  |
| 3     | Kehitykseen vaikuttavat linjaukset ja määräykset .....       | 8  |
| 4     | Sähköajoneuvojen standardisointi.....                        | 10 |
| 4.1   | Kansainväliset organisaatiot .....                           | 11 |
| 4.2   | Eurooppalaiset organisaatiot.....                            | 11 |
| 4.3   | Kansalliset organisaatiot.....                               | 12 |
| 5     | Sähköajoneuvojen lataus ja sitä koskevat standardit.....     | 12 |
| 5.1   | Lataustekniikat .....  | 13 |
| 5.1.1 | Langaton lataus.....   | 14 |
| 5.2   | Latausliitännät .....  | 16 |
| 5.2.1 | AC-latauspistoketyypit .....                                 | 16 |
| 5.2.2 | DC-latauspistoketyypit .....                                 | 18 |
| 5.3   | Sähköturvallisuus verkon puolella .....                      | 20 |
| 5.4   | Standardisoinnin kehitys.....                                | 20 |
| 6     | Sähköajoneuvon latauksen verkkovaikutukset .....             | 21 |
| 7     | Sähköajoneuvot osana energiajärjestelmää .....               | 24 |
| 7.1   | Sähköajoneuvojen energian tarve.....                         | 24 |
| 7.2   | Sähköjärjestelmän toiminta.....                              | 25 |
| 8     | Latausaseman suojalaitteiden ja syöttökaapelin mitoitus..... | 26 |
| 9     | Sähköinen liikenne ja sen tulevaisuus Joensuussa .....       | 30 |
| 9.1   | Sähköauton käyttäjäkokemuksia .....                          | 31 |
| 10    | Pohdinta .....   | 33 |
|       | Lähteet.....   | 36 |

## Lyhenteet

|         |   |
|---------|---|
| EU      | Euroopan unioni   |
| YK      | Yhdistyneet kansakunnat   |
| ISO     | International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö                    |
| IEC     | International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardisointiorganisaatio           |
| CEN     | European Committee for Standardization, eurooppalainen standardisoimisjärjestö                            |
| CENELEC | European Committee For Electrotechnical Standardization, eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö |
| SFS     | Suomen standardisoimisliitto  |
| YTL     | Yleinen teollisuusliitto  |
| EN      | European Standard, Eurooppalainen standardi   |
| A       | ampeeri, virran yksikkö   |
| kW      | kilowatti   |
| kWh     | kilowattitunti  |
| THD     | Total Harmonic Distortion, kokonaissärökerroin  |

# 1 Johdanto

Liikennesektorilla on alkanut siirtyminen puhtaampiin käyttövoimiin. Perinteisiä öljypohjaisia fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan vaihtoehtoisilla polttoaineilla kuten sähköllä, vedyllä ja metaanilla. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö vähentää öljyriippuvuutta ja kasvihuonepäästöjä. Se avaa mahdollisuuksia uusiin työpaikkoihin ja vientituotteisiin. Sähköajoneuvot ovat yksi varteenotettavimmista vaihtoehdoista kohti vähähiilisempää liikennejärjestelmää.

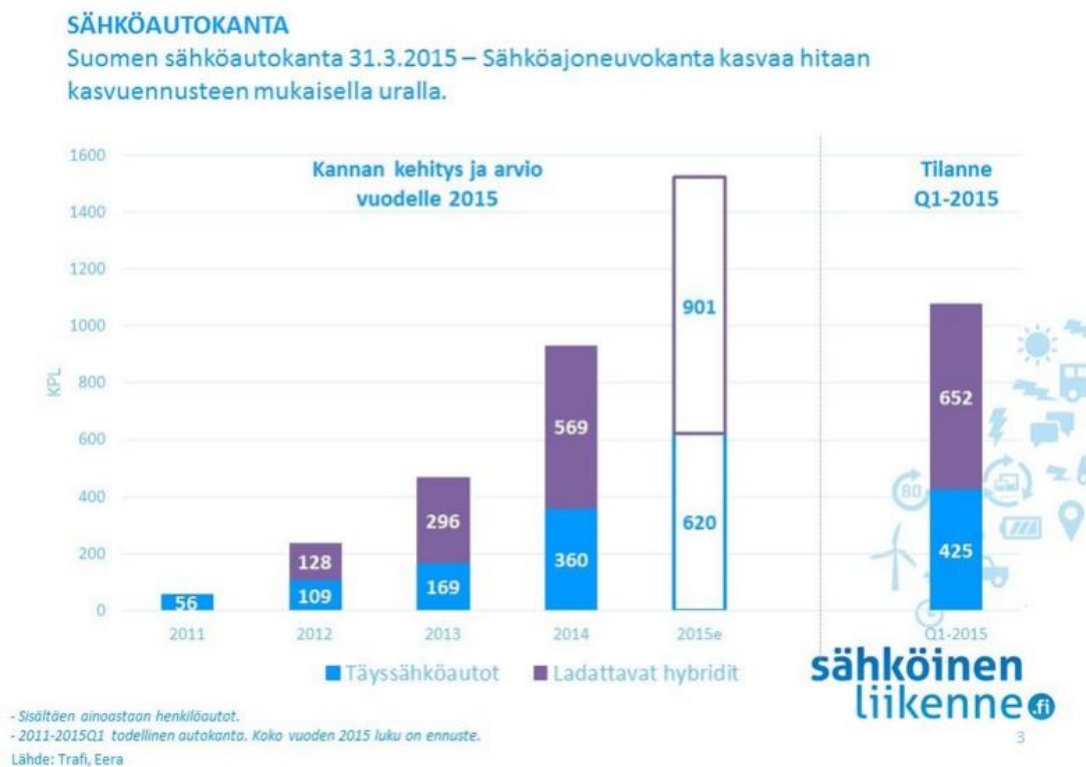
Tällä hetkellä Suomen sähköautokanta on lähes olematon. Sähköistä liikennettä pyritään edistämään monelta taholta eri keinoin ja on odotettavaa, että lähivuosina Suomen sähköautokanta lähtee nopeaan kasvuun. EU:n tasolla on tartuttu vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden infrastruktuurin puuttumiseen säätämällä direktiivi, joka velvoittaa jäsenmaitaan rakentamaan kattavan latausverkoston vuoden 2020 loppuun mennessä. Direktiivi määrittelee myös latauspisteiden standardi pistorasiat, joita on käytettävä EU:n jäsenvaltioiden julkisissa latauspisteissä.

Sähköajoneuvojen kattavan latausinfrastruktuurin rakentaminen on sähköjärjestelmälle sekä haaste, että mahdollisuus. Latausasemat lisäävät sähköverkon kuormitusta ja sähköenergian tarvetta. Latauksen aiheuttamat vaikutukset ovat erilaisia tarkasteltaessa verkon eri osia. Suurimmat vaikutukset kohdistuvat pääasiallisesti pien- ja keskijänniteverkoille. Sähköautojen lataaminen lisää kuluttajapuolelta aiheutuvia sähkön laatuun vaikuttavia ilmiöitä. Toisaalta sähköajoneuvojen latausinfrastruktuuri avaa uusia mahdollisuuksia älykkään sähköverkon kehittämiseen.

## 2 Sähköajoneuvokanta Suomessa

Vuonna 2013 Suomessa oli yhteensä 465 sähkökäyttöistä ajoneuvoa. Vuoteen 2014 määrää oli kasvanut 929 kappaleeseen ja vuoden 2015 maaliskuun loppuun mennessä 1077 kappaleeseen. Ennuste vuoden 2015 lopulle on 1521. Suomen sähköajoneuvokanta kasvaa hitaasti ja jää jälkeen muun muassa liikenne- ja viestintäministeriön tavoitteista. [1.]

Kaaviossa 1 on esitetty Suomen sähköautokannan kehitys vuodesta 2011 sekä arvio vuoden 2015 lopulle. Kaavion oikeassa reunassa on Maaliskuun 2015 tilanne.



Kuva 1 Suomen sähköautokanta 31.3.2015 [1.]

Gaia Consulting- yhtiön Teknoliateollisuudelle tekemässä ”Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset” – selvityksessä esitetään maltillinen ja tavoitteellinen kasvuskenaario sähköisen liikenteen kasvulle. Maltillisen kasvuskenaarion mukaan Suomeen ennustetaan 13 000 sähkökäyttöistä henkilöautoa vuoteen 2020 mennessä ja 210 000 sähkökäyttöistä henkilöautoa vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteellisen kasvuskenaarion mukaan vuonna 2030 sähköajoneuvojen osuus koko autokannasta olisi 15 prosenttia. [2, s. 6]

### 3 Kehitykseen vaikuttavat linjaukset ja määräykset

Sähköajoneuvokannan kasvua pyritään vauhdittamaan muun muassa ilmasto- ja liikennepolitiikalla. Lokakuussa 2014 Euroopan-neuvosto määritteli EU:n ilmastopolitiikan yleiset suunnat ja tavoitteet. Eurooppa-neuvosto sopi yhteisiksi tavoitteiksi vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä 40 %:lla vuoteen 2030 mennessä verrattuna 1990 tasoon. [3.]

EU:n tasolla sähköajoneuvokannan kasvua edistävänä politiikan perustana on Euroopan komission 28. maaliskuuta 2011 julkaistu liikennepolitiikan valkoinen kirja. Tavoitteena on vähentää liikenteen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä 60 % vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteen saavuttamisen yhtenä osana on tavallisten polttomoottoriajoneuvojen poistuminen käytöstä vuoteen 2050 mennessä. [4.]

Euroopan Unionille tehty ehdotus säädöksestä (European Commission COM(2013)), jonka tarkoituksena oli vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkaus- ja latauspisteiden takaaminen Euroopan laajuisesti sai hyväksynnän Euroopan parlamentissa 15.4.2014. Keskeisenä tavoitteena olivat tankkaus- ja latauspisteiden Euroopan Unionin laajuiset standardit. Uuden direktiivin myötä Euroopan Unionin jäsenvaltioiden on tarjottava vähimmäisinfrastruktuuri vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkaus- ja latausasemille. [5.]

