

Kalle-Juhani Kämäräinen

SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU

SÄHKÖAUTOJEN LATAUSJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU

Kalle-Juhani Kämäräinen
Opinnäytetyö
Lukukausi kevät 2021
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, sähkötekniikka

Tekijä: Kalle-Juhani Kämäräinen

Opinnäytetyön nimi: Sähköautojen latausjärjestelmien suunnittelu

Työn ohjaaja: Heikki Kurki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 30

Työn tavoitteena oli kertoa lyhyesti erilaisista hybridi- ja sähköautoratkaisuista sekä pistoketyypeistä. Tavoitteena oli perehtyä erilaisiin latausjärjestelmiin sekä tehdä suunnitteluohje julkisen rakennuksen latausjärjestelmän suunnitteluun.

Työssä mitoitettiin esimerkkitapaus latausjärjestelmästä Oulun ammattikorkeakoululle todellisen tilanteen perusteella. Mitoitus tehtiin ST-käsikirjan 41 ohjeistuksen mukaan. Työssä mitoitettiin kaapelit ja sulakkeet standardien mukaan sekä laskettiin latauspaikkojen suurin mahdollinen määrä kuormanhallinnalla sekä ilman sitä.

Työssä on esitetty erilaiset hybridi- ja sähköautoratkaisut sekä latausratkaisut ja pistoketyypit. Työn tuloksena on suunnitteluohje, jonka perusteella voidaan mitoittaa sähköauton latausjärjestelmä julkiseen rakennukseen tai muuhun vastaavaan kiinteistöön.

Asiasanat: sähköauto, latausjärjestelmä, latauspiste, suunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and automation engineering, Option of Electrical engineering

Author: Kalle-Juhani Kämäräinen
Title of thesis: Planning of Electric Vehicle Charging Stations
Supervisor: Heikki Kurki
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021
Number of pages: 30

The goal of this thesis was to tell shortly about different hybrid and electric car solutions and plug types. The aim was to get to know different electric car charging systems and make a planning instruction for a public building's charging system.

In this thesis the example of the charging system was scaled for Oulu University of Applied Sciences based on reality. In this thesis the cables and fuses were scaled according to standards and also the maximum amount of charging stations was counted with and without load management.

The thesis shows different kinds of hybrid and electric car solutions, charging solutions and plug types. The result of this thesis is a planning instruction that you can use to plan an electric car charging system for a public building or some similar property.

Keywords: electric car, charging system, charging point, planning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SÄHKÖ- JA HYBRIDIAUTO	7
2.1	Täyssähköauto	7
2.1.1	Komponentit.....	7
2.1.2	Energiankulutus ja toimintasäde	8
2.2	Hybridauto	9
3	LATAUSJÄRJESTELMIÄ KOSKEVAT LAIT, STANDARDIT JA SUOSITUKSET.....	11
4	LATAUSRATKAISUT JA PISTOKETYYPIT.....	12
4.1	Lataustapa 1.....	12
4.2	Lataustapa 2.....	12
4.3	Lataustapa 3.....	13
4.4	Lataustapa 4.....	14
4.5	Kaksisuuntainen lataus	15
5	LASKUTUS.....	16
6	SUUNNITTELU JA MITOITUS	17
6.1	Tarvekartoitus.....	17
6.2	Kuormanhallinta	17
6.2.1	Tavallinen kuormanhallinta	17
6.2.2	Dynaaminen kuormanhallinta.....	18
6.3	Hankesuunnittelu.....	20
6.4	Yleissuunnittelu	21
6.5	Toteutussuunnittelu	21
6.6	Sähköajoneuvon latauspisteiden lisäys olemassa olevaan kiinteistöön	22
6.6.1	Kohteen lähtötiedot ja latauspaikkojen tarve.....	22
6.6.2	Kuormanhallinnan vaikutus mitoitukseen	22
6.6.3	Mitoitus	23
7	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET.....	28

1 JOHDANTO

Sähköauton latauspisteiden suunnittelu on ajankohtainen aihe, tällä hetkellä sähköautoilu on merkittävässä kasvussa. Fossiilittoman liikenteen tavoite vuodelle 2030 on 700 000 sähköautoa, joista vähintään puolet olisi täyssähköautoja. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan yksilöitä, yrityksiä ja julkista sektoria puhtaan teknologian käyttöön, hankintoihin ja investointeihin kannustava lähestymistapa. (1, s. 2.)

Vuoden 2020 lopulla säädetty laki 733/2020 rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä määrittelee, milloin täytyy suunnitella ja asentaa sähköajoneuvon latauspiste tai valmius sille. Laissa sanotaan mm. ”Rakennuksen omistajan on huolehdittava, että sellaisessa käytössä olevassa muussa rakennuksessa kuin asuinrakennuksessa, jonka yhteydessä on enemmän kuin 20 pysäköintipaikkaa rakennuksessa tai kiinteistöllä, on asennettuna vähintään yksi latauspiste viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2024.” Nämä säädökset lisäävät osaltaan uusia latauspisteiden hankintoja tulevaisuudessa. (2.)

Valtioneuvoston asetuksella myönnetään sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuuritukea. Tuen kohteena ovat sähköautojen lataus- ja kaasutankkausverkostoihin liittyvät investoinnit. Tuki myönnetään tarjouskilpailun perusteella. Esimerkiksi vuoden 2019 tarjouskilpailussa myönnetyn tuen avulla edistettiin yhteensä noin 4,4 M€:n edestä investointeja. (1, s. 13.)

ARA on myöntänyt vuoden 2018 elokuusta lähtien latausinfrastruktuuritukea asuinrakennuksen omistaville yhteisöille. Tuki koskee sähköautojen latauspisteiden edellyttämiin kiinteistöjen sähköjärjestelmiin kohdistuvia muutoksia. Vuonna 2020 määräraha oli 7,0 M€. (1, s. 14.)

Latausverkoston kehitys on kovassa vauhdissa: vuoden 2019 lopussa latauspaikkoja oli yhteensä 990 ja vuoden 2020 lopussa 1302, kasvua tapahtui vuodessa siis 31 % (1, s. 25).

2 SÄHKÖ- JA HYBRIDIAUTO

Täyssähköauto tarkoittaa ajoneuvoa, joka käyttää voimanlähteenä sähkömoottoria ja jonka akut toimivat energiavarastona. Toimintamatka sähköautoissa ylittää parhaimmillaan jo yli 500 kilometriin. (3.)

Ladattavassa hybridiajoneuvossa on diesel- tai bensiinikäyttöisen moottorin lisäksi sähkömoottori, joka avustaa voimantuotossa sekä siihen tarvittava akusto, jota voidaan ladata verkkosähköllä. Hybridiautosta riippuen sillä voidaan ajaa pelkällä sähköllä noin 30 - 80 kilometriä. (4.)

