

Eetu Uusivirta

SÄHKÖAUTON LATAUSASEMAN SÄHKÖINEN MITOITTAMINEN

SÄHKÖAUTON LATAUSASEMAN SÄHKÖINEN MITOITTAMIEN

Eetu Uusivirta
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Eetu Uusivirta

Opinnäytetyön nimi: Sähköauton latausaseman sähköinen mitoittaminen

Työn ohjaajat: Vesa Keränen (ELTEL), Marko Kukkola (OAMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 30

Työn toimeksiantajana toimi Eltel Networks Pohjoinen Oy. Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä sähköauton latausjärjestelmiin ja niiden sähköiseen mitoittamiseen sekä mitoittamisessa huomioitavaan tekijöihin. Työssä esitellään myös sähköajoneuvojen lataustapoja sekä latausasemiin liittyviä standardeja ja määräyksiä. Työssä tarkastellaan myös hieman sähköauton latausasemien tilannetta Suomessa.

Työn loppupuolella esitellään laskelmia johdon kuormitettavuuteen ja jännitealenemaan liittyen sekä valittiin sähköauton latausasemaa syöttävät kaapelit sekä suojalaitteet. Laskelmissa käytetään SFS standardien taulukoita kaapeleiden kuormitettavuuksille sekä korjauskertoimille. Lisäksi työn lopussa pohditaan kuormitettavuuden vaikutusta. Kaapeleille asetettu virta-arvo määrittää paljonko kaapelia voidaan kuormittaa. Kuormitettavuuteen vaikuttaa mm. kaapelin asennustapa sekä asennusolosuhteet.

Asiasanat: Sähköajoneuvon latausasema, sähköajoneuvo

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

Author: Eetu Uusivirta

Title of thesis: Electrical Dimensioning of EV Charging Station

Supervisor(s): Vesa Keränen (ELTEL), Marko Kukkola (OAMK)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 30

The goal of the thesis was to learn about charging stations for electric vehicles (EV) and related standards. The purpose of the work was also to learn about the electrical dimensioning of charging stations. This thesis presents an example of calculations for the electrical dimensioning of a charging station. The work also looks a little at the situation of electric car charging stations in Finland.

The work examines the factors affecting the current carrying capacity. In the final part of the work, the right protection devices, and correctly sized cables for charging stations were chosen.

Keywords: EV charging station, electric vehicle (EV)

SISÄLLYS

TERMIT JA KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 SÄHKÖAUTOJEN LATAUSASEMAT SUOMESSA.....	8
3 SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUSTAVAT	10
3.1 Lataustapa 1.....	10
3.2 Lataustapa 2.....	10
3.3 Lataustapa 3.....	11
3.4 Lataustapa 4.....	11
4 STANDARDIT, LAIT JA OHJEISTOT	13
4.1 Lait ja asetukset	13
4.2 Standardit.....	14
4.3 ST-julkaisut.....	15
5 SÄHKÖINEN MITOITUS	16
5.1 Suojalaitteet.....	16
5.2 Asennustavat.....	17
5.3 Asennusolosuhteet.....	18
5.3.1 Lämpötila	19
5.3.2 Maan lämpöresistiivisyys	20
5.3.3 Viereiset virtapiirit.....	20
5.4 Jännitteenalenema	21
6 TOTEUTUS	23
6.1 Kuormitettavuus	23
6.2 Jännitteenalenema	25
7 KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUS.....	27
8 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	28
LÄHTEET.....	29

TERMIT JA KÄYTETYT LYHENTEET

A	Ampeeri, sähkövirran yksikkö
AC	Vaihtovirta
AFIR	EU: n Vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuria koskeva asetus
ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus
DC	Tasavirta
TEN-T	Euroopan laajuinen liikenneverkko
W	Watti, tehon yksikkö
Super Schuko	Suurempaa jatkuvaa kuormitusta kestävä yksivaiheinen pistorasia
V	Voltti, jännitteen yksikkö

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Eltel Networks Pohjoinen Oy. Eltel Networks on Pohjoismaissa toimiva sähkö- ja tietoliikenneverkkojen rakentamiseen ja huoltamiseen erikoistunut yritys. Eltel on toimijana Suomen suurin teknisten palveluiden tuottaja sähkö- ja tietoliikenneverkkojen osalta. Eltelillä on Suomessa työntekijöitä 1 500 ja toimintaa 52 toimipisteellä ympäri Suomen. (1.)

Suomessa sähköautojen latausinfrastruktuuri laajenee kovaa vauhtia täyssähköautojen ja ladattavien hybridien määrän lisääntyessä. Opinnäytetyön kirjoitushetkellä tuoreimman tiedon mukaan sähköauton latauspisteitä Suomessa oli yli 11 000, joista suurteholatauspisteitä 2 300. Viime vuosina sähköautokannan kasvun merkittävimpiä tekijöitä on ollut ARA:n myöntämä tuki, jonka avulla taloyhtiöt ovat voineet rakentaa kotilatauspisteitä. (2.)