Latausinfrastruktuurin rakentamiseen velvoittava direktiivi 8309/14 hyväksyttiin Euroopan Parlamentin istunnossa 14.–17.4.2014. Direktiivi asettaa Suomelle neljä keskeistä velvoitetta sähköautojen lataukseen:

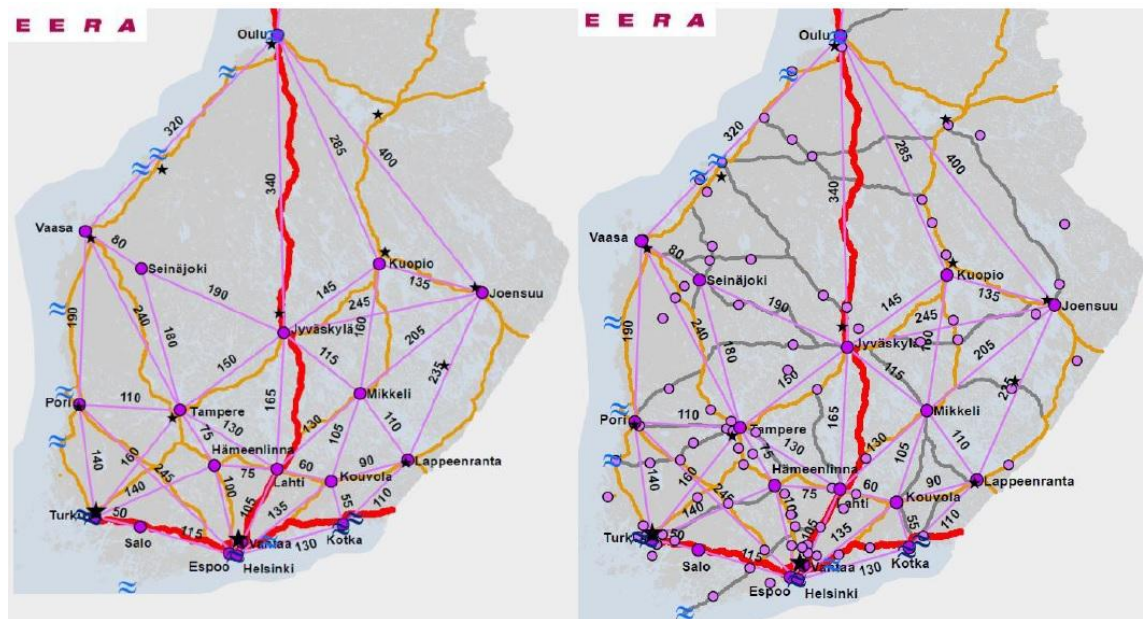
1. Rakentaa kattava latausverkosto vuoden 2020 loppuun mennessä
2. Laatia tätä silmälläpitäen suunnitelma kansalliseksi julkiseksi latausverkostoksi
3. Varmistaa latauksen mahdollistaminen nykyisissä ja uusissa kiinteistöissä
4. Kannustaa ja helpottaa yksityisen latauksen syntymistä



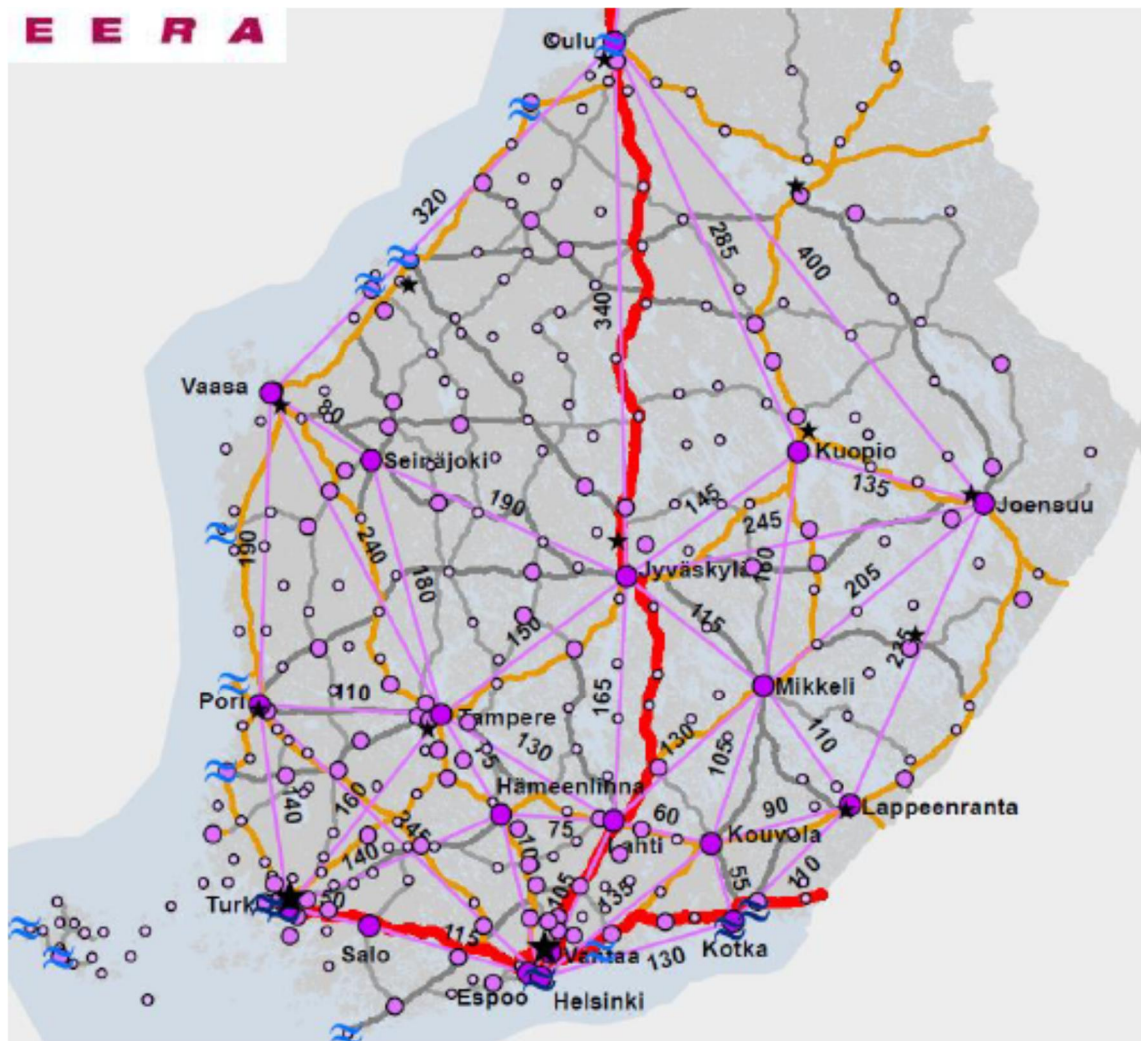
Vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden infrastruktuuridirektiivi 2014/94/EU julkaistiin EU:n virallisessa lehdessä 28.10.2014. Direktiivi edellyttää tankkausverkoston luomisen kaikkiin jäsenmaihin puhtaimmille liikenteen käyttövoimille eli uusiutuvalle sähkölle, vedylle ja metaanille. Jäsenmaiden on 18.11.2016 mennessä saatettava direktiivi osaksi kansallista lainsäädäntöä ja laadittava ja toimitettava kansallinen toimintakehys komissiolle, direktiivin sisällön toteuttamiseksi. [6.]

Latauspisteitä on asennettava asianmukainen määrä 31 päivään joulukuuta 2020 mennessä, jotta sähköajoneuvot voivat liikkua ainakin kaupunkitaajamissa, lähiöissä ja muilla tiheästi asutuilla alueilla ja tarvittaessa jäsenvaltioiden määrittämien verkkojen sisällä. Suomen kohdalla puhutaan noin 4000 julkisesta latauspisteestä. Latauspisteitä on asennettava erityisesti julkisen liikenteen asemille, kuten satamien matkustajaterminaaleihin, lentoasemille ja rautatieasemille. [6.]

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty miltä Suomen latausverkostosuunnitelma voisi näyttää. Kuvat on laatinut Eera Oy. Ensimmäisessä vaiheessa latausverkosto kattaisi 20 suurinta kaupunkia, toisessa vaiheessa latauspisteitä asennettaisiin kaikkiin yli 10 000 asukkaan kuntiin ja kaupunkeihin ja kolmannessa vaiheessa (kuva 2) latauspisteitä löytyisi jokaisesta kunnasta ja kaupungista. [7.]



Kuva 2 Suomen latausverkostosuunnitelman vaiheet yksi ja kaksi. [7.]



Kuva 3 Suomen latausverkostosuunnitelman kolmas vaihe. [7.]

## 4 Sähköajoneuvojen standardisointi

Sähköajoneuvojen yleistymisen ja laajan käyttöönoton kannalta kansainväliset standardit ovat tärkeässä roolissa. Tässä luvussa tutustutaan sähköajoneuvojen ja niiden lataukseen liittyvää standardisointityötä tekeviin organisaatioihin. Taulukossa 1 on esitetty standardointielimet eri tasoilla ja aihealueilla.

Taulukko 1 Standardointijärjestelmä [8].

|                | Sähkötekniikka | Televiestintä   | Yleinen        |
|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Kansainvälinen | IEC            | ITU             | ISO            |
|                | IEC-standardit | ITU-suositukset | ISO-standardit |

|                |                          |                                    |                       |
|----------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Eurooppalainen | CENELEC<br>EN-standardit | ETSI<br>EN-standardit              | CEN<br>EN-standardit  |
| Kansallinen    | SESKO<br>SFS-standardit  | VIESTINTÄVIRASTO<br>SFS-standardit | SFS<br>SFS-standardit |

Kansainväliset standardit ovat hyvin pitkälle eurooppalaisen ja kansallisen työn perusta, joten niiden valmistelu ja niihin vaikuttaminen on samanaikainen prosessi. Liitteessä 1 on esitetty kaaviona IEC-, EN- ja SFS-standardien valmistelu rinnakkaismenettelyllä. [8.]