2.1 Täyssähköauto

Täyssähköautolla tarkoitetaan autoa, jonka voimanlähteenä toimii sähkömoottori sekä energiavarastona akusto, kun taas polttomoottoriautoissa voimanlähteenä toimii polttomoottori ja energianlähteenä nestemäinen bensiini tai diesel (5). Vuonna 2016 rekisteröitiin 223 uutta täyssähköautoa, kun vuonna 2020 niitä on rekisteröity marraskuun alkuun mennessä jo 2681 (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Täyssähköautojen ensirekisteröinnit Manner-Suomessa (6)

Sähköautojen ensirekisteröinnit vuosittain Manner-Suomessa.					
Vuosi	2016	2017	2018	2019	2020
Määrä/kpl	223	502	776	1897	2681

2.1.1 Komponentit

Sähköauton ja polttomoottoriauton erot näkyvät selvimmin energiavarastossa ja moottorissa. Sähköautoissa varastoidaan energia akustoon, kun taas polttomoottoriautoissa energia on varastoitu nestemäisessä muodossa polttoainetankkiin. Sähköauton energia on varastoitu akustoihin, joita voidaan ladata sähköenergian avulla. (5.)

Kitkajarrujen lisäksi modernia sähköautoa hidastetaan omalla moottorilla, jolloin moottori muuttuu generaattoriksi ja lataa akustoa kierrättäen osan energiasta, joka on kulutettu auton kiihdyttämiseen. Osassa sähköautoista käytetään kondensaattoreita, joihin jarrutusenergia varastoidaan.

Kondensaattorit pystyvät ottamaan vastaan ja purkamaan suuria sähkövarauksia nopeammin kuin akut. (5.)

Sähköautoissa on olemassa monia eri kokoisia ja mallisia sähkömoottoreita. Yhden ison moottorin sijaan autossa voi olla useita pieniä moottoreita. Osassa sähköautoista käytetään napamoottoreita, jotka sijoitetaan pyörän napoihin. Napamoottoreilla voidaan toteuttaa helpommin elektroninen ajonhallintajärjestelmä, silloin voidaan käyttää jarrutus- ja kiihdytysmomenttia jokaisella pyörällä. (5.)

Sähköautoissa ei yleensä ole manuaalivaihteistoa, se on korvattu joko automaattivaihteistolla tai vaihteita ei ole ollenkaan. Vaihteita ei välttämättä tarvita sähkömoottorin laajan kierroslukualueen ansiosta. Sähköautoissa ohjauselektronikka huolehtii tehonsäädöstä sekä järjestelmän toiminnan ohjaamisesta. Sähköauton apulaitteet, esimerkiksi lämmitys- ja ilmastointilaitteet, toimivat myös sähköllä. Osa sähköautoista on laitettu myös polttoaineella toimiva lisälämmitin. Sähköauton akkujen varauksen, toimintasäteen sekä muita auton tietoja voi tarkastaa informaationäytöiltä, joita on asennettu useimpiin sähköautoihin. (5.)

2.1.2 Energiankulutus ja toimintasäde

Sähkömoottori on energiatehokas ja se ei tuota pakokaasuja. Energiaa, jota auto käyttää, voidaan tuottaa uusiutuvilla energianlähteillä. Suurin ongelma sähköautoissa on akusto. Haasteena on, saadaan tarpeeksi iso energiavarasto sähköautoon tuottamatta liian suurta lisäpainoa ja kustannuksia.

Sähköautoissa käytetään erikokoisia akustoja. Koko voi olla esimerkiksi 20 - 30 kWh, jonka toimintamatka on noin 150 - 250 km. Suurempi, 40 - 60 kWh:n akusto, kattaa noin 300 - 450 km matkan ja 75 - 95 kWh:n akustolla toimintamatka voi olla jopa yli 500 km. (5.)

Diesel- tai bensiinikäyttöisten polttomoottoriautojen toimintamatka on pidempi kuin sähköauton, mikä perustuu energiavaraston energiatiheuteen. Dieselpolttoaineen energiatiheys on noin 12 kWh/kg, litiumakun energiatiheys on vain noin 0,1 kWh/kg. Akkujen energiatiheys on viime vuosikymmenten aikana moninkertaistunut ja jos kehitys jatkuu samantyyppisenä, tulevaisuudessa sähköautojen ja polttomoottoriautojen toimintamatka voi olla lähes sama. (5.)

2.2 Hybridiauto

Hybridiautossa voimanlähteenä toimii polttomoottorin ohella avustava sähkömoottori, johon syötetään energiaa akustosta. Hybridiautolla voidaan ajaa lyhyitä matkoja siis pelkällä sähköllä. (7.) Uusia hybridiautoja rekisteröitiin Manner-Suomessa 1208 vuonna 2016 ja vuoden 2020 marraskuun alkuun mennessä 9597 (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Hybridiautojen ensirekisteröinnit Manner-Suomessa (6)

Hybridiautojen ensirekisteröinnit vuosittain Manner-Suomessa.					
Vuosi	2016	2017	2018	2019	2020
Määrä/kpl	1208	2553	4932	5966	9597

Hybridiautoissa on erilaisia toteutusvaihtoehtoja, alla esitellään vaihtoehdot ja niiden ominaisuudet. Rinnakkaishybridissä poltto- ja sähkömoottori on kytketty samaan voimalinjaan, tällöin vetävää akselia voidaan hyödyntää molemmilla moottoreilla. Rinnakkaishybrideissä on yleensä mahdollisuus käyttää pelkästään sähkömoottoria pienillä nopeuksilla ajamiseen. Maantieajossa rinnakkaishybridillä yleensä käyttää pelkästään polttomoottoria, tällöin sähköenergiaa ei käytetä juuri ollenkaan auton liikuttamiseen. Kaupunkiajossa sähköns osuus lisääntyy, kun jarrutusenergia voidaan kierrättää. (8.)

Sarjahybridissä auton vetoakselia pyörittää sähkömoottori ja polttomoottoria käytetään ainoastaan sähköns tuottamiseen. Polttomoottorin sijoittaminen sarjahybridissä on vapaampaa, sen ei tarvitse olla mekaanisesti yhteydessä vetopyöriin. (8.)

Nelivetohybridissä sähkömoottori pyörittää esimerkiksi taka-akselia ja polttomoottori etuakselia. Toimintaperiaate on sama kuin rinnakkaishybridissä, vaikka moottorit pyörittävät eri akseleita. Moottoreita voidaan käyttää erikseen tai samanaikaisesti, jolloin autosta saadaan neliveto. Tällöin auton etenemis- ja vetokyky paranevat. (8.)