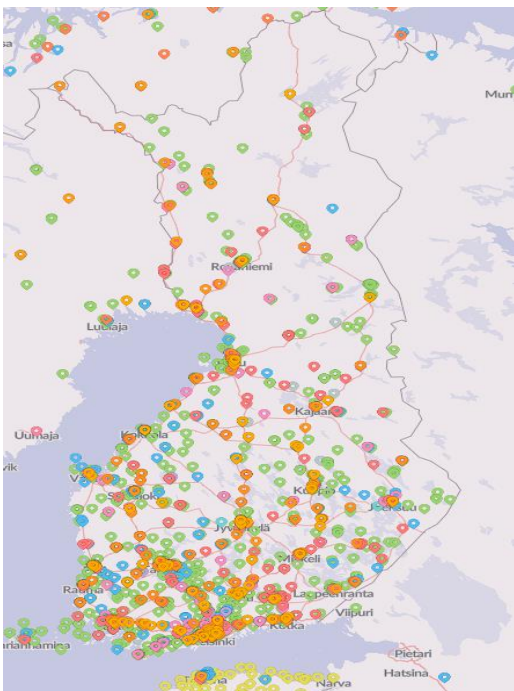
Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä sähköauton latausasemiin ja niiden sähköiseen mitoittamiseen sekä esittää, mitkä tekijät vaikuttavat mitoittamiseen. Työssä käsitellään myös hieman sähköauton latausasemiin liittyvää lainsäädäntöä ja standardeja, joihin mitoitus perustuu. Työn toteutusvaiheessa perehdytään kaapelien kuormitettavuuteen sekä jännitealeneman vaikutukseen latauspisteen ja muuntamon välillä. Esimerkkinä käytettiin neljän latauspisteen latausasemaa.

2 SÄHKÖAUTOJEN LATAUSASEMAT SUOMESSA

Sähköautokanta Suomessa on viime vuosina kasvanut paljon ja vuoden sisällä sähköautokanta on lähes kaksinkertaistunut. Sähköautokanta pitää sisällään sekä ladattavat hybridit että täyssähköautot. Lisääntyneen sähköautokannan myötä latausinfra määrä on myös kasvanut.

Latausinfra kasvuun tulevaisuudessa vaikuttaa nk. AFIR-asetus, jonka tavoite on lisätä vaihtoehtoihin käyttövoimiin siirtymistä ja kehittää latausinfrastruktuuria. AFIR-asetus on osana EU:n 55-valmiuspakettia, jossa tavoitteena on vähentää EU:n kasvihuonekaasujen päästöjä vuoden 1990 tasoista vuoteen 2030 mennessä 55 %. (3.)

AFIR-asetuksen vaikutus henkilöautoliikenteeseen näkyisi sähköauton latausasemien määrän kasvuna. Henkilöautojen sekä alle 3,5 t painavien kuorma-autojen vähimmäistehovaatimukset täyttäviä latausasemia tulisi löytyä TEN-T ydinverkolla vähintään 60 km välein vuoden 2025 loppuun mennessä sekä tulisi rakentaa vähintään yksi latauspiste ns. kaupunkien solmukohtiin, joissa esim. rautatiet tai vesireitit yhdistyvät tieverkostoon. (3.) Kuvassa 1 on kartalla havainnollistettuna latausverkoston tämänhetkinen tilanne.



KUVA 1. Sähköauton latausasemat Suomessa (4)

Pääsääntöisesti sähköauton omistajat käyttävät kotilatausta ensisijaisena lataustapana, jolloin akusto voidaan ladata hitaalla latauksella yön aikana, mutta pidemmillä matkoilla tai nopeampaa latausta tarvittaessa on käytettävä julkisia latauspisteitä. Etelä-Suomessa julkisten latauspisteiden määrä on huomattavasti suurempi Pohjois-Suomeen verrattuna. Suurin syy tähän todennäköisesti on Etelä-Suomen suuri asukasluku ja väestön tiheys sekä lyhyet välimatkat. Kuvassa 2 on esitettynä latauskenttien ja latauspisteiden määrä maakunnittain.

Latausverkosto maakunnittain

Latauskentät, latauspisteet & latauspistoketyypit

Maakunta	Normaalitehoinen lataus		Teholataus < 150 kW				Suuritehoinen lataus			
	Peruslataus max 22 kW		CHAdeMO		CCS		CCS		Tesla Supercharger	
	kentät	pisteet	kentät	pisteet	kentät	pisteet	kentät	pisteet	kentät	pisteet
Helsinki-Uusimaa	633	3873	114	134	143	290	53	208		
Pirkanmaa	191	681	29	33	33	61	26	109	1	8
Varsinais-Suomi	187	660	26	30	42	74	27	96	2	20
Pohjois-Pohjanmaa	144	421	38	41	38	70	39	153	1	4
Lappi	137	345	27	32	34	63	37	115	1	8
Etelä-Pohjanmaa	87	319	19	21	18	25	11	52		
Pohjois-Savo	96	315	12	14	18	32	19	73		
Päijät-Häme	67	285	16	20	18	36	16	87	1	8
Pohjanmaa	77	265	25	27	26	31	6	25		
Keski-Suomi	74	250	24	30	22	31	28	118	1	4
Satakunta	84	234	18	19	20	30	15	51	1	6
Kymenlaakso	71	231	11	11	11	17	22	112		
Kanta-Häme	70	207	8	8	9	15	12	49		
Etelä-Savo	60	178	7	8	10	15	16	64		
Pohjois-Karjala	54	160	12	12	18	36	8	26		
Etelä-Karjala	42	159	9	12	8	9	6	21		
Keski-Pohjanmaa	34	96	7	8	8	10	1	6	1	6
Kainuu	38	95	8	8	8	15	15	65		
Ahvenanmaa	20	42	2	2	3	6	1	4		
Yhteensä	2166	8816	412	470	487	866	358	1434	9	64

Osa Tesla Supercharger -asemista on avattu kaikille autoille, ja näkyvät CCS pisteinä ja kenttinä.