#### 4.1 Kansainväliset organisaatiot

Kansainvälisellä tasolla sähköajoneuvojen ja niiden lataukseen liittyvän standardoinnin hoitaa useat eri ISO- ja IEC-komiteat. ISO (International Organization for Standardization) on kansainvälinen standardisointi järjestö joka hoitaa ajoneuvojen yleisen standardoinnin. IEC (International Electrotechnical Commission) on kansainvälinen sähköalan standardisointiorganisaatio joka laatii sähköajoneuvojen latausjärjestelmien sekä muiden lataukseen liittyvien sähköisten ja elektronisten komponenttien standardit. [8; 9.]

Sähköajoneuvojen lataukseen liittyvää standardointia hoitaa pääasiassa kolme eri IEC-komiteaa. Latausjärjestelmien standardointia hoitaa IEC TC 69 komitea, akkukennojen standardoinnista vastaa IEC TC 21 komitea ja pistokytkimien standardointia hoitaa IEC SC 23H komitea. Lisäksi on lukuisia komponenttikomiteoita jotka huolehtii ajoneuvoissa käytettävien sähköisten ja elektronisten komponenttien standardoinnin. [9.]

Ajoneuvojen yleistä standardointia hoitaa pääasiassa ISO TC 22. Lisäksi sähköajoneuvojen standardisoinnissa on otettava huomioon myös verkon haasteet, jotka verkkostandardeja hoitavien komiteoiden on otettava huomioon omassa työssään. [9.]

#### 4.2 Eurooppalaiset organisaatiot

Eurooppalaisella tasolla sähköajoneuvojen ja niiden lataukseen liittyvää standardisointia hoidetaan CEN- ja CENELEC-komiteoissa. CEN on eurooppalainen standardisoimisjärjestö joka hoitaa ajoneuvojen yleisen standardoinnin. CENELEC on eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö joka hoitaa sähköajoneuvojen lataukseen liittyvän standardoinnin. [9.]

Eurooppalaisella tasolla ajoneuvojen yleistä standardisointia hoidetaan komiteassa CEN TC 301. Sähköajoneuvojen lataukseen liittyvää standardisointia hoitaa CENELEC TC 69X komitea. CENELEC usein omaksuu IEC:n kansainväliset standardit eurooppalaisiksi EN-standardeiksi, jolloin samalla numerolla julkaistut IEC- ja EN-standardit ovat käytännössä sisällöltään samat. [9.]

### **4.3 Kansalliset organisaatiot**

Suomessa YTL ja SESKO ry seuraa ja osallistuu sähköajoneuvoja koskevaan kansainväliseen ja eurooppalaiseen standardisoimistyöhön. YTL seuraa ja osallistuu ISO TC 22 ja CEN TC 301 komiteoissa tapahtuvaan ajoneuvojen yleiseen standardointiin. SESKO ry on puolestaan Suomen sähköteknillinen standardoimisyhdistys, joka toimii Suomessa sähköteknisen alan standardointijärjestönä. SESKO seuraa ja vaikuttaa IEC:n ja CENELEC:in sähköajoneuvojen lataukseen liittyvään standardisoimistyöhön komiteassa SK 69. Komitea osallistuu kansainväliseen ja eurooppalaiseen yhteistyöhön Suomen edustajana sekä saattaa CENELEC:in ja IEC:n työn tulokset kansallisiksi SFS-standardeiksi. Kansallisiksi SFS-standardeiksi hyväksytyt CENELEC:in standardit tunnistaa etuliitteestä SFS-EN. [8.]

## **5 Sähköajoneuvojen lataus ja sitä koskevat standardit**

Tässä luvussa käsitellään sähköajoneuvojen latausta ja sitä koskevia standardeja. Käydään läpi sähköajoneuvojen standardisoituja lataustapoja, latausliitäntöjä, latausjärjestelmiä sekä sähköturvallisuutta verkon puolella.

## 5.1 Lataustekniikat

Tällä hetkellä on määritelty neljä erilaista sähköajoneuvojen lataustapaa, joiden yleiset vaatimukset ja ominaisuudet on määritelty kansainvälisessä standardissa IEC 61851-1, joka on myös vahvistettu eurooppalaiseksi standardiksi EN 61851-1 että kansalliseksi SFS 6000-7-722 standardiksi.

Lataustapa yksi on tarkoitettu lähinnä kevyiden sähköajoneuvojen syöttämiseen. Lataaminen tapahtuu tavallisesta yksivaiheisesta kotitalouspistorasiasta tai normaalista standardisoidusta kolmivaiheisesta pistorasiasta käyttäen enintään 16 ampeerin vaihevirtaa. [10.]

Lataustapa kaksi on tarkoitettu sähköajoneuvojen tilapäiseen tai rajoitettuun lataamiseen tavallisesta yksivaiheisesta kotitalouspistorasiasta tai normaalista standardisoidusta kolmivaiheisesta pistorasiasta käyttäen enintään 32 ampeerin vaihevirtaa. Lisäksi on käytettävä ohjaustoimintoja sekä henkilösuojana vikavirtasuojaa, joka on sijoitettu pistotulpan ja sähköajoneuvon väliin tai liitäntäkaapelin osana olevaan koteloon [10]. Ohjaustoiminnolla tarkoitetaan, että sähköajoneuvon ottama pitkäaikainen latausvirta on rajoitettu riittävän pieneksi, esimerkiksi 8 ampeeria. Sillä esimerkiksi autojen esilämmityspistorasioiden johtimia ja sulakkeita ei ole mitoitettu 16 A:n jatkuvalla kuormitukselle [11].

Lataustapa kolme on suunniteltu erityisesti sähköajoneuvojen lataamiseen. Lataustapa vaatii erityisen syötön ja latauslaitteet, jotka sisältävät ohjaus- ja tiedonsiirtopiirit. Ohjaus- ja valvontatoiminnot on sijaittava kiinteästi vaihtosähköverkkoon liitetyssä sähköajoneuvon latausjärjestelmässä. Latausvirran suuruus on syöttöverkon mitoitukselta riippuen 16, 32 tai 63 A. [10.]

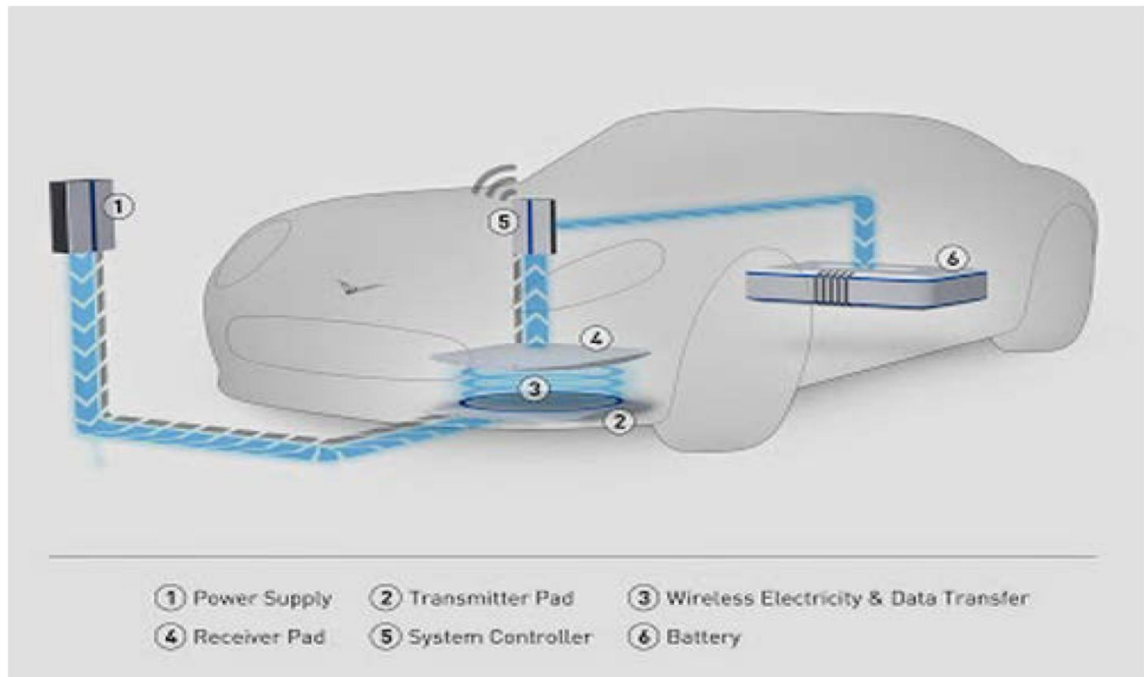
Lataustapa neljä on suunniteltu sähköajoneuvojen pikalataukseen tasasähköllä. Lataus tapahtuu käyttäen ajoneuvon ulkopuolista laturia, jossa ohjaus- ja valvontatoiminnot sijaitsevat kiinteästi vaihtosähköverkkoon liitetyissä laitteissa. Kyseisellä lataustavalla latausasema syöttää tasasähköä suoraan auton akkuun joten se vaatii tiedonsiirtotekniikkaa, jonka perusteella latausvirta säädetään akuille sopivaksi. Latausteho voi vaihdella kymmenistä aina satoihin kilowatteihin. [10.]

### 5.1.1 Langaton lataus

Langaton eli induktiivinen lataustapa on tulevaisuudessa vaihtoehto hitaalle matalatehoiselle lataukselle. Langattomia latausjärjestelmiä testataan ja kehitetään parhaillaan. Prototyyppien testeissä hyötysuhteet ovat olleet parhaillaan vain muutaman prosenttiyksikön matalampia kuin vastaavien langallisten latureiden. On odotettavaa että langaton lataus kehittyy huomattavasti muutaman vuoden sisällä. Vaikka induktiivisen latauksen standardisointityö on varhaisessa vaiheessa niin siitä huolimatta useat auton valmistajat, kuten BMW, Mercedes-Benz ja Volvo ovat jo ilmoittaneet tuovansa markkinoille langattomasti latautuvia ajoneuvoja. Kansainvälinen standardi IEC 61851-1 on parhaillaan työn alla. [12.]