Täyshybridillä tarkoitetaan autoa, jonka energiavarasto ja sähkömoottori on mitoitettu niin, että lyhyet etäisyydet voidaan ajaa pelkällä sähkömoottorilla. Kevythybridissä sähkömoottori on tarkoitettu vain avustamaan polttomoottoria ja keräämään jarrutusenergia talteen. Autoa ei siis ole tarkoitettu pelkästään sähköllä ajamiseen. Mikrohybridillä tarkoitetaan polttomoottoriautoa, jossa on

sammutusjärjestelmä (Start-Stop) ja laturi, joka toimii tehokkaammin moottorijarrutuksen aikana. Kaupunkiajossa mikrohybridillä voidaan kulutuksessa säästää noin viisi prosenttia. (6.)

Ladattava hybridi, joka merkitään lyhenteellä PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) on hybridauto, jonka akusto voidaan ladata verkkovirralla. Pelkällä sähköllä ajon toimintamatka on jopa kymmeniä kilometrejä. Ladattavalla hybridillä voidaan siis ajaa lyhyemmät ajot sähköllä ja pidemmät maantieajot polttomoottorilla. (8.)

Akkusähköauto on sähköauto, johon on asennettu generaattoria pyörittävä polttomoottori. Moottoria voidaan kutsua myös "range extenderiksi" eli toimintasäteen pidentäjäksi. Akkusähköauton toimintamatka on yleensä paljon ladattavaa hybridautoa pidempi ja sen polttomoottoria käytetään harvemmin. (8.)

3 LATAUSJÄRJESTELMIÄ KOSKEVAT LAIT, STANDARDIT JA SUOSITUKSET

Sähköautojen latausjärjestelmien samoin kuin autossa käytettävien sähköisten ja elektronisten komponenttien standardoinnista vastaa IEC. Sähköautojen latausjärjestelmiä standardoi IEC TC 69 ja elektronisia komponentteja lukuisat komponenttikomiteat. Eurooppalaiset EN-standardit, jotka perustuvat vastaaviin IEC-standardeihin, valmistelee CENELECin komitea TC 69X. Näiden komiteoiden työhön osallistumisesta vastaa Suomessa SESKOn komitea SK 69. (9.)

Sähköajoneuvojen lataamiseen käytettävissä sähköverkoissa ja niiden suunnittelussa on noudatettava pienjänniteasennuksia käsittelevässä standardisarjassa SFS 6000 esitettyjä perusvaatimuksia. Standardissa SFS 6000-7-722 annetaan erityisvaatimuksia sähköajoneuvojen lataamiseen tarkoitetuille asennuksille. (10, s. 1.)

Ajoneuvojen ja niiden sähköjärjestelmien sekä latausjärjestelmien teknologia on voimakkaassa kehitysvaiheessa. Alaan liittyvät kansainväliset ja alueelliset vaatimukset sekä standardointi edistävät parhaimpien ratkaisujen yleistymistä. SESKOn laatiman sähköauton lataussuosituksen loppuun on listattu kaikki sähköajoneuvojen lataukseen käytettävien sähköasennusten ja asennustarvikkeiden vaatimuksia käsittelevät määräykset ja standardit. Lataussuositus on päivitetty 17.02.2021. (10, s. 8.)

4 LATAUSRATKAISUT JA PISTOKETYYPIT

Latausjärjestelmien rakenne vaihtelee käyttötarkoituksesta ja lataustavasta riippuen. Latausjärjestelmä voi olla yksinkertaisimmillaan esimerkiksi kotitalouspistorasiaan liitetty lataustavan 2 hitaan latauksen liitäntäjohto suojalaitteineen. Jos esimerkiksi pistorasian ohjaukseen liittyy älyä, voidaan latausjärjestelmä laajentaa sisältämään myös tarvittavat ohjausjärjestelmän ominaisuudet. (11, s. 38.)

Standardissa SFS-EN 61851-1 on määritelty sähköautojen lataukseen käytetyt lataustavat. Suomessa ensisijaisesti suositellaan käyttämään lataustapoja 3 ja 4 (11, s. 30). Normaalisti kotitalouspistorasiasta sähköautoa ei kannata ladata säännöllisesti, sillä pistorasioiden on todettu kestävän vain 8 A:n eli 1840 W:n jatkuvan kuormituksen. Jos pistorasian syötössä on 16 A:n sulake, voi pistorasia syttyä jopa palamaan, mikäli sähköauto jätetään lataamaan täydellä teholla pitemmäksi ajaksi. Useimmat nykyajan sähköautot rajoittavat pistorasiasta otettavan latausvirran 8 A:ksi. (12.)

4.1 Lataustapa 1

Lataustavassa 1 sähköajoneuvo liitetään sähköverkkoon käyttäen normaalia yksivaiheista tai kolmivaiheista pistorasiaa. Se on tyypillisesti tavanomainen joko yksivaiheinen 16 A:n ja 250 V:n tai kolmivaiheinen 480 V:n pistorasia, jonka syöttöjohto on standardin mukainen. Lataustapaa 1 käytetään yleensä ladattaessa kevyitä sähköajoneuvoja, kuten sähköpyöriä, -mopoja ja -moottoripyöriä. Lataustapaa voidaan käyttää myös kevyiden sähköautojen tai muiden liikkumisvälineiden lataukseen. (11, s. 30.)

4.2 Lataustapa 2

Sähköajoneuvo liitetään vaihtosähkönsyöttöön (sähköverkkoon) käyttäen korkeintaan 32 A:n ja 250 V:n yksivaiheista tai 480 V:n kolmivaiheista standardisoitua pistorasiaa sekä tehoa syöttäviä johtimia ja suojamaadoitusjohtimia. Pistorasiana käytetään Schuko-pistorasiaa tai normaalia kolmivaiheista pistorasiaa. Lataustapa 2 on tarkoitettu lähinnä tilapäiskäyttöön, jos esimerkkinä lataustavan 1 mukaista latauspistettä ei ole saatavilla. Lataustavan 2 liitosjohdossa tulee olla tarvittavat suojalaitteet, lisäksi suositellaan enintään 8 A:n latausvirran käyttöä. Lataustavoissa 1 ja 2

voidaan käyttää standardin SFS-EN 60309-2 mukaista teollisuuspistorasiaa. Standardin SFS 5610 mukaista maadoitettua pistorasiaa voidaan myös käyttää, mutta tällöin ajonauvon ottama pitkäaikainen latausvirta on rajoitettava riittävän pieneksi. Latausvirta tulee käytännössä rajoittaa 8 A:iin. Standardin SFS 5610 mukaan kotitalouspistorasiat eivät sovellu pitkäaikaiseen sähköajoneuvojen lataamiseen pistokytkimen täydellä mitoitusvirralla. (11, s. 30–32.)

Normaalit pistorasiat olisi hyvä tarkistuttaa ennen niiden käyttöönottoa sähköauton lataukseen. Osa vakuutusyhtiöistä vaatii tätä tarkastusta vakuutusehdoissaan. Normaalit käyttöönottotarkastuksen menetelmät ovat riittävät. Huomiota on kuitenkin kiinnitettävä erityisesti pistorasian kuntoon, johtoreittiin eli kaapelin kuormitettavuuteen ja yleisesti aistinvaraiseen tarkastukseen, jotta pistorasian sähköistys kestää pitkäaikaisen kuormituksen. Normaali pistorasioiden rakenteellisten puutteiden vuoksi latausvirta on suositeltavaa rajoittaa 8 A:iin. (11, s. 32.)