KUVA 2. Latausverkosto maakunnittain (2)

3 SÄHKÖAJONEUVOJEN LATAUSTAVAT

Sähköajoneuvojen lataustavat on jaettu neljään eri kategoriaan, jotka on määritelty standardissa SFS-EN IEC 61851-1. Lataustavan määräytymiseen vaikuttaa käytetty tekniikka, jännite ja virta. Ensisijaisesti suositeltuja lataustapoja Suomessa ovat lataustapa 3 ja lataustapa 4. Käytettäessä Sähköajoneuvon lataamiseen tavallista kotitalouspistorasiaa on syytä tarkistaa vakuutusehdot, koska osa vakuutusyhtiöistä asettaa ehtoja tavalliselle kotitalouspistorasialle latauskäytössä. (5, s. 46.)

3.1 Lataustapa 1

Lataustavalla 1 tarkoitetaan pienitehoisten kevyiden sähköajoneuvojen, kuten sähköpyörien tai skoottereiden lataamista sähköverkosta. Syöttävällä puolella käytetään korkeintaan 16 A:n ja 250 V:n yksivaiheista sukopistorasiaa tai 480 V:n normaalia kolmivaihepistorasiaa. (5, s.48.)

3.2 Lataustapa 2

Lataustapaa 2 eli niin sanottua hidasta latausta on tarkoitettu käytettäväksi pääasiallisesti silloin, kun sähköajoneuvon lataamiseen ei ole käytössä siihen tarkoitettua pistorasiaa. Latausjohdon tulee olla määräysten mukainen sekä ohjaus- ja suojalaitteyksikön tulee täyttää standardin SFS-EN 62752 vaatimukset. (6, s. 12.)

Tavalliset kotitalouskäyttöön tarkoitettut pistorasiat eivät kestä suurta pitkäaikaista kuormitusta, joten tällaisesta pistorasiasta ladattaessa latausvirta tulisi rajoittaa 8 ampeeriin. Latausjohdon ja pistorasian välissä on kiellettyä käyttää ns. välikomponentteja esim. energiamittareita tai ajastimia. Välikomponentit eivät kestä pitkäaikaista kuormitusta ja näin ollen aiheuttavat turvallisuusriskin. Tämä ei koske sellaisia välikomponentteja, jotka on tarkoitettu nimenomaan latauskäyttöön. Myös jatkuvaa suurempaa kuormitusta kestäviä pistorasioita on markkinoilla. Ne ovat Super Schuko pistorasioita, joilla mahdollistetaan 16 ampeerin jatkuva kuormitus, Kyseisen pistorasian asennusta suunniteltaessa tulee tarkastaa pistorasiaa syöttävä sähköverkko, jotta se soveltuu 16 ampeerin jatkuvalle kuormitukselle. (6, s. 1–2.)

3.3 Lataustapa 3

Lataustavasta 3 käytetään yleisesti nimitystä AC-lataus tai peruslataus. Sähköajoneuvon lataaminen tapahtuu kiinteästi sähköverkkoon liitetystä latauslaitteesta. AC-latauksessa latausteho on 1,4 kW– 43kW ja latausvirta 6A – 63A. Suomessa yleisimmin käytetty pistoke on kuvassa 3 ylhäällä esitetty tyypin 2 pistoke ja alhaalla on tyypin 1 pistoke, joka on hieman harvinaisempi Suomessa ja se on käytössä japanilaisissa ja yhdysvaltalaisissa autoissa. (5, s. 51–52.)



KUVA 3. Type 2 ja Type 1 pistoketyypit (5)

3.4 Lataustapa 4

Lataustapa 4 tunnetaan myös nimellä teholataus, pikalataus ja DC-lataus. DC- latauksessa sähköajoneuvon akustoon syötettävä tasasähkö muunnetaan erillisellä vaihtosähköverkkoon kiinteästi liitettävällä laturilla. Lataustavassa 4 syötettävä teho voi olla kymmenistä kilowateista jopa satoihin kilowatteihin. Teholatauksessa käytetään kuvan 4 mukaisia pistoketyyppejä. Teholatausjärjestelmiä on mahdollista varustaa myös molemmilla pistoketyypeillä. (5, s. 53.)



KUVA 4. CHAdeMO ja CCS2 (Combo 2) pistoketyypit (5)

4 STANDARDIT, LAIT JA OHJEISTOT

Sähköauton latausasemaa suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon niitä koskevat lait, standardit sekä ohjeistot. Käyttöön otettavan laitteiston tulee täyttää standardien mukaiset vaatimukset. Suunnittelu- ja asennusvaiheessa on hyvä käyttää tukena alan julkaisuja, joista löytyy ohjeita ja esimerkkejä sekä teorian lisäksi myös käytännön esimerkkejä. Laki asettaa vaatimuksia rakennuksien varustamisesta sähköajoneuvon latauspisteillä. Laajamittaisten rakennushankkeiden ja uusien kiinteistöjen sekä niiden paikoitusalueiden rakentamisessa tulee ottaa huomioon varaus sähköajoneuvojen lataamiselle, joka on säädetty laissa 733/2020.

4.1 Lait ja asetukset

Uudisrakentamisessa sekä laajamittaisissa korjausrakentamisessa on huolehdittava, että rakennushankkeen yhteydessä asennetaan riittävä määrä sähköauton latauspisteitä tai tehdään valmius niiden asentamiselle, mikä tarkoittaa kaapelointia latauspisteelle tai putkituksen tai muitten johtoteiden asentamista (7, 2 luku 5§). Tavallista sukopistorasiaa ei laissa hyväksytä latauspisteeksi, eivätkä myöskään paikoitusalueitten lämmitystolpat täytä latauspisteen vaatimuksia. Lämmitystolppien kaapelointia voidaan kuitenkin hyödyntää latauspisteiden rakentamisessa. (5, s. 57.)