Induktiolatauksen toiminta pohjautuu yhteen fysiikan perusilmiöistä; sähkömagneettiseen induktioon, jossa muuttuva sähkökenttä synnyttää muuttuvan magneettikentän ja muuttuva magneettikenttä synnyttää muuttuvan sähkökentän. Sähkömagneettinen induktio mahdollistaa energian siirtämisen lyhyen matkaa ilmassa ts. induktiivisen kytkennän välityksellä, ilmiötä kutsutaan keskinäisinduktioksi.

Sähköajoneuvon langaton lataus perustuu siis kahden käämin, ensiön ja toisin keskinäisinduktioon. Ensiökäämi sijaitsee laturissa ja toisiokäämi ladattavassa ajoneuvossa. Ensiökäämiin muodostetaan muuttuva sähkökenttä eli syötetään vaihtovirtaa, jolloin sen ympärille syntyy muuttuva magneettikenttä. Muuttuva magneettikenttä ulottuu toisiokäämin läpi jolloin siihen alkaa indusoitua jännitettä eli syntyy muuttuva sähkökenttä. Indusoitunut jännite käytetään akuston lataamiseen. Induktiojännitteen suuruus riippuu johdinsilmukan kierrosten lukumäärästä sekä magneettivuon muutosnopeudesta. Kuvassa 4 on esitetty periaate induktiolatauksesta. [13, s.10]



Kuva 4 Induktiivinen lataus. [13, s.10]

Edellä mainittujen lataustapojen lisäksi sähköajoneuvojen lataus voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään sen ajallisen keston mukaan; hitaaseen, puolinopeaan sekä pikalataukseen. Hitaalla latauksella tarkoitetaan yksivaiheista latausta 10–16 A vaihevirralla. Tällöin maksimilatausteho on 2,3–3,6 kW. Puolinopealla latauksella tarkoitetaan tyypillisesti kolmivaiheista latausta 16–32 A vaihevirralla, joka mahdollistaa 11–22 kW maksimilataustehon. Sähköajoneuvoissa on monesti vaihtokytkin jolla voidaan valita käytetäänkö yksi- vai kolmivaiheista lataustapaa. Pikalatauksella tarkoitetaan ajoneuvon latausta suoraan tasasähköllä ajoneuvon ulkopuolella sijaitsevalla erillisellä laturilla. Näin ollen lataustehon määrittää latausaseman laturin teho, joka tyypillisesti on 20 kW, 50 kW tai jopa 100 kW. Lataustehot laskettiin hitaalle yksivaiheiselle lataukselle kaavalla 1 ja puolinopealle kolmivaiheiselle lataukselle kaavalla 2. [14, s.51]

$$P = U * I \quad (1)$$

$$P = \sqrt{3} * U * I \quad (2)$$

jossa       $P$  = Latausteho  
                $U$  = Latausjännite  
                $I$  = Latausvirta

## 5.2 Latausliitännät

Sähköajoneuvon lataukseen käytettävän pistokekytkimen rakenne- ja testivaatimuksia määritellään tyypeittäin standardissa IEC 62196, joka on vahvistettu myös eurooppalaiseksi EN 62196 standardiksi. Standardi on kolmiosainen, jonka ensimmäisessä osassa määritellään latauspistokekytkimien yleiset turvallisuusvaatimukset. Toinen osa määrittelee vaihtovirtalatauksen pistokekytkimien rakenne – ja testivaatimuksia. Kolmas osa määrittelee latauspistoketyypit tasavirtalataukselle sekä AC-DC- latauksen kombinaatioille.

Vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden infrastruktuuridirektiivin (2014/94/EU) mukaan vaihtovirtalatauspisteet on varustettava vähintään standardissa EN 62196-2 määrittelemällä pistoketyypin kaksi pistorasioilla yhteen toimivuuden varmistamiseksi. Pistorasiat voidaan varustaa lisäominaisuuksilla, kunhan yhteensopivuus pistoketyypin kaksi kanssa säilyy. Tasavirtalatauspisteet on direktiivin mukaan varustettava vähintään standardissa EN 62196-3 määrittelemällä CCS Combo 2 pistoketyypin kanssa yhteensopivalla pistorasiolla. [6, s.20]

### 5.2.1 AC-latauspistoketyypit

Standardissa IEC 62196-2 on määritelty kolme pistoketyyppeä sähköajoneuvojen vaihtovirtalataukseen. Tyypin yksi latauspistoke on tarkoitettu yksivaiheiseen enintään 32 A latausvirralla tapahtuvaan lataukseen. Pistoke on japanilaisen Yazakin suunnittelema ja valmistama, jonka amerikkalainen autoalan standardisointijärjestö SAE on standardisoinut tyyppinimelle J1772. Tyypin yksi latauspistoke onkin useimmissa japanilaisissa ja yhdysvaltalaisissa sähköajoneuvoissa. Kuvassa 5 on esitetty tyypin yksi latauspistoke. Kuten kuvasta voi havaita sisältää se vaihe-, nolla- ja maahohtimen lisäksi kaksi kommunikointisignaali johdinta jotka mahdollistavat lataus tapa kolmen mukaiset ohjaus- ja valvontatoiminnot. Tyypin 1 latauspistoke on aina yksivaiheinen ja suurin mahdollinen latausvirta on 32 A. [15.]





Kuva 5 Tyypin yksi latauspistoke.

Tyypin kaksi latauspistoke on saksalaisen Mennekesin valmistama pistoketyyppi, joka on valittu sähköautojen yhteiseksi latausliitännäksi koko Euroopassa. Kyseinen pistoketyyppi soveltuu sekä yksi- että kolmivaiheiselle enintään 63 A latausvirralla tapahtuvaan lataukseen, jolloin latausteho on enimmillään noin 43 kW. Pistoke sisältää kolme vaihejohtinta, nolla- ja maajohtimen sekä lisäksi kaksi johtinta ohjaus- ja valvontatoimintoja varten. Kyseinen pistoke ja pistorasia on esitetty kuvassa 6. [15.]



Kuva 6 Tyypin kaksi latauspistoke ja pistorasia. [17.]

Tyypin kolme latauspistoke on Ranskalaisen EV Plug Alliansin kehittämä SCAME-liitin lataustavan kolmen mukaiselle lataukselle. Kyseinen pistoke soveltuu 16–32 A:n yksivaiheiselle ja enintään 32 A:n kolmivaiheiselle latausvirralle. Kyseistä pistoketta, joka on esitetty kuvassa 7, käytetään kuitenkin vain harvoissa maissa. [15.]



Kuva 7 Tyypin kolme latauspistoke ja pistorasia. [18.]

### 5.2.2 DC-latauspistoketyypit

Standardissa IEC 62196-3 on määritelty tasavirtalatauksen sekä tasa- ja vaihtovirta kombinaation latauspistokkeet. Sähköajoneuvojen tasavirtalataukselle on käytössä kolme erilaista latauspistoke tyyppiä.

Japanilaisvalmisteisissa sähköautoissa käytetään CHAdeMO-latauspistoketta tasavirtalataukseen. Kuvassa 8 on esitetty japanilaisvalmisteisen sähköauton latausliitännät, kuvassa vasemmalla on CHAdeMO-latausliitäntä ja oikealla tyypin yksi latausliitäntä. Yhdysvaltalaisissa ja Eurooppalaisissa sähköautoissa käytetään kombinaatiopistokkeita, jotka mahdollistavat tasa- että vaihtovirta latauksen. Kuvassa 9 on esitetty Yhdysvalloissa ja Euroopassa käytettävät CCS Combo 1 ja Combo 2 latauspistokkeet, joista Combo 1 käy-

tetään Yhdysvalloissa ja Combo 2 Euroopassa. [16.] Kuten aiemmin mainittiin, Euroopassa tullaan käyttämään tasavirtalatauksessa CCS Combo 2 latausliitintä, CHAdeMO-latauspistoketta voidaan käyttää rinnalla siirtymäkauden ajan vuoteen 2017 asti.



Kuva 8 Japanilaisvalmisteisen auton latausliitännät



Kuva 9 Alhaalla CCS Combo2 ja Combo1 ja ylhäällä tyyppin 2 ja tyyppin 1 pistokkeet. [19.]

Kuten kuvasta 9 voi havaita, on vaihtovirtalatausliittimeen menevästä pistokkeesta käytössä vain kommunikaatio- ja maadoitusnastat. Tämä mahdollistaa sen, että yhdellä latausliittimellä voidaan ladata sekä vaihto- että tasavirralla. Tasavirralla lataus tapahtuu Combo2 latauspistoketta käyttäen ja vaihtovirralla ladatessa käytetään tyyppin kaksi, eli Mennekes-latauspistoketta.

### **5.3 Sähköturvallisuus verkon puolella**

Sähköasennusten turvallisuutta koskeva velvoittava määräysjulkaisu on kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999). Kyseinen päätös ei anna yksityiskohtaisia teknisiä määräyksiä vaan se sisältää periaatteen, jonka mukaan päätöksen vaatimukset täyttyvät kun noudatetaan aihetta koskevia standardeja. [20.]

Sähköajoneuvojen latausjärjestelmien asennuksia koskevia standardeja on standardisarjassa SFS 6000. SFS 6000 on pienjännitesähköasennuksia koskeva standardisarja, joka koskee sähköasennuksia joiden nimellisjännite on korkeintaan 1000 V vaihtojännitettä tai 1500 V tasajännitettä. Osat koskevat muun muassa johtojärjestelmiä, kytkentää, ohjausta, maadoittamista, suojajohtimia, jakokeskuksia ja kaapelointia. [21.]

SFS 6000 standardin osassa 7-722 on käsitelty sähköajoneuvojen syöttöä koskevia vaatimuksia. Standardia sovelletaan piireihin joita käytetään sähköajoneuvojen lataukseen ja suojaukseen silloin, kun sähköä syötetään sähköajoneuvoista takaisin yksityiseen tai yleiseen jakeluverkkoon. Induktiivinen lataus ei kuulu kyseisen standardin soveltamisalaan. [10.]