IEC-standardin 60884-1 mukaista vahvennettua kotitalouspistorasiaa ns. superschukoa voidaan kuormittaa jatkuvasti 16 A:n virralla olettaen, että kaapeloinnit ja kytkennät on tehty asianmukaisesti. Standardia ei ole julkaistu tämän opinnäytetyön kirjoittamishetkellä. Osa valmistajista on silti aloittanut jo valmistamaan standardin luonnosversioiden perusteella uudenlaisia pistorasioita, jotka voidaan vaihtaa vanhan pistorasian tilalle. (11, s. 33.)

4.3 Lataustapa 3

Sähköajoneuvo liitetään vaihtosähkönsyöttöön (sähköverkkoon), jossa käytetään erityistä sähköajoneuvon latausjärjestelmää. Latausjärjestelmässä ohjaustoiminnot on rakennettu kiinteästi vaihtosähköverkkoon liitettyyn latauslaitteeseen. Latausvirta voi olla 6 - 63 A, näillä latausvirroilla saavutetaan 1,4 - 43 kW:n latausteho. Lataustapa 3 on suunniteltu erityisesti sähköautojen lataamiseen. Pistorasiana käytetään sähköauton lataukseen tarkoitettua, standardin SFS-EN 62196-2 mukaista kolmivaiheista pistorasiaa. (11, s. 33.)

Latausjärjestelmän tiedonsiirtoväylää käytetään varmistamaan ajoneuvon oikea kytkeytyminen latauspisteeseen. Tiedonsiirtoväylällä voidaan ohjata myös kuormitusta. Lataustavassa käytetään Suomessa yleensä pistoketyyppejä 2 ”Mennekes” (kuva 1) joka on SFS-EN 62196-2 standardin mukainen. Muita pistoketyyppejä ovat tyyppin 1 ”Yazaki” ja tyyppin 3 ”Scame”, jotka eivät ole yleistyneet Suomessa. (11, s. 33.)



KUVA 1. Tyypin 2 ("Mennekes") latausliitin sekä auton kojevastike (13)

4.4 Lataustapa 4

Sähköajoneuvo liitetään vaihtosähkösyöttöön (sähköverkkoon), jolloin käytetään ajoneuvon ulkopuolista laturia. Ohjaustoiminnot ovat kiinteästi vaihtosähköverkkoon liitetyn sähköajoneuvon latauslaitteessa. Laturista saadaan tasasähköä. Tästä lataustavasta käytetään nimityksiä pikalataus, tehollataus ja DC-lataus. Kyseinen lataustapa on suunniteltu erityisesti sähköautojen lataamiseen. Latauksessa käytetään pistokkeena erityisesti sähköauton lataukseen suunniteltua standardin SFS-EN 62196-3 mukaista pistoketta. Tiedonsiirtoväylää käytetään samoihin tarkoituksiin kuin lataustavassa 3. SFS-EN 62196-3 mukaiset pistoketyypit ovat käytössä lataustavassa 4. Pistoketyyppejä on kaksi, AA "CHAdEMO" (kuva 2) tai pistoketyyppi FF "CCS2 (Combo 2)" (kuva 3). Tehollatausasemat voidaan yleensä varustaa molemmilla pistoketyypeillä. (11, s. 35.)



KUVA 2. CHAdEMO latausliitin (13)



KUVA 3. CCS2 latausliitin sekä auton kojevastike (13)

4.5 Kaksisuuntainen lataus

Kaksisuuntaisella latauksella V2G (vehicle-to-grid) tarkoitetaan sitä, että sähköautoa ladataan verkosta mutta sähköautosta voidaan myös ottaa sähköä verkkoon päin. Toisin sanoen molemmissa päissä olevat energialähteet voivat sekä luovuttaa että vastaanottaa sähköenergiaa. Sähköautoissa on suuri ja nopeasti energiaa luovuttava akusto, joka voi toimia väliaikaisena energiavara-astona. (14.)

Kaksisuuntaista latausta voisi hyödyntää hyvin esimerkiksi kotitaloudessa, joka hyödyntää aurinkoenergiaa. Tässä tapauksessa sähköauto säilöisi väliaikaisesti aurinkosähköjärjestelmien tuottaman ns. ylimääräisen sähköenergian, jota kotiverkossa ei sillä hetkellä tarvita. Auringonpaisteen loppuessa voisi auton akuista ottaa sähköenergiaa kotitalouden käyttöön. Tästä järjestelmästä käytetään termiä V2H (vehicle-to-home), järjestelmä antaisi myös lisäturvaa sähkökatkokkien varalle. (14.)

5 LASKUTUS

Latausjärjestelmän toteutus on mahdollista tehdä niin, että yksittäinen lataustapahtuma voidaan laskuttaa lataajalta. Latausjärjestelmän tulee tässä tapauksessa sisältää energiamittaus- ja käyttäjätunnistusjärjestelmät. Lisäksi tarvitaan tausta- tai ohjausjärjestelmä. Yleisimmät tunnistustavat lataustapahtumalle ovat PIN-koodi, RFID tai mobiilisovelluspohjaiset ratkaisut. (11.)

Yksinkertaisimmillaan laskutus voidaan toteuttaa taloyhtiössä niin, että nimetyn pysäköintipaikan latauspäteen laskutus tapahtuu hoitovastikkeen yhteydessä kuukausittain ja tasauslasku 1 - 2 kertaa vuodessa tai kiinteällä kuukausimaksulla. Tämä tapa ei ole välttämättä kovin tasapuolinen ratkaisu, hybridauton omistajalle kyseinen laskutus voi käydä kalliiksi, kun taas sähköauton omistajalle halvaksi. (15.)

Taustajärjestelmien tarve vaihtelee kohteesta riippuen. Julkisissa latauspisteissä voidaan tarvita taustajärjestelmä, latausavaimet sekä mobiilisovellus, taloyhtiössä voi riittää pelkästään latausavain ja laskutusjärjestelmä, pientalossa ei tarvita välttämättä mitään taustajärjestelmää. (11.)

Julkisissa latauspisteissä laskutus toteutetaan pääsääntöisesti laskutusoperaattoreiden kautta. Latauspisteessä tunnistaudutaan operaattorin tunnuksilla tai RFID-tunnisteella ja ladataan auto, jonka jälkeen operaattorilta tulee lasku maksettavaksi. Nämä edellä mainitut laskutustavat vaativat rekisteröitymistä operaattorin palveluun. Laskutusoperaattoreita on useita Suomessa. Esimerkkitapauksessa, jota käsitellään luvussa 6, laskutus toteutetaan laskutusjärjestelmällä sekä RFID-tunnisteilla.