Uudet asuinrakennukset, joihin kuuluu enemmän kuin neljä pysäköintipaikkaa, on rakennettava niin, että jokaisella pysäköintipaikalla on valmius latauspisteelle. Rakennuksille, joissa on yli kymmenen pysäköintipaikkaa ja jotka eivät ole asuinrakennuksia on, taulukossa 1 esitettyinä määräykset latauspisteiden lukumäärälle. (7, 2 luku 5§.)

TAULUKKO 1. Latauspisteiden lukumäärä muut kuin asuinrakennukset (5, s.59)

LAKI 733/2020 (5 ja 6 §), MUUT KUIN ASUINRAKENNUKSET		
11–30 paikkaa	1 suuritehoinen tai 1 normaalitehoinen latauspiste	Latauspistevalmius \geq 50 % pysäköintipaikoista
31–50 paikkaa		
51–75 paikkaa	1 suuritehoinen tai 2 normaalitehoista latauspistettä	Latauspistevalmius \geq 20 % pysäköintipaikoista (15 kpl minimi)
76–100 paikkaa		
Yli 100 paikkaa	1 suuritehoinen tai 3 normaalitehoista latauspistettä	

Uuden asuinrakennuksen parkkitalon rakentamisessa sekä laajamittaisessa korjauksessa on myös huomioitava, että tehdään valmius latauspisteelle jokaiselle parkkiruudulle, mikäli kyseessä on hanke, jonka toteuttaminen vaatii rakennusluvan (7, 2 luku 8§).

TAULUKKO 2. Muut latausasemia koskevat lait ja asetukset (6, s.8)

- [767/2021](#) Valtioneuvoston asetus sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta
- [707/2011](#) Mittauslaitelaki
- [478/2017](#) Laki liikenteessä käytettävien vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelusta

4.2 Standardit

Sähköajoneuvojen latausjärjestelmiä koskee standardi SFS 6000, joka velvoittaa yleisesti kaikkia pienjännitesähköasennuksia. Pienjännitesähköasennuksien standardin osa 7–722 Sähköajoneuvojen syöttö koskee erityisesti sähköajoneuvojen latausasemia. (5, s.62) Taulukossa 3 on esitetty myös muita latausasemaan ja sen komponentteihin liittyviä standardeja. Standardien mukaan toimittuna täytetään sähköturvallisuuslain 1135/2016 sekä siihen liittyvien valtioneuvoston asetusten vaatimukset.

TAULUKKO 3. Latausasemia koskevat standardit (5, s. 62)

Standardi	Soveltamisala
SFS 6000-7-722	Latauspisteen asennus ja syöttö
SFS 6008-2	Syöttö ajoneuvosta sähköverkkoon
SFS-EN IEC 61439-7	Latauskeskukset
SFS-EN IEC 61000-6-2 ja -3	Sähkömagneettinen yhteensopivuus
SFS-EN 61140	Suojaus sähköiskulta
SFS-EN 61508	Sähköisten ja ohjelmoitavien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus
ISO 15118	Ajoneuvon ja latausjärjestelmän välinen tiedonsiirto
IEC 63110	Latausjärjestelmien ohjaus
SFS-EN IEC 61851-1	Latauslaitteiden yleiset vaatimukset
SFS-EN IEC 61851-21	Sisäisen ja ulkoisen laturin sähkömagneettinen yhteensopivuus
SFS-EN 61851-23	DC-latausasema
SFS-EN 61851-24	DC-latausaseman ja ajoneuvon välinen tiedonsiirto
SFS-EN 62196-1 ja -2	AC-pistokytin
SFS-EN 62196-1 ja -3	DC-pistokytin
SFS-EN 50620	Latauskaapeli
SFS-EN 62752	Suojalaiteyksikkö (lataustapa 2)
IEC 62955	Tasasähkövikavirran tunnistin
SFS-EN IEC 61980	Johdoton tehonsiirto

4.3 ST-julkaisut

ST-kortisto eli sähkötietokortisto on Sähkötieto ry:n kehittämä ammattitietolähde sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien suunnittelijoille. Yhteisillä tiedoilla edistetään yhtenäisiä ja hyviä tapoja suunnitella ja toteuttaa sekä ylläpitää järjestelmiä. ST-julkaisut pitävät sisällään mm. esimerkkejä, järjestelmäteoriaa ja ohjeita dokumentointiin, suunnitteluun sekä asennukseen. (8.)

Sähköauton latausjärjestelmää suunniteltaessa apuna voidaan käyttää ST-julkaisuja. Sähköauton latausjärjestelmiä käsittelevät mm. ST-käsikirja 41 sähköajoneuvoista ja latausjärjestelmistä sekä ST-kortti 51.90 Sähköautojen lataaminen ja latauspisteiden toteutus.

5 SÄHKÖINEN MITOITUS

Suojalaitteiden ja johtimien valitseminen tulee tehdä oikein, koska se on tärkeä osa sähköturvallisuutta. Oikean johdinpoikkipinnan valitseminen estää kaapelin ylikuumentumisen ylikuormitustilanteissa ja suojaa sekä omaisuutta ja käyttäjää. Sähköisessä mitoituksessa kaapeleiden valintaan vaikuttavat mm. kuormitusvirta, kaapelin asennustapa sekä asennusolosuhteet. Asennusolosuhteiden vaikutukset otetaan huomioon kaapeleiden valinnassa korjauskertoimien avulla.

Kaapelia valittaessa on huomioitava kaapelin johdinmateriaali. Kuparijohdinkaapelia voidaan kuormittaa enemmän kuin samaa poikkipintaa olevaa alumiinijohdinkaapelia. Suojalaitteen koko määritetään sähkölaitteen nimellisvirran perusteella. Nimellisvirta saadaan laskettua, kun tiedossa on laitteen teho.