### **5.4 Standardisoinnin kehitys**

Sähköturvallisuutta koskeva SFS 6002-standardi uudistuu ja ottaa autoalan huomioon. Standardiin on tullut uutena lisäyksenä autoalalle oma liitteensä johon on koottu sähkö-

ja hybridiajoneuvoja koskevia turvallisuuslinjauksia. Olennaisin muutos on, että kaikilta ajoneuvoa korjaavilta henkilöiltä vaaditaan standardin SFS-6002 mukainen sähkötyöturvallisuuskoulutus soveltuvin osin. Muille korjaamohallissa työskenteleville riittää perehdytys sähkön vaaroihin ja toimintaan onnettomuustilanteessa. Aikaisemmin riitti, että vain korkeajännitejärjestelmän parissa työskentelevät mekaanikot suorittivat SFS-6002-koulutuksen. Myös ensiapuvaatimusta on tiukennettu. Ehdotuksen mukaan kaikille sähkötöihin osallistuville sähköalan ammattihenkilöille työnjohdon ja käytönjohdon henkilöt mukaan luettuna sekä näissä töissä avustamaan opastetuille henkilöille pitää antaa ensiapukoulutus. [22.]

Myös sähköturvallisuuslakia uudistetaan. Autosähköalan ammattihenkilöltä vaaditaan jokin seuraavista

- Auto- tai sähköalan soveltuva perustutkinto ja 2 vuotta työkokemusta autosähköalan töistä sekä hyväksytysti suoritettu korkeajännitekoulutus.
- Auto- tai sähköalan soveltuva ammatti-, erikoisammatti- tai korkeakoulututkinto ja 1 vuosi työkokemusta autosähköalan töistä sekä hyväksytysti suoritettu korkeajännitekoulutus.
- 6 vuotta työkokemusta autosähköalan töistä ja hyväksytysti suoritettu korkeajännitekoulutus.

Sähköautopätevyyteen vaaditaan edellä mainittu ammattihenkilöstatus ja hyväksytysti suoritettu autoalan sähköturvallisuustutkinto. [22.]

## **6 Sähköajoneuvon latauksen verkkovaikutukset**

Sähköajoneuvojen yleistymisen lisää sähköverkon kuormitusta ja sähköenergian tarvetta. Latauksen aiheuttamat vaikutukset ovat erilaisia tarkasteltaessa verkon eri osia [23, s. 83]. Suomessa kantaverkon siirtokapasiteetin kannalta ongelmia ei pitäisi syntyä, vaikka sähköajoneuvokanta kasvaisi huomattavasti. Suurimmat vaikutukset kohdistuvat pääasialli-

sesti pien- ja keskijänniteverkoille, sillä voidaan olettaa, että suurin osa latauksista tapahtuu hitaalla latauksella kotona ja työpaikkojen parkkipaikoilla. Tässä luvussa tarkastellaan sähköajoneuvojen latauksesta syntyviä verkkovaikutuksia yleisellä tasolla.

Sähkön laatua tarkastellessa verkossa esiintyvät ilmiöt voidaan jakaa yleisesti yksittäisiin ja jatkuviin tapahtumiin. Yksittäisiä tapahtumia voivat olla muun muassa keskeytykset, jännitekuopat ja hetkelliset ylijännitteet, kun taas jatkuvia tapahtumia voivat olla jännitteen ja taajuuden vaihtelut, välkyntä, jännite-epäsymmetria sekä harmoniset yliaallot. Osa näistä ilmiöistä aiheutuu syöttävästä sähköverkosta, mutta osa voi aiheutua kuluttajan oman toiminnan seurauksena [24, s.23]. Sähköautojen lataus lisää varsinkin kuluttajapuolelta aiheutuvia ilmiöitä. Latauksen seurauksena sähköverkossa voi esiintyä esimerkiksi yliaaltoja, jännite-epäsymmetriaa tai välkyntää. Lisäksi on odotettavaa että sähköajoneuvojen lataaminen keskittyy paikallisesti suuriin määriin jonka seurauksena verkossa voi esiintyä jännitetasojen vaihteluja.

Jakelujännitteen laatu on tärkein sähkön laatua kuvaava tekijä. Standardi SFS-EN 50160 käsittelee jakelujännitteen ominaisuuksia ja laatutekijöitä sähkökäyttäjän liittämiskohdassa. Standardi määrittelee seuraavat jakelujännitteen ominaisuudet:

- taajuus
- suuruus
- aaltomuoto
- kolmivaiheisen jännitteen symmetrisuus. [25.]

Normaalitilanteessa Suomessa verkkojännite ja – virta ovat 50 Hz:n nimellistaajuudella värähtelevää siniaaltoa. Normaaleissa käyttöolosuhteissa taajuuden tulee olla yhteiskäyttöverkoissa  $50 \text{ Hz} \pm 1\%$  99,5 % vuodesta ja  $50 \text{ Hz} +4\%/-6\%$  100% ajasta. [25.]

Harmonisilla yliaalloilla tarkoitetaan jännitteen tai virran perustaajuuden kokonaisluvullisia kerrannaisia, jotka summautuvat verkkotaajuuden päälle. Verkossa voi esiintyä myös epäharmonisia yliaaltoja, jotka eivät ole perustaajuuden kerrannaisia. Jännitteen tai virran yliaaltosisältöä voidaan arvioida kokonaissärökertoimella THD, joka voidaan laskea jännitteelle seuraavasti:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} \quad (3)$$

missä  $h$  on yliaallon järjestysluku ja  $U$  on yliaaltojännitteen amplitudin suhde jännitteen perusaaltoon. Standardissa harmonisien yliaaltojännitteiden kymmenen minuutin keskimääräisille tehollisarvoille on asetettu rajat. Lisäksi kokonaissärökertoimen tulee olla kaikkien yliaaltojen osalta enintään 8 %. Kokonaissärökerroin voidaan laskea vastaavasti myös virralle. [26; 28]

Harmonisia yliaaltoja aiheuttavat muun muassa verkkoon liitetyt epälineaarisen kuorman aiheuttavat laitteet, joiden virran sinimuoto on särkynyt. Säröytynyt virta aiheuttaa yliaaltoimpedanssissa jännitteen säröytymisen. Yliaaltojännitteet aiheuttavat muun muassa verkkohäviöiden kasvua, muuntajien ja nollajohtimien ylikuormittumista. [26; 27]. Sähköajoneuvojen latauksessa harmonisia yliaaltoja tuottavat lataamiseen käytettävät laturit.

Taajuudet voivat kulkea eri vaihesiirtokulmissa toisiinsa nähden jolloin ne joko vahvistavat tai kumoavat muita yliaaltoja. Kolmannen asteen yliaallot eivät kolmivaihejärjestelmässä kumoudu vaan ne summautuvat nollajohtimeen, jolloin vaarana on nollajohtimen ylikuormittuminen [27]. Huonosti mitoitettun nollajohtimen ylikuormittuminen aiheuttaa tulipalon vaaran. Ongelmia voi syntyä erityisesti vanhoissa kiinteistöissä joissa nollajohtinta ei ole mitoitettu kestävästi suuria virtoja. Kolmatta yliaaltoja tuottavat eniten epälineaariset yksivaiheiset kuormat [27]. Kolmannen asteen yliaalto voidaan suodattaa pois verkosta, nollajohtimeen sijoitettavalla reaktorin ja kondensaattorin rinnankytkennällä, joka muodostaa suuren vastuksen 150 Hz:n taajuiselle virralle [27].

Suomessa pienjänniteverkon nimellisjännitteeksi  $U_n$  on määritelty SFS-EN 50160 – standardissa 230 V vaihe- ja nollajohtimen välillä. Standardissa on määritelty vaatimukset jännitetason vaihteluille. Normaaleissa olosuhteissa jokaisen viikon aikana 95 % pienjännitteisen jakelujännitteen tehollisarvojen kymmenen minuutin keskiarvoista tulee olla välillä  $U_n \pm 10 \%$ . Lisäksi kaikkien tehollisarvojen tulee olla välillä  $U_n + 10 \% / - 15 \%$ . [25.]

Jännitetason muutokset luokitellaan hitaisiin ja nopeisiin vaihteluihin. Hitailta vaihteluilla tarkoitetaan jännitteen tehollisarvon nousemista tai laskemista esimerkiksi kokonaiskuormituksen muutoksen vuoksi [28]. Sähköajoneuvoa ladattaessa laturin verkosta ottama virta saa aikaan jännitteenalenemaa eri verkkokomponenttien yli.

Nopealla jännitteenmuutoksella tarkoitetaan jännitteen tehollisarvon nopeaa muutosta tasolta toiselle alle tai korkeintaan 10 % nimellisjännitteestä. Nopea jännitteenmuutos ei kuitenkaan pääsääntöisesti ylitä arvoa 5 % nimellisjännitteestä. Nopeat jännitteenmuutokset syntyvät pääasiassa sähkökäyttäjän verkossa tapahtuvien kuormitusmuutoksien seurauksena. Toistuvat nopeat jännitemuutokset aiheuttavat valolähteiden hetkellisiä kirkkauden muutoksia, jotka ovat havaittavissa välkyntänä. Välkyntän häiritsevyyttä kuvataan häiritsevyyksindeksillä, joka riippuu jännitevaihtelun suuruudesta, esiintymistiheydestä ja kestoajasta. Standardissa SFS-EN 50160 on määritelty rajat pitkäaikaiselle häiritsevyyksindeksille. [25.]

Jännite-epäsymmetrialla tarkoitetaan tilannetta kolmivaihejärjestelmässä, jossa vaihejännitteiden tehollisarvot tai niiden väliset kulmat eivät ole yhtä suuret. Epäsymmetriaa kuvataan epäsymmetriakertoimella, joka on vastakomponentin tai nollakomponentin suhde myötä komponenttiin. Kolmivaihejärjestelmässä epätasaisesti vaiheiden välille jaetut yksivaiheiset kuormat aiheuttavat jännite-epäsymmetriaa. [25.]

Sähköajoneuvojen latauksessa hidas yksivaiheinen lataus tulee luultavasti olemaan yksi yleisimpiä lataustapoja. Tämä voi aiheuttaa jännite-epäsymmetriaa, mikäli vaiheiden ryhmittelyyn ei kiinnitetä erityistä huomiota, esimerkiksi vanhoissa rakennuksissa. Autolämpöpistorasioiden osalta ongelmaa tuskin syntyy sillä ne on ryhmitelty tasaisesti eri vaiheille. Jännite-epäsymmetrisuus voi esimerkiksi aiheuttaa lisähäviöitä verkossa.