6 SUUNNITTELU JA MITOITUS

Sähköautojen latausjärjestelmän suunnittelu alkaa kiinteistön tarvekartoituksella. Tarvekartoituksella selvitetään hankinnan tarpeellisuus tai jo olemassa olevan tilan muutostarve. (16, s. 6.)

6.1 Tarvekartoitus

Latausjärjestelmien tarvekartoituksessa asiakas toteaa latauspaikkojen määrätavoitteen. Uudisrakennuksessa rakennuttaja päättää latauspaikkojen kokonaismäärän direktiivin 2010/31/EU § 8 mukaisena tai varautumalla tätä suurempaan määrään latauspaikkoja. Tarvekartoituksen tavoitteena on selvittää latauspaikkojen määrä lähtötiedoksi myöhempiä suunnitteluja varten. Liittymä mitoitetaan lataustarpeen mukaan ottaen huomioon arvioidut tulevaisuuden lisäkapasiteettitarpeet. (16, s. 6.)

6.2 Kuormanhallinta

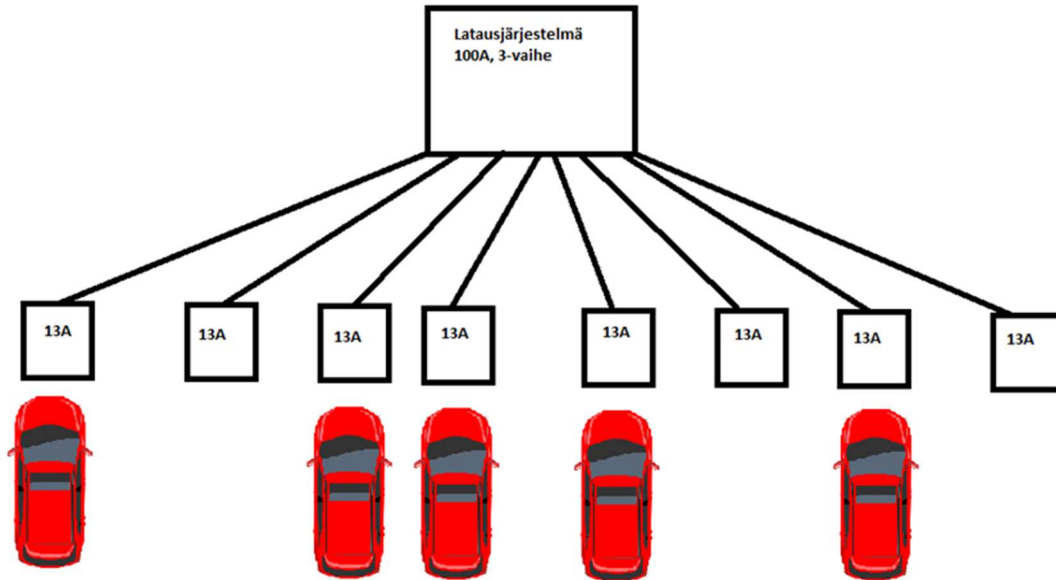
Kuormanhallintaa käyttäen voidaan latausratkaisu toteuttaa kohdetta vastaavasti ottaen huomioon nykyinen pääsulakkeen koko sekä käytettävissä olevat kaapeloinnit. Kuormanhallinnassa käytetään joko tavallista tai dynaamista kuormanhallintaa. (16, s. 6.)

6.2.1 Tavallinen kuormanhallinta

Latauslaitteen tavallinen kuormanhallinta rajoittaa kuorman kaikille autoille huippukuormituksen mukaan, riippumatta lataavien autojen lukumäärästä. Kuvassa 4 esitetään esimerkki kyseisestä kuormanhallinnasta.

Tavallista kuormanhallintaa käytetään tyypillisesti tilanteessa, jossa olemassa olevia kaapelointeja ja/tai pääsulakkeen kokoa ei uusita. Tässä tapauksessa tehoa on näin ollen rajoitettava olemassa olevien sähköasennusten takia. Kyseisessä kuormanhallintatapauksessa kapasiteettia varataan siis turhaan myös latureille, joissa ei ole autoa. Tavallisessa kuormanhallinnassa ei myöskään pys-

tytä rajoittamaan helposti sähköautojen latauksen kuormaa kiinteistön muiden kuormien kytketyessä päälle kuten seuraavaksi esitettävässä dynaamisessa kuormanhallinnassa pystytään tekemään. (16, s. 7.)



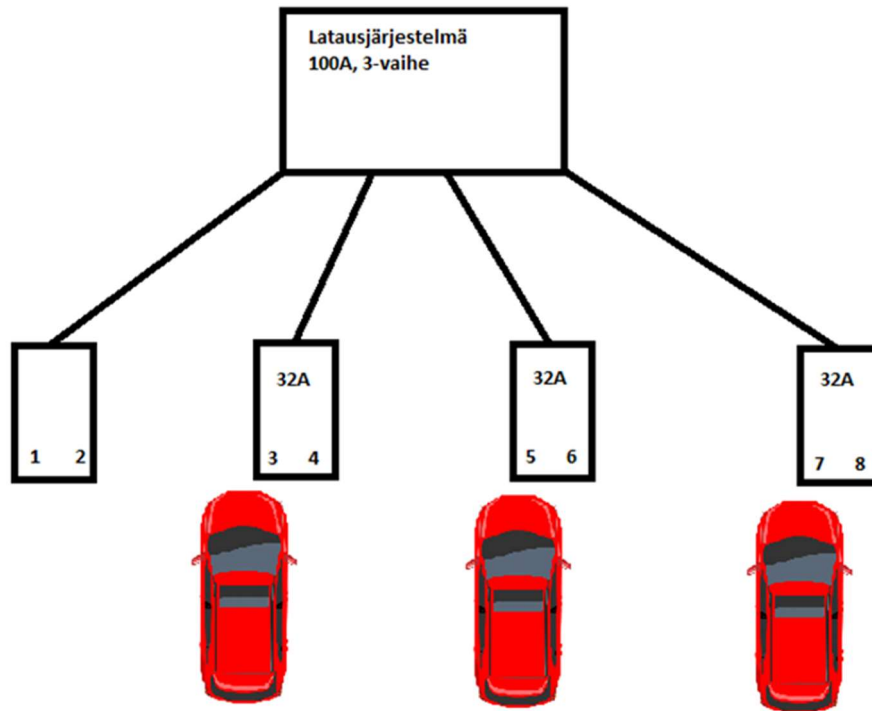
KUVA 4. Tavallinen kuormanhallinta: ladattavien autojen lukumäärä ei vaikuta lataustehoon, näin ollen jokainen auto saa ladata maksimissaan 13 A:n virralla