5.1 Suojalaitteet

Ylikuormitus- ja oikosulkuilanteessa suojalaitteen tehtävä on kytkeä pois syöttö automaattisesti. Nopea syötön automaattinen poiskytkentä estää johtimia, liitoksia ja eristyksiä vahingoittumasta virtapiirin ylikuormitus- tai oikosulkuilanteessa. Ylivirtasuojaukseen voidaan käyttää mm. johdon-suojakatkaisijaa, sulaketta tai katkaisijaa. Sähkölaitteelle valitaan suojalaite nimellisvirran perusteella. Suojalaitteeksi laitteelle valitaan nimellisvirta-arvoltaan suurempi tai yhtä suuri kuin laitteen nimellisvirta. Nimellisvirta saadaan laskettua kaavalla 1.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_p \cdot \cos \varphi} \quad (\text{KAAVA 1})$$

jossa

P = laitteen teho

U_p = pääjännite








I = nimellisvirta

Cosφ = jännitteen ja virran välisen vaihekulman cosini.

5.2 Asennustavat

Asennustavalla on suuri merkitys kaapelin kuormitettavuuteen. Kaapelin ollessa asennettuna niin että se ei pääse jäähtymään kaapelin kuormitettavuus pienenee. Yhdellä kaapeliosuudella voi olla monta eri asennustapaa. Kuormitettavuutta laskettaessa kaapelin kuormitettavuus lasketaan epäedullisimman asennustavan mukaan. Kaapeleitten poikkipinnoille on määritelty kuormitettavuusarvot ampeereina. Kaapeleiden kuormitettavuudelle on pienjännitessandardissa taulukoita, joista voidaan nähdä erikokoisten kaapelipoikkipintojen kuormitettavuusarvoja eri asennustavoilla. Kuormitettavuusarvoa valittaessa on huomioitava johtimen lämpötila, eristemateriaali sekä kuormitettujen johtimien lukumäärä. Taulukossa 4 on PEX- tai EPR-kaapeleiden kuormitettavuusarvoja eri asennustavoilla. (9.)

TAULUKKO 4. Kuormitettavuus ampeereina (9)

Johtimen nimellis- poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukaiset asennustavat						
	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
							
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	17	16,5	20	19,5	22	21	23
2,5	23	22	28	26	30	28	30
4	31	30	37	35	40	36	39
6	40	38	48	44	52	44	49
10	54	51	66	60	71	58	65
16	73	68	88	80	96	75	84
25	95	89	117	105	119	96	107
35	117	109	144	128	147	115	129
50	141	130	175	154	179	135	153
70	179	164	222	194	229	167	188
95	216	197	269	233	278	197	226
120	249	227	312	268	322	223	257
150	285	259	342	300	371	251	287
185	324	295	384	340	424	281	324
240	380	346	450	398	500	324	375
300	435	396	514	455	576	365	419
Alumiini							
2,5	19	18	22	21	24	22	
4	25	24	29	28	32	28	
6	32	31	38	35	41	35	
10	44	41	52	48	57	46	
16	58	55	71	64	76	59	64
25	76	71	93	84	90	75	82
35	94	87	116	103	112	90	98
50	113	104	140	124	136	106	117
70	142	131	179	156	174	130	144
95	171	157	217	188	211	154	172
120	197	180	251	216	245	174	197
150	226	206	267	240	283	197	220
185	256	233	300	272	323	220	250
240	300	273	351	318	382	253	290
300	344	313	402	364	440	286	326

HUOM. 1 Sarakkeissa 3, 5, 6, 7 ja 8 oletetaan johtimien olevan pyöreitä poikkipinta-alaan 16 mm² saakka. Suuremmilla poikkipinta-aloilla arvot viittaavat muun muotoisiin johtimiin ja niitä voi turvallisesti käyttää pyöreisiin johtimiin.

HUOM. 2 PEX-eristeen kaapelin vaipan lämpötila, katso [Taulukko 52.1](#).

5.3 Asennusolosuhteet

Asennusolosuhteilla tarkoitetaan kaapelin kuormitettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Kuormitettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi ilman ja maan lämpötila, maan lämpöresistiivisyys sekä

viereisten virtapiirien vaikutukset. Kaapelin asennustavan lisäksi kuormitettavuuteen vaikuttavat tekijät voidaan huomioida korjauskertoimien avulla, jolloin kaapelin tietyn asennustavan kuormitettavuutta voidaan kasvattaa tai vähentää korjauskertoimien avulla. Kuormitettavuuteen vaikuttavien korjauskertoimien tulo muodostaa kokonaiskorjauskertoimen.

5.3.1 Lämpötila

Maahan ja maahan suojaputkeen asennetuille kaapeleille referenssilämpötilana käytetään +20 astetta. Ilmaan asennetuille kaapeleille käytetään referenssilämpötilana +30 astetta asennustavasta riippumatta. Kaapelin sijoituspaikan poiketessa referenssilämpötiloista käytetään kuormitettavuutta laskettaessa korjauskerrointa. Esimerkiksi maahan asennetulle kaapelille on taulukon 5 mukaisia kertoimia. Ympäristön lämpötila-arvoina on kokemuksen mukaan Suomessa käytetty maahan asennetuille kaapeleille +15 astetta ja ilmaan asennetuille kaapeleille +25 astetta. Oikeilla korjauskertoimilla voidaan tämä toteuttaa. (9.)