## **7 Sähköajoneuvot osana energiajärjestelmää**

### **7.1 Sähköajoneuvojen energian tarve**



Sähköajoneuvot kuluttavat noin 0,15–0,30 kWh/km riippuen muun muassa ajonopeuksista, olosuhteista, ajoneuvon massasta ja aerodynamiikasta [29, s.31]. Jos oletetaan keskimääräiseksi kulutukseksi 0,2 kWh/km ja ajokilometreiksi esimerkiksi 18 800 km/v, tällöin vuosikulutus olisi keskimäärin 3760 kWh/v. Liikenteen turvallisuusviraston laatimien ajoneuvotilastojen mukaan vuoden 2015 lopussa Suomessa oli 2 612 922 tieliikennekäyttöistä henkilöautoa ja 307 706 pakettiautoa [30].

Mikäli vuona 2030 henkilö- ja pakettiautoista 15 prosenttia olisi sähkökäyttöisiä eli noin 440 000 sähköajoneuvoa, kuluttaisivat ne noin 1,6 TWh/v. Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2015 sähkönkulutus suomessa oli 82,5 TWh/v [31]. Tällöin sähköajoneuvojen 15 prosentin osuus autokannasta lisäisi kokonaisenergianmäärää vain 1,9 %, jolla ei kovinkaan suurta merkitystä olisi. Mikäli kaikki liikenteessä olevat 2,62 miljoonaa autoa olisi sähkökäyttöisiä, lisäisivät ne kokonaisenergiankulutusta noin 9,8 TWh/v eli noin 12 %, mikä olisi merkittävä lisäys, sillä se tarkoittaisi kulutuksen lisäystä melkein yhden Olkiluoto 3-ydinvoimalan tuotantokapasiteetin verran [32].

## 7.2 Sähköjärjestelmän toiminta

Suomessa sähköjärjestelmän taajuus on 50 Hz, tämä taajuus kuvaa tuotannon ja kulutuksen tehotasapainoa. Sähköjärjestelmässä täytyy jatkuvasti ylläpitää valtakunnallista tehotasapainoa. Tehotasapainoa ylläpidetään taajuusohjatuilla reserveillä, joka on taajuuden muutoksista automaattisesti aktivoituvaa tehoa. Kyseistä säätöä kutsutaan primäärisäädöksi, jolla Suomessa säädetään 0,1 hertsin poikkeamat. Tätä suuremmat poikkeamat säädetään manuaalisesti säätösähkömarkkinoilla. Valtakunnallista tehotasapainoa ylläpidetään myös tunnin aikaista sähkökauppaa käymällä Ruotsin ja Norjan taseyksiköiden kanssa. Tuntitason sähkömarkkinat koostuvat Nord Pool ASAn ElSpot ja ElBas-sähköpörssiä sekä kahdenkeskeisistä OTC kaupoista. Lisäksi häiriötilanteita varten on erikseen nopeaa häiriöreserviä, siltä varalta jos säätösähkömarkkinoilta loppuvat tarjoukset tai niitä ei saada riittävän ajoissa käyttöön. [29.]

Sähköajoneuvojen lisääntyminen on sähköverkon kannalta mahdollisuus. Sähköajoneuvojen älykkäästi ohjautuva lataus voisi tuoda sähköverkkoon edullista säätösähköä. Esi-

merkiksi tuulivoiman lisääntyessä säätösähkön tarve kasvaa ja näitä kustannuksia voitaisiin alentaa nykyistä edullisemmalla säätösähköllä. Häiriöreserviä saataisiin järjestelmällä jossa sähköajoneuvojen lataus keskeytettäisiin kun verkkoon syntyy mahdollinen häiriötilanne. Ladattavia sähköajoneuvoja voisi käyttää myös tunninsisäiseen säätöön. Lisäksi jos sähköajoneuvojen latausta ajoitettaisiin ajankohtiin jolloin sähköverkon kuormitus on alhaisempi ja edullisempaa sähköä on tarjolla, tällöin ajoneuvonkäyttäjät hyötyisi alhaisempien energia- ja siirtohintojen kautta, mikäli hänellä on käytössään aikapohjainen hinnoittelu.

## **8 Latausaseman suojalaitteiden ja syöttökaapelin mitoitus**

Tässä luvussa mitoitetaan suojalaitteet ja syöttökaapeli lataustavan 3 eli ns. puolinopealle latausasemalle esimerkkitapauksen avulla. Kyseessä on kuvitteellinen tilanne, jossa latausasema sijaitsee lämpöeristetyssä autotallissa. Syöttävä keskus sijaitsee autotallin ulkoseinällä kylmällä puolella, joten läpivienti täytyy tehdä lämpöeristeen läpi. Lämpöeristeen paksuus on 200 mm. Kaapeli asennetaan seinälle siten, että kaapelin ja pinnan väli on pienempi kuin 0,3 kertaa kaapelin halkaisija. Esimerkkitalauksessa käytetään Garo LS-3EV 7,4 kW latausasemaa (kuva 10). Kyseinen latausasema on varustettu kahdella tyypin 1 latauspistokkeella. Koska kyseessä on tyypin 1 latauspistokkeet, tapahtuu lataus yhdellä vaiheella per pistoke. Kyseisen latausaseman latausteho on  $2 \cdot 7,4$  kW joten sillä pystyy lataamaan kahta sähköautoa 32 A latausvirralla. Käyttäjäkokemusten mukaan lataus kestää noin 4 tuntia.



Kuva 10 Garo LS-3EV latausasema.

SFS 6000 osa 7-722 määrittelee, että jokainen latauspistettä syöttävä piiri on suojattava erikseen ylivirtasuojalla. Ylivirtasuojaus jakaantuu kahteen osaan: ylikuormitus- ja oikosulkusuojiin. Suojaus voidaan toteuttaa yhdellä suojalaitteella, jos suojalaite täyttää ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen vaatimukset ja sen katkaisukyky on vähintään yhtä suuri kuin suojalaitteen asennuskohdassa esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta, suojalaitteen katsotaan suojaavan myös kuormituspuolen oikosulkuvirralla [10]. Tässä tapauksessa suojalaitteena käytetään gG-tyyppin sulakkeilla varustettuja varokkeita.

Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (4)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (5)$$

jossa  $I_B$  = piirin suunniteltu virta  
 $I_n$  = suojalaitteen mitoitusvirta  
 $I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus  
 $I_2$  = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa [33].

Sulakkeilla virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitussuojan mitoituksessa on käytettävä kaavaa 6 [34, s.133].

$$k * I_n \leq 1,45 * I_z \quad (6)$$

jossa  $k$  = sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Talukossa 2 on esitetty gG-tyyppin sulakkeille eri virta-arvojen ominaiset k-arvot.

Taulukko 2 gG-tyyppin sulakkeet [34, s.133].

| <b>k</b>   | <b><math>I_n</math></b>          | <b><math>I_n</math></b> |
|------------|----------------------------------|-------------------------|
| <b>2,1</b> | $\leq 4 \text{ A}$               | $\leq 0,69 I_z$         |
| <b>1,9</b> | $4 \text{ A} < I_n < 16\text{A}$ | $\leq 0,76 I_z$         |
| <b>1,6</b> | $> 16\text{A}$                   | $\leq 0,90 I_z$         |

Lisäksi johtimen kuormitettavuutta määrittäessä on otettava huomioon ulkoinen lämpötila, ryhmitys, kotelointi yms. olosuhteet, jotka vaikuttavat kuormitettavuuteen.

$$I_z = I_t C_1 C_2 C_3 \dots \quad (7)$$

jossa  $I_t$  = taulukossa esitetty johtimen kuormitettavuus yhdelle virtapiirille standardin mukaisessa asennusolosuhteessa

$C_1, C_2$  jne = korjauskertoimia, joilla otetaan huomioon asennusolosuhteet [34, s.257].

Mitoitus aloitetaan laskemalla piirin suunnittelu virta  $I_B$ , joka lasketaan kulutuslaitteen tehon perusteella. Koska kyseessä on latausasema ja latausvirta on tiedossa, voidaan latausvirtaa käyttää piirin suunnittelu virtana. Seuraavaksi valitaan suojalaite kaavan 4 ehtojen mukaisesti, tässä tapauksessa gG-tyypin sulake, jonka mitoitusvirta on suurempi tai yhtä suuri kuin latausaseman latausvirta. Valitaan 32 A gG-tyypin sulake jolloin johtimien kuormitettavuuden tulee olla vähintään 35 A [33, s.258].

Asennus- ja ympäristöolosuhteista johtuen johtimien jatkuvaa kuormitettavuutta täytyy laskea korjauskertoimilla. SFS 6000 osa 5-52 määrittää, mikäli kaapeli on alle 0,5 metrin matkalla ympäröity lämpöeristeellä, kaapelin kuormitettavuutta täytyy pienentää. SFS 6000 taulukossa 52.X, saadaan 200 mm paksuisen lämpöeristeen läpäisylle korjauskertoimeksi 0,68 [33, s.223]. Standardi määrittää myös korjauskertoimet muille kuin 25 °C ympäristön lämpötiloille [33, s.252]. Voidaan olettaa, että ympäristön lämpötila ei nouse yli 35 celsiusasteen, jolloin korjauskertoimeksi saadaan 0,88. Seuraavaksi lasketaan johtimien todellinen vähimmäiskuormitettavuus asennusolosuhteissa.

$$I_Z = \frac{I_N}{C_1 C_2 C_3 \dots} = \frac{35 \text{ A}}{0,68 * 0,88} = 58,49 \text{ A} \quad (8)$$

SFS 6000 taulukosta B.52.1 nähdään että kyseessä on asennustapa C, jolloin kaapelin kuormitettavuuden saa taulukosta B.52.2 [33, s. 244–245]. Valinta taulukosta saadaan kaapelin poikkipinnaksi 10 mm<sup>2</sup> kupari, jonka kuormitettavuus on 60 A.