6.2.2 Dynaaminen kuormanhallinta

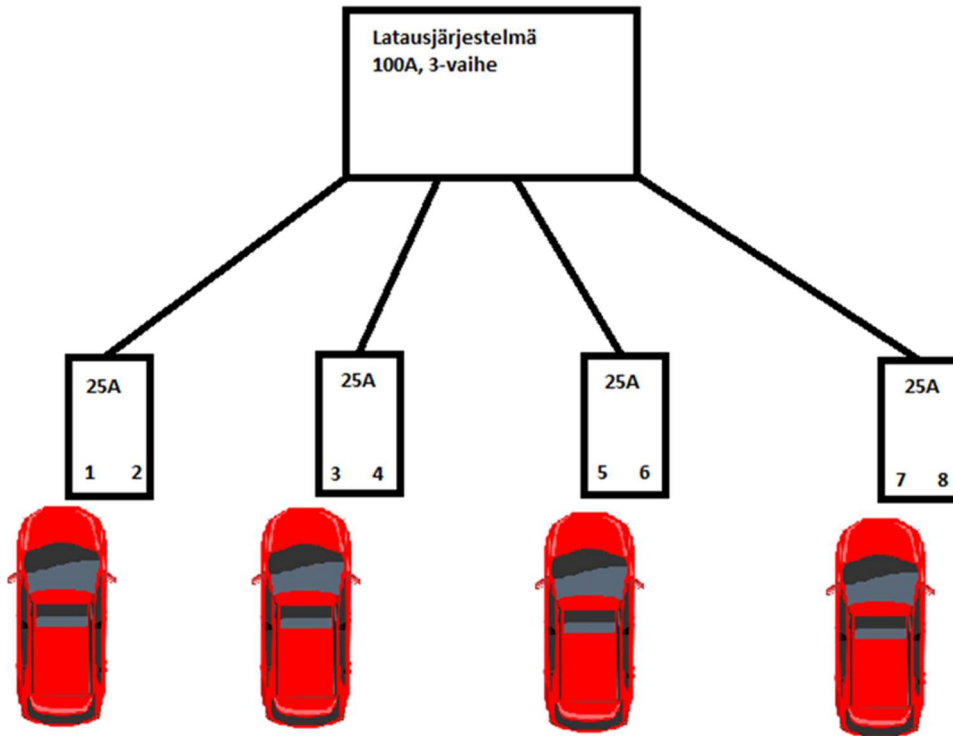
Dynaaminen kuormanhallinta tasaa suurinta sallittua kuormaa automaattisesti kaikkien ladattavien autojen kesken, huomioiden myös kiinteistön muut energian kuluttajat. Dynaamisella kuormanhallinnalla voidaan siis noudattaa kiinteistön sähkönsyötön ja muun kuorman asettamia rajoja ja tarjota useampi tehokas latauspiste. (16, s. 7.)

Paras hyöty saadaan kaapeloimalla latausjärjestelmän jokainen latauspiste sen salliman maksimitehon mukaan (kuvilla 5 ja 6 se on 32 A). Uudis- ja saneerauskohteiden suunnittelun alkuvaiheessa kannattaa ottaa huomioon mahdollisuus dynaamiseen kuormanhallintaan. Joidenkin valmistajien laitteistoissa on myös mahdollista ottaa huomioon kiinteistössä sijaitsevien muiden sähkölaitteiden rajoitukset osana latausjärjestelmän dynaamista kuormanhallintaa. (16, s. 7.)

Latauslaitteet voidaan asentaa vaihekiertoa hyödyntäen, jolloin myös dynaamista kuormanhallintaa voidaan käyttää. Vaihekierto edesauttaa optimoimaan ladattavalle sähköautolle syötettävää maksimilataustehoa. (16, s. 7.)



KUVA 5. Dynaaminen kuormanhallinta: ladattavat autot eivät ylitä suurinta sallittua virtarajaa, silti jokainen auto voi ladata latauslaitteen maksimiteholla



KUVA 6. Dynaaminen kuormanhallinta: älykkäät latauslaitteet rajoittavat automaattisesti virran sal-
littuun 100 A raja-arvoon ottaen huomioon ladattavien autojen lukumäärän

6.3 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheessa selvitetään latausjärjestelmän suunnittelun ja toteutuksen vaatimuk-
set. Lähtötietona käytetään edellä tehtyä tarvekartoitusta, jonka tuloksena asiakkaan tai rakennut-
tajan tarpeet on tiedossa. (16, s. 12.)

Hankesuunnitteluun sisältyy tietojen kerääminen latausjärjestelmän loppuun suunnittelemiseksi ja
toteuttamiseksi. Hankesuunnitelmassa käsitellään myös olemassa olevan kiinteistön tekniset muu-
tostarpeet latausjärjestelmän toteuttamiseksi. Mikäli on mahdollista, uudiskohteessa voidaan tehdä
myös alustava huipputeholaskelma. (16, s. 12.)

Hankesuunnittelussa tehdään yleensä kustannusarvio järjestelmälle ja voidaan sopia järjestelmä-
toimittajan kanssa alustava kaupallinen sopimus. Mikäli kuormanhallinta toteutetaan, sen tyypistä
päätetään viimeistään tässä vaiheessa. Hankesuunnitteluvaiheen jälkeen voidaan tehdä investoin-
tipäätös latausjärjestelmästä ja se luo pohjan toteutussuunnittelulle. (16, s. 12.)

6.4 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa voidaan tehdä sähkötasopiirustukset mallialueelle ja asemapiirrookseen. Jos oma järjestelmäkaavio latausjärjestelmästä katsotaan tarpeelliseksi laatia (suositellaan laajoissa järjestelmissä), se laaditaan myös yleissuunnitteluvaiheessa. Järjestelmätoimittajan periaatekaavio on hyvä julkaista osana yleissuunnitelma-aineistoa, jotta toteutussuunnittelu alkaa oikein. (16, s. 16.)

Yleissuunnitteluvaiheessa tulee huomioida myös kohteen huipputeholaskelma, pääkaavio ja sähkörakennustapaselostus. Sen lisäksi otetaan huomioon nousujohtokaaviot sekä periaatekaaviot yleiskaapeloinnista, energianmittauksesta ja rakennusautomaatiosta. Järjestelmätoimittajien liityntöihin ja lähtötietoarvoihin perustuen latausjärjestelmä pystytään ottamaan sähkösuunnittelussa huomioon muiden kuormitusten tavoin. (16, s. 16.)

Kun latausjärjestelmässä käytetään kuormanhallintaa, latausjärjestelmän huipputeho määräytyy kuormanhallintaan asetetusta tehosta. Tämä teho kannattaa säilyttää huipputeholaskelmassa ilman tasauskertoimia. Kuormanhallinnalla voidaan asettaa tehoja alemmas, jos laskelmien mukaan liittymä tai sähköverkon osa nousee liian suuritehoiseksi olemassa olevaan järjestelmään verrattuna tai uudiskohteessa haluttua tasoa korkeammaksi. (16, s. 16.)