TAULUKKO 5. Korjauskertoimet maahan asennetuille kaapeleille (9)

Maan lämpötila °C	Eristys	
	PVC	PEX ja EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

5.3.2 Maan lämpöresistiivisyys

Maahan asennetuilla kaapeleilla kuormitettavuuteen vaikuttava tekijä lämpötilan lisäksi on maan lämmönjohtavuus. Kuivissa olosuhteissa kuormitettavuutta on vähennettävä korjauskertoimen avulla, tällaisissa tapauksissa maan lämpöresistiivisyys on yli 2,5 K m/W. Suomessa on yleisesti käytetty lämpöresistiivisyysarvoa 1,0 K m/W. (9.)

TAULUKKO 6 Maalajien lämpöresistiivisyysarvot (10)

Maalaji	Lämpöresistiivisyys, K m/W
kuiva hiekka (kosteus 0 %)	3,0
kuiva sora tai savi	1,5
puolikuiva sora, suomuta ja hiekka (kosteus 10 %)	1,2
puolikuiva savi ja kostea sora	1,0
kostea savi ja hiekka (kosteus 25 %)	0,7

Taulukossa 7 on esitettyinä lämpöresistiivisyysarvoja vastaavat korjauskertoimet putkiin asennetuille kaapeleille sekä suoraan maahan asennetuille kaapeleille. Korjauskertoimia käytetään, mikäli lämpöresistiivisyysarvo on jokin muu kuin 2,5 K m/W. (9)

TAULUKKO 7 Lämpöresistiivisyyttä vastaava korjauskerroin (9)

Lämpöresistiivisyys, K·m/W	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3
Korjauskerroin putkiin asennetuille kaapeleille	1,28	1,20	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Korjauskerroin suoraan maahan asennetuille kaapeleille	1,88	1,62	1,5	1,28	1,12	1	0,90

5.3.3 Viereiset virtapiirit

Kuormitettavuutta tarkastellessa saman suuntaisten kaapelien kuormitettavuuteen voidaan vaikuttaa kaapelien välisillä etäisyyksillä. Taulukossa 8 on esitettyinä korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle ryhmälle maahan asennuksessa. (10.)

TAULUKKO 8 Korjauskertoimet maahan asennetuille kaapeleille, joissa viereisiä virtapiirejä (10)

Piirien lukumäärä	Kaapelien välinen etäisyys				
	0 m	Yksi kaapelin halkaisija	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
7	0,45	0,51	0,59	0,67	0,76
8	0,43	0,48	0,57	0,65	0,75
9	0,41	0,46	0,55	0,63	0,74
12	0,36	0,42	0,51	0,59	0,71
16	0,32	0,38	0,47	0,56	0,68
20	0,29	0,35	0,44	0,53	0,66

5.4 Jännitteenalenema

Jännitteenalenemalla tarkoitetaan jännitetason tippumista koko kaapelin matkalla. Standardin SFS 6000 mukaan suurin suositeltu jännitteenalenema sähkölaitteiston liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä on 4 % nimellisjännitteestä. Erityisesti pitkillä kaapelivedoilla jännitteenalenema voi muodostua ongelmaksi. Alenemaan voidaan vaikuttaa kasvattamalla kaapelin johtimen poikkipinta-alaa. Kaavalla 2 voidaan laskea kolmivaiheinen jännitteenalenema voltteina. (11.)

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (\text{KAAVA 2})$$

Suhteellinen jännitteen alenema lasketaan kaavalla

$$\Delta U = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% \quad (\text{KAAVA 3})$$

jossa

ΔU = jännitteenalenema voltteissa (V)

I = kuormitusvirta (A)

l = johdon pituus (m)

r = ominaisresistanssi (Ω/m)

x = ominaisreaktanssi (Ω/m)

U_n = nimellisjännite

φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

ΔU = suhteellinen jännitteenalenema (10)

Muuntajan jännitteenalenema voidaan laskea kaavassa 4 esitetyllä tavalla

$$\Delta U = \frac{S}{SN} * (rk \cos \varphi + xk \sin \varphi) \quad (\text{KAAVA 4})$$

jossa

ΔU = muuntajan jännitteenalenema (%)

S = muuntajan kuorma (kVA)

SN = muuntajan nimelliskuorma (kVA)

rk = muuntajan oikosulkuresistanssi (%)

xk = muuntajan oikosulkureaktanssi (%)

φ = muuntajan kuorman, virran ja jännitteen välinen vaiheensiirtokulma (10)

Sähkön laadulle ja jänniteominaisuuksille on standardissa määritellyt rajat, joiden puitteissa jännite saa vaihdella. Esimerkiksi pienjännitejakeluverkossa suurin vaihteluväli on 195.6-253 V. Taulukossa 9 on esitettyinä suositellut jännitealueet sekä jännitteen alenemat. (12.)

TAULUKKO 9. suositellut jännitealueet ja -alenemat (12)

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jännitteenalenema		
	Minimi	Maksimi	Korkea laatu	Normaali laatu	Standardi laatu
Keskijänniteverkko	19 kV	22 kV	± 4 %	± 6 %	95 % ± 10 %
Pienjännitejakelu	196 V	253 V	± 4 %	± 10 %	+10 -15 %
Muuntamo ¹⁾	220V	253V		1-2 %	2-4 %
Pienjänniterunkoverkko	210V	253V		3-5 %	3-7 %
Liittymisjohto ²⁾	207V	253V		1-3 %	1-5 %
Sisäjohtoverkko	198V	253V			1-5 %

6 TOTEUTUS

Työn toteutusvaiheessa mitoitetaan latausasemaa syöttävät kaapelit sekä kaapeleille sopivat suo-
jalaitteet. Esimerkkinä käytetään sähköauton latausasemaa, jossa on neljä kappaletta latauspis-
teitä. Jokainen latauspiste on teholtaan 200 kW, joten latauskentän yhteen laskettu teho on 800
kW. Latauskenttä liitetään suoraan sähköverkkoyhtiön keskijänniteverkkoon, joten latausasema
tarvitsee muuntamon.