Keskuksen oikosulkuvirtaa ei tiedetä joten oletetaan että se on vähintään 250 A. Nimellisvirraltaan 32 ampeerin gG-sulakkeen pienin toimintavirta 0,4 sekunnin poiskytkentäajalla on 270 A, joten oikosulkusuojaus ehdot ei täyty. SFS 6000 standardi määrittelee, että 5 sekunnin poiskytkentä aika on sallittu pääjohdoille ja piireille, jotka on suojattu yli 32 A ylivirtasuojilla [34, s.93]. Oikosulkusuojaus ehtojen täyttämiseksi ylikuormitusuoja vaihdetaan yhtä pykälää suuremmaksi eli 35 A gG-sulakkeeksi, jolloin johtimien kuormitettavuuden tulee olla vähintään 39 A. Lasketaan valitun 10 mm<sup>2</sup> kupari johtimen kuormitettavuus kyseisissä asennusolosuhteissa:

$$I_Z = I_t C_1 C_2 = 60 \text{ A} * 0,68 * 0,88 = 35,90 \text{ A} \quad (9)$$

Tarkistetaan ylikuormitussuojan ehtojen täytyminen:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 32 \text{ A} \leq 39 \text{ A} \leq 35,90 \text{ A}$$

35,90 A < 39 A joten kuormitettavuus ehto ei täyty. Vaihetaan johtimen poikkipinta pykälällä ylöspäin eli 16 mm<sup>2</sup> kupariin jonka kuormitettavuus kyseisellä asennustavalla on 80 A. Lasketaan johtimen kuormitettavuus ja tarkistetaan ylikuormitussuojan ehtojen täytyminen:

$$I_Z = I_t C_1 C_2 = 80 \text{ A} * 0,68 * 0,88 = 47,87 \text{ A}$$

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 32 \text{ A} \leq 39 \text{ A} \leq 47,87 \text{ A}$$

Kuormitettavuus ehto täyttyy 16 mm<sup>2</sup> kupari johtimella. Valitaan syöttökaapeliksi MMJ 4x16S ja ylivirtasuojaksi 35A gG-sulake.

## 9 Sähköinen liikenne ja sen tulevaisuus Joensuussa

Joensuussa sähköinen liikenne on alkutekijöissään, pikalatausasemia ei ole ja puolijulkisia latauspisteitä on vain muutamia. Joidenkin uusimpien asuntokohteiden autolämmitystolpista löytyy varaus sähköautojen hitaaseen lataamiseen ja puolinopeita latauspisteitä voi löytää sähköauton omistajien autotalleista.

Joensuun kaupungin kaupunkirakenneyksikön mukaan Joensuun kaupunki edistää jonkin verran omilla toimillaan latausverkon kehittymistä, mutta pääasiassa latausverkko kehittyy eri hankkeiden, usein yksityisten yhteydessä. Uusien pysäköintilaitosten toteuttajana ovat muut toimijat kuin peruskaupunki. Julkisten latauspisteiden toteuttaminen ei kuulu kaupungin toimintaan vaan kaupunki on näissä mahdollistajana. [35.]

Joensuuhun on kehitteillä pysäköintilaitos Kauppatorin alle. Joensuun kaupungin kaupunkirakenneyksikön mukaan ensimmäisessä vaiheessa toriparkkiin tulisi noin 330 autoa paikkaa, joka myöhemmin voisi laajentua noin 420 autopaikan laajuiseksi. Toriparkkihankkeesta on tehty kaupungin hallituksen hyväksymä aiesopimus, joka määrittelee tietyt reunaehdot hankkeelle, mutta sopimuksessa ei ole otettu kantaa sähköisiin latauspisteisiin. Todennäköisesti latauspisteiden toteuttaminen ratkeaa liiketaloudellisin perustein. [35.]

Joensuussa on käynnistymässä laaja hanke Pielisjoen itärannan eli niin sanotun asemaseudun kehittämiseksi. Projektin johtoajatuksena on rakentaa alue keskustamaiseksi ja tuoda alueelle täysin uusia palveluita, asumista, liiketoimintaa sekä kaikki liikennemuodot huomioiva matkakeskus. Kyseisessä hankkeessa otetaan huomioon myös sähköinen liikenne ja sähköajoneuvojen latauspisteitä mitä luultavimmin toteutetaan. Hanke on vasta alkuvaiheessa, asemakaavan laatiminen on käynnistynyt, joten mitään sitovia päätöksiä asiasta ei ole vielä tehty. [35.]

## **9.1 Sähköauton käyttäjäkokemuksia**

Sähköauton käyttäjäkokemukset ovat olleet positiivisia. Ajaminen ja ominaisuudet eivät käytännössä poikkea automaattivaihteiseen polttomoottori autoon verrattuna. Alhainen melutaso, portaaton vaihteisto ja jatkuva veto on koettu erityisesti kaupunki- ja taajamavyöhykkeillä ajaessa sähköauton valiksi. Varustelutaso on samaa luokkaa polttomoottori autojen kanssa, tosin vetokoukku ei saa. Sähköauton hankintahinta on kalliimpi, esimerkiksi yrityskäyttöön soveltuvassa pakettiautossa noin 10 000 euroa kalliimpi. Sähköauton käyttökulut ovat huomattavasti edullisemmat, moottorin huoltokuluja kuten öljyn vaihtoa yms. ei ole ja polttoaine on edullista, noin 2 €/100 km. Kuvassa 11 on esitetty japanilaisvalmisteen sähköajoneuvon konehuone. [36; 37; 38.]



Kuva 11 Japanilaisvalmisteisen sähköajoneuvon konehuone

Käyttäjien mukaan auton varausmittari on usein osoittautunut epäluotettavaksi. Jäljellä olevan matkan ennuste ajoon lähdettäessä on usein optimistisempi kuin mitä sillä todella pääsee. Jäljellä olevan matkan ennuste muuttuu ajokäyttäytymisen ja ajo-olosuhteiden mukaan, myös ympäristön lämpötilalla on vaikutusta luotettavuuteen. Pitkät ja jyrkät ylämäet kuluttavat paljon energiaa, kun taas alamäessä ja kaupunkiajossa voi hyödyntää jarrutusenergian talteenottoa. Sähköautonkäyttäjän pitääkin oppia ymmärtämään auton energiankulutusta ja arvioimaan itse ajomatkaennustetta ajo-olosuhteiden mukaan. Ajo-tietokoneesta näkee keskimääräisen energian kulutuksen ja myös muiden laitteiden kuten ilmastoinnin energian kulutuksen. Tämän avulla käyttäjä voi arvioida ajoaan ja ajaa taloudellisemmin sekä säästää energiaa sammuttamalla muita laitteita. [36; 37; 38.]

Suurin osa latauksista tapahtuu yöaikaan tavallisesta schukopistorasiasta käyttäen auton mukana toimitettua latausjohtoa jossa on koteloitu ohjauslaite (kuva 12). Ohjauslaite rajoittaa latausvirran 8-10 ampeeriin, jolloin lataustehoksi jää 1,8–2,3 kW. Latausaika täyteen varaukseen lähes tyhjistä vaihtelee akuston kapasiteetistä ja purkuasteesta riippuen 8-12 tuntiin. [36; 37; 38.]





Kuva 12 Koteloitu ohjauslaite

## 10 Pohdinta

Sähköajoneuvon toimintasäde on suhteellisen pieni. Maakunnissa ajomatkat ovat usein niin pitkiä, ettei täyssähköauto sovellu maakuntiin ainoaksi käyttöautoksi. Taajama-ajoon sähköajoneuvo soveltuu erinomaisesti. Yrityskäyttöön sähköajoneuvo olisi mielestäni loistava valinta. Taajama-ajot voisi suorittaa sähköajoneuvolla ja latauksen voisi suorittaa työajan ulkopuolella tai lounastauon aikana pikalatausasemalla. Ajoneuvojen huolto- ja käyttövoimakustannukset laskisivat huomattavasti. Lisäksi sähköajoneuvo antaisi yritykselle hyvää imagoa.

Sähköajoneuvojen latauspisteiden perustaminen etenee tällä hetkellä lähinnä liike taloudellisin perustein. Joensuussa sähköautokanta on olemattoman pieni, joten kysyntää pi-

kalatausasemien perustamiseen ei ole tarpeeksi. Toisaalta taas suurin hidaste sähköautojen yleistymiselle on nimenomaan pikalatausasemien puuttuminen. Pikalatausasemien investointikustannukset ovat sitä luokkaa, ettei niitä ainoastaan imagollisista syistä kannata perustaa. Puolinopeiden latauspisteiden perustamiskustannukset ovat huomattavasti huokeammat, mutta latausasema nostaa kiinteistön huipputehoa suhteellisen paljon, eikä näin suurta tehon lisäystä ole monesti huomioitu kiinteistön sähköliittymää mitoittaessa. Sähköliittymän suurentamisesta syntyy lisäkustannuksia varsinkin silloin, jos se vaatii pääkeskuksen ja liittymiskaapelin uusimisen. Esimerkiksi pysäköintilaitoksissa liittymä voi olla niin tiukoilla, ettei puolinopeita tai edes hitaita latauspisteitä voida perustaa ilman, että sähköliittymä uusitaan. Lisäksi lukuisat latausliittimet aiheuttavat päänvaivaa. Vaikka pistoketyyppi kaksi on valittu sähköautojen yhteiseksi latausliitännäksi koko Euroopassa, on tyyppin yksi latausliitännällä varustettuja sähköajoneuvoja Suomen liikenteessä, myös Joensuussa.

Kotona lataus keskittyy hitaaseen lataukseen, auton mukana toimitettavaa laturia käyttäen. Puolinopeat latauspisteet soveltuisivat investointikustannuksien puolesta yksityiseen käyttöön. Puolinopeiden latausasemien hinnat lähtevät noin tuhannesta eurosta ylöspäin, mutta omakotitalon sähköliittymän joutuu lähes poikkeuksetta suurentamaan, joka aiheuttaa lisäkustannuksia. Myös latausaseman asennuskustannukset voivat lisätä kustannuksia huomattavasti kohteesta riippuen. Latausasema sijoitetaan usein lämpöeristetyn autotallin sisäpuolelle, jolloin syöttökaapelia mitoittaessa johtimien poikkipinnat kasvaa suuriksi korjauskertoimien johdosta.

Kerros- ja rivitaloissa lataus toteutetaan mitä luultavammin hitaalla yksivaiheisella lataustavalla esilämmityspistorasioita hyväksikäyttäen. Tässä on kiinnitettävä erityishuomiota kolmannen asteen yliaallon syntymiseen. Kuten aiemmin mainittiin, niin kolmatta yliaaltoa tuottavat eniten epälineaariset yksivaiheiset kuormat, kuten laturi. Nollajohtimen mitoitusta on tarkasteltava huolella ja mitoittettava vaihejohdinta suuremmaksi. Käyttöönoton jälkeen on syytä suorittaa yliaaltomittaukset verkkoanalysointilla, jonka mittausdatan pohjalta mitoittaa mahdollinen yliaaltosuodin.

Sähköauton omistajalle latauspisteen perustamiskustannukset voivat nousta kohtuuttoman suuriksi. Pysäköintilaitoksille latauspisteiden perustaminen ei ole liiketaloudellisin

perustein kannattavaa. Maan kattava julkinen latausverkosto on siis välttämätön sähköajoneuvojen yleistymisen kannalta. Mielestäni ilman EU:n asettamaa velvoittavaa direktiiviä sähköajoneuvojen yleistyminen olisi äärimmäisen hidasta. On odotettavaa että 18.11.2016 mennessä, kun direktiivi saatetaan osaksi kansallista lainsäädäntöä, synnyttää se keskustelua sähköajoneuvoista ja niiden käyttömahdollisuuksista. Ja voisi olettaa, että vuoden 2020 jälkeen, kun Suomessa on kattava latausverkosto, sähköautokanta lähtisi nopeaan kasvuun.

## Lähteet

1. Eera Oy. Suomessa nyt yli 1000 sähköautoa – alkuvuonna ennätysmyynti. 19.5.2015. Luettu: 25.5.2015. Saatavissa: <http://www.sahkoinenliikenne.fi/uutiset/suomessa-nyt-yli-1000-sahkoautoa-alkuvuonna-ennatysmyynti>
2. Karttunen, V., Kumpulainen, A., Pesola, A. & Vanhanen, J. Sähköisen liikenteen dynaamiset vaikutukset. 3.3.2015. Luettu: 20.5.2015. Saatavissa: [http://www.gaia.fi/files/984/Sahkoisen\\_liikenteen\\_dynaamiset\\_vaikutukset\\_-\\_loppuraportti\\_2015.pdf](http://www.gaia.fi/files/984/Sahkoisen_liikenteen_dynaamiset_vaikutukset_-_loppuraportti_2015.pdf)
3. Finunions. Eurooppa-neuvosto sopi EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan puitteista vuoteen 2030. 29.10.2014. Luettu: 15.3.2015. Saatavissa: [http://www.finunions.org/teemat/energia-\\_ja\\_ilmastopolitiikka](http://www.finunions.org/teemat/energia-_ja_ilmastopolitiikka)
4. European Union. White paper on transport. Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system. 2011. Luettu: 16.3.2015. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2011\\_white\\_paper/white-paper-illustrated-brochure\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_en.pdf)
5. European Commission. European Parliament vote "milestone" in the roll out of clean fuels for transport. 12.2.2015. Luettu: 16.3.2015. Saatavissa: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-14-440\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-440_en.htm)
6. Euroopan unioni. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/94/EU. 22.10.2014. Luettu: 20.4.2015. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=FI>
7. Pöyry, E. Suomeen rakennettava sähköautojen latauspisteverkosto. 23.5.2014. Luettu: 20.4.2015. Saatavissa: <http://www.sahkoinenliikenne.fi/wp-content/uploads/2014/05/AFI-kokoontumisajot-Elias-P%C3%B6yry.pdf>
8. Sesko ry. SESKOn tehtävät ja toiminta lyhyesti. 2015 Luettu: 1.10.2015. Saatavissa: [http://www.sesko.fi/files/467/SESKO\\_A5\\_syysk15.pdf](http://www.sesko.fi/files/467/SESKO_A5_syysk15.pdf)
9. Sesko ry. Sähköautot ja latausjärjestelmät. Luettu: 11.3.2015. Saatavissa: [http://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin\\_aihealueita/sahkoautot\\_ja\\_latausjarjestelmat](http://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat)
10. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-722. Erikoistilojen ja –asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. Helsinki. 2012. ISBN 978-952-242-201-9
11. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-813. Täydentävät vaatimukset. Pistokytkimien valinta ja asentaminen. 813.3.5 Sähköajoneuvojen pistokytkin. Helsinki. 2012. ISBN 978-952-242-201-9
12. Eera Oy. Metropolia Suomen kärkenä sähköautojen langattomassa latauksessa. 24.2.2015. Luettu: 20.5.2015. Saatavissa: <http://www.sahkoinenliikenne.fi/uutiset/metropolia-suomen-karkena-sahkoautojen-langattomassa-latauksessa>
13. Kettles, D. Electric vehicle charging technology analysis and standards. 2015. Luettu: 2.6.2015. Saatavissa: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-1996-15.pdf>
14. BiomeriOy. Työ- ja elinkeinoministeriö. Sähköajoneuvot Suomessa selvitys. 6.8.2009. Luettu: 10.6.2015. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot\\_Suomessa-selvitys.pdf](http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa-selvitys.pdf)

15. IEC 62196-2:2011. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories. 13.11.2011. Luettu: 8.5.2015.
16. IEC 62196-3:2014. Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 3: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for d.c. and a.c./d.c. pin and contact-tube vehicle couplers. 19.6.2014. Luettu 8.5.2015.
17. Mennekes. Type 2 charging plug proposed as the common standard for Europe. 2014. Luettu: 12.06.2015. Saatavissa: [http://www.mennekes.de/uploads/media/Type\\_2\\_system\\_%E2%80%93sockets\\_with\\_and\\_without\\_shutter\\_as\\_well\\_as\\_charging\\_plugs.jpg](http://www.mennekes.de/uploads/media/Type_2_system_%E2%80%93sockets_with_and_without_shutter_as_well_as_charging_plugs.jpg)
18. Scame. Connectors for electric vehicles. 2015. Luettu: 12.06.2015. Saatavissa: [http://www.scame.com/en/prodotto/ser/libera\\_connettore.asp](http://www.scame.com/en/prodotto/ser/libera_connettore.asp)
19. SAE. EVs get boost from new SAE standard for dc fast charging. 2012. Luettu: 17.6.2015. Saatavissa: [http://www.sae.org/dlymagazineimages/11484\\_14972\\_ACT.jpg](http://www.sae.org/dlymagazineimages/11484_14972_ACT.jpg)
20. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. SFS 600-3 Sähkötyöturvallisuus. Helsinki. 2012. ISBN 978-952-242-203-3
21. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Helsinki. 2012. ISBN 978-952-242-201-9
22. Linja-aho, V. Uusi sähkötyöturvallisuus-standardi ottaa autoalan huomioon. 2014. Luettu: 17.7.2015. Saatavissa: <http://www.slideshare.net/linjaaho/uusi-sfs-6002>
23. Nylund, N. Sähköautojen tulevaisuus Suomessa. Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2011. Luettu 1.9.2015. Saatavissa: [https://www.lvm.fi/docs/fi/1551284\\_DLFE-11701.pdf](https://www.lvm.fi/docs/fi/1551284_DLFE-11701.pdf)
24. Alahäivälä, A. Sähköautojen lataaminen ja sen vaikutus kaupunkialueen jakelumuuntajiin. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo, 2012. Luettu: 10.9.2015. Saatavissa: [https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/7269/master\\_alah%C3%A4iv%C3%A4l%C3%A4\\_antti\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/7269/master_alah%C3%A4iv%C3%A4l%C3%A4_antti_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
25. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. SFS-EN 50160. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Helsinki, 2010
26. Tupala, J-P. Standardiin pohjautuva sähköverkon laadun mittaaminen. Opinäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu, Turku, 2010. Luettu: 8.9.2015. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21354/Tupala\\_Juha-Pekka.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21354/Tupala_Juha-Pekka.pdf?sequence=1)
27. Falck, E., Keikko, T., Korpinen, L. & Mikkola, M. Yliaalto-opus. Luettu: 20.9.2015. Saatavissa: <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yli-aalto-opus.pdf>
28. Alanen, R & Hätönen, H. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta State of art- selvitys. VTT, Espoo. 2006. Luettu: 20.9.2015. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/w52.pdf>
29. Kiviluoma, J., Koreneff, G. & Ruska, M. Sähköautojen laajan käyttöönoton skenaatioita ja vaikutuksia sähköjärjestelmään. VTT. 2010. Luettu: 20.10.2015. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W155.pdf>

30. Liikenteen turvallisuusvirasto. Liikenteessä olevat ajoneuvot 2015. Trafi. 19.2.2016. Luettu: 20.3.2016. Saatavissa: [http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tiilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokantatilastot\\_ajoneuvolajeittain/liikennekaytossa\\_olevat\\_ajoneuvot\\_2015](http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tiilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokantatilastot_ajoneuvolajeittain/liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot_2015)
31. Tilastokeskus. Energian hankinta ja kulutus. 2016. Luettu: 20.3.2016. Saatavissa: [http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2015/04/ehk\\_2015\\_04\\_2016-03-23\\_fi.pdf](http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2015/04/ehk_2015_04_2016-03-23_fi.pdf)
32. TVO. Olkiluoto 3 tekniset tiedot. Luettu: 20.3.2016. Saatavissa: <http://www.tvo.fi/page-514>
33. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki. 2012. ISBN 978-952-242-201-9
34. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. D1-2012 käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo. 2013. ISBN 978-952-231-079-8
35. Joensuun kaupungin kaupunkirakenneyksikkö. Haastattelu [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Kim-Henrik Romppanen. Lähetetty: 13.10.2015
36. Ilmastotori. Uusiutuvaa energiaa arjessa –seminaari. Joensuun teatteriravintola. 5.5.2015
37. Ilmastotori. Tulevaisuuden liikenne –seminaari. Ravintola Kerubi. 19.11.2015
38. Joensuun vesi. Haastattelu [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Kim-Henrik Romppanen. Lähetetty: 3.12.2015