Suosittelavaa olisi käyttää aina kuormanhallintaa. Jos kuormanhallintaa ei käytetä, tulee mitoituksessa huomioida latausjärjestelmä ilman tasauskertoimia. Mitoituksessa täytyy huomioida asiakkaan vaatimat varaukset järjestelmän laajentamiseksi. Kun kuormanhallintaa ei ole ratkaisuna, eikä saneerauskohteessa latausjärjestelmän huipputehoa voida toimittaa, tulee suunnittelijan ja asiakkaan yhdessä päättää, millaisella käytön tasauskertoimella latausjärjestelmä huomioidaan kiinteistön liittymässä. Järjestelmän johdotus ja sulakkeet mitoitetaan toisiaan vastaaviksi. (16, s. 17.)

6.5 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa kehitetään yleissuunnitelma niin, että sen perusteella voidaan tehdä hankinnat sekä tuotemäärittelyt. Toteutussuunnittelu sisältää tuote- sekä järjestelmäosasuunnittelun (16, s. 19). Toteutussuunnitteluvaiheessa tehdään kattavat sähköpiirustukset sekä työselostus.

6.6 Sähköajoneuvon latauspisteiden lisäys olemassa olevaan kiinteistöön

Tässä esitetään esimerkkitapaus Oulun ammattikorkeakoululle tulevien sähköauton latauspaikkojen mitoituksesta. Suunnittelun aluksi selvitetään kohteen sähkönjakeluverkon ominaisuudet ja kuormitukset, sähköajoneuvojen tarpeet ja niiden täyttämisen edellytykset. Esimerkissä asiakas haluaa rakentaa aluksi kaksi latauspistettä. Halutaan myös selvittää, montako latauspistettä nykyisellä sähkönjakelulla on mahdollista lisätä. Oletuksena on, että latauspisteitä rakennetaan lisää tulevaisuudessa.

6.6.1 Kohteen lähtötiedot ja latauspaikkojen tarve

Pääkeskuksen mitoitusvirta on 3 x 1250 A. Pääkeskuksen kuormitushuippu on noin 60 kW, joka on noin 3 x 90 A. Isoja varalähtöjä on tarjolla useita mm. 63 A, 125 A ja 250 A. Pääkeskus sijaitsee paikoitusalueen läheisyydessä.

Latauksesta saatavien ajokilometrien määrän arvioinnissa voidaan käyttää Liikenneviraston henkilöliikennetutkimuksen tuloksia. Tuloksien perusteella suomalainen liikkuu keskimäärin 15 kilometriä yhdellä siirtymällä ja 41 kilometriä päivän aikana. Tutkimustuloksiin perustuen voidaan ajatella, että latauksen aikana saadaan vähintään 50 km ajosädettä, joka on laskettu kaavalla 1

$$\frac{50 \text{ km} * 0,20 \text{ kWh/km}}{1 \text{ h}} = 10 \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \rightarrow 3 \times 16 \text{ A lataus (11 kW)} \quad (1)$$

100 kilometriä 1 tunnin latauksella saadaan kaavasta 2

$$\frac{100 \text{ km} * 0,20 \text{ kWh/km}}{1 \text{ h}} = 20 \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \rightarrow 3 \times 32 \text{ A lataus (22 kW)} \quad (2)$$

6.6.2 Kuormanhallinnan vaikutus mitoitukseen

Kuormanhallinnan vaikutus mitoitukseen riippuu siitä, tehdäänkö latausjärjestelmä kuormanhallinnalla vai ilman. Jos latausjärjestelmä tehdään ilman älykästä (dynaamista) kuormanhallintaa, täytyy mitoitus tehdä huippuvirtatilanteen perusteella. Oletuksena on tällöin, että kaikki lataukset ovat täydellä teholla saman aikaisesti.

Jos älykäs järjestelmä toteutetaan, mitoitus voidaan tehdä keskimääräisten virtojen perusteella. Järjestelmää voi kuitenkin ylimitoittaa tästä tasosta, koska matalampien kulutushetkien aikaan järjestelmästä on saatavilla enemmän virtaa. Tässä tapauksessa on huolehdittava kuormituksen valvonnan lisääminen kaikkiin tarpeellisiin runkojohtoihin. Kyseessä on sähkölaboratorion keskus, joten varatehoa on syytä jättää enemmän kuin normaalissa liikekiinteistöissä. Pääkeskuksen käytävissä oleva huippuvirta lasketaan kaavalla 3.

$$\text{huippuvirta} = \text{mitoitusvirta} - \text{kuormitushuippu} - \text{varateho (20\%)} \quad (3)$$

$$3 \times 1250 \text{ A} - 3 \times 90 \text{ A} - 0,2 * 3 \times 1250 \text{ A} = 3 \times 900 \text{ A}$$

- ➔ 50 km / 1 h (3 x 16 A) latauspisteitä voisi toteuttaa ilman kuormituksen valvontaa korkeintaan 56 kpl
- ➔ 100 km / 1 h (3 x 32 A) latauspisteitä voisi toteuttaa ilman kuormituksen valvontaa korkeintaan 28 kpl

Kuormituksen valvonnalla voitaisiin kaksinkertaistaa latauspisteiden lukumäärä, jos pääkeskuksen kuormitus muuten pysyy samana.

6.6.3 Mitoitus

Kun esimerkkikohteeseen lisätään latauspisteitä, on jokainen liitäntäpiste suojattava mitoitus toimintavirrallaan enintään 30 mA tyyppin A vikavirtasuojalla. Liitäntäpisteet pitää suojata ylivirtasuojalla (17, s. 10). Kyseisessä tapauksessa suojaukseen käytetään sulaketta sekä vikavirtasuojakintä.

Latauspisteen teho on enintään 22 kW. Mitoitetaan sulakkeet tähän. Lasketaan ensin virta tehon avulla kaavalla 4.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U_p * \cos \varphi} \quad (4)$$

$$I = \frac{22 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V} * 1}$$

missä

I = virta (A)

U_p = pääjännite (V)

$\cos \varphi$ = jännitteen ja virran välisen vaihekulman cosini

Kaavaa 3 käyttäen saadaan virraksi laskettua 31,75 A. Valitaan taulukosta 3 sulakkeeksi 35 A gG-sulake. Taulukosta 3 voidaan myös katsoa, että kyseiselle sulakkeelle johtimen kuormitettavuus on oltava vähintään 39 A.

TAULUKKO 3. Johdolta vaadittu kuormitettavuus käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana (18, s. 76).

gG tyyppisen sulakkeen nimellisvirta A	Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883

Latauspisteet asennetaan noin 20 metrin päähän keskukselta. Johto kulkee hyllyasennuksena, pinta-asennuksena sekä menee läpiviennin kautta ulos. Kohteessa lämpöeristeen paksuus on 200 millimetriä.