Muuntamon koko määräytyy latausaseman kokonaistehon perusteella. Neljän latauspisteen la-
tausaseman kokonaisteho kilovolttiampeereina on 869 kVA. Kokonaistehoa lähinnä oleva muun-
taja olisi tällöin 1000 kVA:n muuntaja. Kyseisellä muuntajakoolla kapasiteettia jää vielä mahdolli-
selle latauspisteiden lisäykselle. Julkisten latausasemien latauspisteet on yleensä sijoitettu niin esi-
merkiksi kauppojen ja huoltoasemien paikoitusalueille, että niitä syöttävää muuntamoaa ei pystytä
rakentamaan latauspisteiden viereen. Pitkä kaapelointimatka voi muodostua ongelmaksi jänni-
tealenemaa tarkasteltaessa. Esimerkissä jännitteenalenema lasketaan 25 m:n etäisyydelle ja 65
m:n etäisyydelle.

Asennustapa kaapeloinnille on D1, joka tarkoittaa, että kaapelit asennetaan putkeen. Putket asen-
netaan hiekkaan, joten korjauskertoimena kuormitettavuutta laskiessa käytetään maan lämpöresis-
tiivisyysarvon 3,0 K m/W mukaista korjauskerrointa. Kaapeleiden kuormitettavuudessa tulee huo-
mioida lämpöresistiivisyyden lisäksi myös maan lämpötila sekä viereiset virtapiirit. Suojalaitteeksi
valitaan gG-tyyppiset kahvasulakkeet.

6.1 Kuormitettavuus

Ensin lasketaan tehon avulla kaavan 1 mukaisesti:

$$\frac{200000W}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot \cos 0,92} = 313,17A$$

Sulakkeeksi valitaan taulukosta 10 laskettua virtaa vastaava sulake, jonka on oltava vähintään yhtä
suuri tai suurempi kuin kuormitustehon mukaan laskettu virta. Sulakekoon lisäksi taulukon toisesta
sarakeesta voidaan nähdä arvo ampeereina, joka johdolla on vähintään oltava.

TAULUKKO 10 gG-tyyppiset sulakkeet (9)

gG-tyyppisen sulakkeen mitoitusvirta A	Johtimen kuormitettavuus vähintään 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

315 A:n sulakkeella johdolle vaadittavan jatkuvan kuormituksen on oltava vähintään 348 A. Suojalaitteen koon selvittämisen jälkeen lasketaan korjauskertoimien avulla virta, joka määrittää johdinpoikkipinnan. Virta I_z jaetaan kokonaiskorjauskertoimella, joka on yksittäisten korjauskertoimien tulo. Korjauskertoimina käytetään maan lämpöresistiivisyydestä johtuvaa korjauskerrointa 0,96, maan lämpötilasta johtuvaa korjauskerrointa 1,04 sekä viereisten virtapiirien vaikutuksesta johtuvaa korjauskerrointa 0,8.

$$\frac{348A}{0,79} = 435A$$

Johdinpoikkipinta valitaan taulukosta 4 asennustavan mukaan. Taulukosta valitaan virta-arvoa lähinnä oleva arvo, joka on yhtä suuri tai suurempi. Latausaseman suuren tehon vuoksi syöttö toteutetaan rinnakkaissyötöllä ja kaapeliksi yhdelle latauspisteelle valitaan taulukosta 2x 4x185mm² AXMK maakaapeli.

6.2 Jännitteenalenema

Latauspistettä syöttävien kaapeleiden jännitteenalenemaa laskettaessa käytetään etäisyytenä 25 m ja 65 m muuntamolta latauspisteelle. Kaapeleiden lisäksi lasketaan myös muuntajan jännitealenemaprocentti. Kolmivaiheinen jännitteenalenema voltteina kaavan 2 mukaisesti. Latausaseman syöttö toteutetaan rinnakkaisyytöllä, joten kaavassa käytettävä virta-arvo on puolet yhden latauspisteen ottamasta kuormitusvirta-arvosta.

AXMK 4x185 maakaapelin resistanssiarvo on $0,181\Omega/\text{km}$ ja reaktanssiarvo $0,082\ \Omega/\text{km}$. 1000 kVA teholtaan olevan sarjan 2 jakelumuuntajan oikosulkuresistanssi R_m on 0,89 % sekä oikosulku-reaktanssi X_m on 5,9%. (12.)

$$157A * 25m * \sqrt{3} * (0,000181\Omega * 0,92 \pm 0,39 * 0,000082\Omega) = 1,3V \quad (\text{KAAVA 2})$$

Suhteellinen jännitteenalenema syöttävälle kaapelille 25 m:n matkalla saadaan laskettua kaavalla 7, kun tiedossa on jännitteenalenema voltteina. Suhteellinen jännitteenalenema tulisi olla alle neljä prosenttia.

$$\frac{1,3V}{400V} * 100\% = 0,3\% \quad (\text{KAAVA 3})$$

Vertailun vuoksi on laskettu jännitteenalenema saman tehoiselle latausasemalle sekä samaa poikkipintaa olevalle maakaapelille matkan ollessa 65 m muuntamon pj-keskukselta latauspisteelle.

$$157A * 65m * \sqrt{3} * (0,000181\Omega * 0,92 \pm 0,39 * 0,000082\Omega) = 3,5V \quad (\text{KAAVA 2})$$

Kolmevaiheinen jännitteenalenema 65 metrin etäisyydellä on 3,5 V. Alla olevassa kaavassa laskettuna suhteellinen jännitteenalenemaprocentti, kun jännite putoaa 3,5 V:iin.