Johtimen poikkipinta-ala valitaan edellä laskettujen arvojen mukaisesti. Kohteen kaapeloinnin asennustapoina käytetään hyllyasennusta (E – ilma) ja pinta-asennusta (C – pinta). Taulukon 5 perusteella voidaan todeta, että täytyy tarkastella vain saraketta C (pinta-asennus), koska siinä on pienempi kuormitettavuus. Todettiin että 35 A:n sulake tarvitsee johdon, jossa kuormitettavuus on vähintään 39 A. Lisäksi täytyy laskea läpiviennin korjauskerroin kuormitettavuuteen kaavalla 5, johon korjauskerroin katsotaan taulukosta 4.

$$\frac{\text{kuormitettavuus}}{\text{korjauskerroin}} = \text{minimi kuormitettavuus} \quad (5)$$

$$\frac{39 A}{0,68} = 57,35 A$$

Näin ollen saadaan laskettua minimi kuormitettavuudeksi 57,35 A. Katsotaan taulukosta 5 tälle arvolle sopiva kaapeli sarakkeesta C. Jos asennus tehdään kuparijohtimella, poikkipinta-alan täytyy olla vähintään 10 mm² ja alumiinijohtimella 16 mm².

TAULUKKO 4. Korjauskertoimet kun kaapeli vietään lämpöeristeen läpi (18, s. 16).

Lämpöeristeen paksuus mm	Korjauskerroin
50	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

TAULUKKO 5. Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla (18).

Johtimen poikkipinta-ala [mm ²]	SFS-6000:n mukaiset asennustavat			
	A uppo	C pinta	D maa	E ilma
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	144	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	225
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

7 YHTEENVETO

Sähköautojen määrä on kasvanut kovalla vauhdilla ja tulee vielä kasvamaan. Myös latausverkkoon on luvassa lisää kasvua. Sähköautoja koskevia säädöksiä ja ohjeistuksia päivitetään koko ajan. Tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikana ehti SESKOn lataussuositus päivittyä sekä standardeihin on tulossa uudistuksia. Ajan tasalla pysyminen vaatii siis koko ajan alalla tapahtuvien muutoksien seuranta.

Sähköautojen latausjärjestelmien suunnitteluun on saatavilla jo suhteellisen monipuolisesti tietoa ja ohjeistuksia. Tässä työssä perehdyin sähköautoihin ja niiden latausjärjestelmiin sekä suunnittelin esimerkkitapauksena Oulun ammattikorkeakoululle tulevien sähköauton latauspaikkojen sähköistämisen.

Laskutus on helppo toteuttaa laskutusoperaattoreiden kautta julkisissa latauspisteissä. Taloyhtiössä laskutus on toteutettavissa esimerkiksi kiinteällä kuukausimaksulla tai hoitovastikkeen yhteydessä ja pari kertaa kuussa tasauslaskulla.

Työn tavoitteena oli tehdä suunnitteluohje julkisen rakennuksen sähköauton latausjärjestelmän suunnitteluun. Työssä käytiin läpi keskeisimmät asiat sähköautoista sekä suunnittelun etenemisestä ja mitoitettiin esimerkkikohteelle latauspaikat.

LÄHTEET

1. Teknologiateollisuus 2021. Sähköisen liikenteen tilannekatsaus. Hakupäivä 3.3.2021. https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2020%20Q4%20S%C3%A4hk%C3%B6inen%20liikenne%20tilannekatsaus%202021%2002%2018%20jaettava_0.pdf.
2. Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latausvalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020. Hakupäivä 3.3.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200733>.
3. Traficom 2020. Sähköauto. Hakupäivä 2.11.2020. <https://www.traficom.fi/fi/ajavaihtoehtoa/sahkoauto>.
4. Traficom 2019. Ladattava hybridauto. Hakupäivä 2.11.2020. <https://www.traficom.fi/fi/ajavaihtoehtoa/ladattava-hybridi>.
5. Motiva 2020. Sähköautot. Hakupäivä 2.11.2020. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/nain-liikut-viisaas-ti/valitse-auto-viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot>.
6. Traficom 2020. Henkilöautojen ensirekisteröinnit 2016–2020. Hakupäivä 2.11.2020. https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Ensirekisteroinnit/010_ensirek_tau_101.px/.
7. Motiva 2020. Hybridauto. Hakupäivä 3.11.2020. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/nain-liikut-viisaasti/valitse-auto-viisaasti/autotyyppi/hybridauto>.
8. Motiva 2020. Hybridautotyypit. Hakupäivä 3.11.2020. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/nain-liikut-viisaas-ti/valitse-auto-viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/hybridautot/hybridautotyypit>.

9. SESKO 2021. Sähköautot ja latausjärjestelmät. Hakupäivä 3.3.2021. https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat.
10. SESKO 2021. Lataussuositus. Hakupäivä 3.3.2021. https://www.sesko.fi/files/1210/SESKO_lataussuositus_2021-02-17.pdf.
11. ST-käsikirja 41 2019. Sähköautot ja latausjärjestelmät. Hakupäivä: 10.12.2020. <https://www.sahkoinfo.fi/product/1613>. Vaatii käyttöoikeuden.
12. Sähkömaailma 2020. Sähköauton lataaminen kotipistorasiasta. Hakupäivä 19.11.2020. https://www.sahkoala.fi/koti/sahkoautot/fi_FI/Lataaminen_kotipistorasiasta_on_riski/.
13. PlugIt. Latauspistoketyypit. Hakupäivä 3.3.2021. <https://latauslaitteet.fi/artikkelit/latauspistoketyypit-sahkoautoille/>.
14. Moottori 2020. Audin tutkimus: sähköauto osaksi sähköverkkoa – toimisi verkon tai talouden puskurivarastona. Hakupäivä 10.1.2021. <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/audin-tutkimus-sahkoauto-osaksi-sahkoverkkoa-toimisi-verkon-tai-talouden-puskurivarastona/>.
15. ST-käsikirja 51.90 2018. Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus. Hakupäivä: 11.12.2020. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/3937>. Vaatii käyttöoikeuden.
16. Ensto. Suunnittelijan opas. Sähköautojen latausjärjestelmien huomioiminen kiinteistöjen sähkösuunnittelussa. Hakupäivä 6.2.2021. <https://www.ensto.com/globalassets/whitepapers/suunnittelijan-opas-sahkoautojen-latausjarjestelmat.pdf>.
17. SFS 6000-7-722:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7–722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. Hakupäivä 6.11.2020. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/SFS/ID2/6/534639.html.stx>. Vaatii käyttöoikeuden.

18. SFS 6000-5-52:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Hakupäivä 6.11.2020. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/SFS/ID2/6/537541.html.stx>. Vaatii käyttöoikeuden.
19. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Julkaisija: Sähköinfo Oy. Hakupäivä: 1.3.2021. <https://www.sahkoinfo.fi/product/1400>. Vaatii käyttöoikeuden.