$$\frac{3,5V}{400V} * 100\% = 0,8\% \quad (\text{KAAVA 3})$$

Kaapeleiden lisäksi jännitealenemaan vaikuttaa myös muuntajan jännitteenalenema Kaavassa 4 esitettyinä 1000 kVA muuntajan jännitteenalenemaprocentti kaikkien latauspisteiden käydessä täydellä kuormalla.

$$\frac{800}{1000} * (0,89 * 0,92 + 5,9 * 0,39) = 2,49\% \quad (\text{KAAVA 4})$$

Jännitteenalenema tulisi kokonaisuudessa jäädä alle 4 prosenttiin. Tässä esimerkkitapauksessa muuntamon ja kaapelointiosuuden jännitteenalena olisi 3,29 prosenttia kun kokonaisjännitteen alenemaa tarkastellaan muuntajan lisäksi 65 metrin kaapelointimatalla. 25m:n kaapelointimatalla jännitteenalenema olisi puolestaan 2,79 prosenttia.

7 KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUS

Käyttöönottotarkastuksessa tarkoituksena on varmistaa laitteiston toimivuus ja turvallisuus. Tarkastukseen sisältyy aistinvaraisia tarkastuksia sekä mittalaitteilla suoritettavia testejä. Uuden sähkölaitteiston saa ottaa käyttöön vasta kun käyttöönottotarkastus on suoritettu. Käyttöönottotarkastus vaaditaan myös sähkölaitteiston muutos- ja laajennustöille.

Sähköauton latausasemissa itse latausasema on sähkölaite, jolloin sitä koskee laitestandardi. Käyttöönottotarkastus tehdään sähköturvallisuuslain mukaan kiinteille asennuksille, joten latausaseman tarkastukset tehdään valmistajan ohjeiden mukaan. (6, s. 5.)

Latausasemissa syöttökaapeli on kiinteää asennusta, joten syöttökaapelille tulee tehdä käyttöönottotarkastus. Käyttöönottomittauksiin kuuluu mm. suojamaadoituksen jatkuvuus, eristysresistanssimittaus, vikavirtasuojien tarkastus sekä vikasuojauksen toiminnan toteaminen. Mittausten lisäksi tarkastukseen kuuluu myös aistinvarainen tarkastus. (6, s. 5.)

Käyttöönottotarkastuksen tekijän tulee täyttää tarkastuksen yhteydessä käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Pöytäkirjasta tulee käydä ilmi laitteiston rakentajan nimi, sähkötöiden johtaja sekä yleiskäyttö tarkastusmenetelmistä sekä testausten tulokset. Käyttöönottotarkastuspöytäkirjana voidaan käyttää ST-kortistosta löytyvää ST 51.91 sähköajoneuvojen latausjärjestelmille tarkoitettua pöytäkirjapohjaa.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tavoitteena oli perehtyä sähköajoneuvojen latauslaitteisiin sekä tuottaa sähköiseen mitoikseen liittyviä laskelmia, jotka täyttävät standardien mukaiset vaatimukset. Työ haastoi ajattelemaan kaapeleiden kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä, joilla voidaan vaikuttaa latausasemaa syöttävien kaapeleiden poikkipinta-alan. Nopeiden pikalatausasemien tehot ovat kasvaneet suuriksi kehittyneiden sähköajoneuvojen myötä. Suuret kuormitukset kasvattavat myös syöttävien kaapeleiden poikkipinta-alaa. Standardien mukaan mitoitetuilla kaapeleilla lämpötila raja-arvot eivät pääse ylittymään

Opinnäytetyö oli aiheeltaan ajankohtainen sekä antoi hyvän mahdollisuuden perehtyä sähköajoneuvojen latauslaitteisiin tarkemmin. Opinnäytetyön myötä opittua asiaa latauslaitteista sekä sähköisestä mitoituksesta tulen varmasti hyödyntämään työelämässä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

1. Eltelnetworks. Hakupäivä 15.12.2023. <https://www.eltelnetworks.fi/>
2. Sähköinen liikenne. E-mobility 2023. Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q3/2023. Hakupäivä 20.12.2023. <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/sites/emobility/files/inline-files/2023%20Q3%20Sa%CC%88hko%CC%88inenLiikenne%20tilannekatsaus%202023%2011%2003%20jaettava.pdf>
3. Plugit. AFIR asetus siivittää siirtymää kohti päästövähennystavoitteita ja latausinfrastruktuurin kehittymistä. Hakupäivä 10.01.2023. <https://plugit.fi/artikkelit/afir-asetus/#afir-asetus>
4. Latauskartta. Hakupäivä 27.12.2023. <https://latauskartta.fi/>
5. ST-käsikirja 41 Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät. Hakupäivä 13.12.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/7385>. Vaatii lisenssin.
6. Sesko 2023. Sähköajoneuvojen lataussuositus. Hakupäivä 29.12.2023. https://sesko.fi/wp-content/uploads/2023/06/SESKOn-lataussuositus-6-painos_2023-05-18.pdf
7. Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020. Hakupäivä 29.01.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2020/20200733>
8. Sähkötieto ry. Hakupäivä 04.01.2024 <https://www.sahkotieto.fi/>
9. SFS 6000-5-52:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 10.01.2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/SFS/ID2/6/1141214.html.stx>. Vaatii lisenssin.
10. D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Uudistettu painos. Sähköinfo Oy

11. Hietala Niko 2015. Johdon mitoitus ja suojaus. Lahden ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 15.01.2024.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91053/Hietala_Niko.pdf?sequence=2&isAllowed=y

12. Energiateollisuus. Verkostosuositus SA 2:21 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen.