



SÄHKÖAUTOJEN LATAUSINFRAN ESISUUNNITTELU

Antti Kyrö

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2013
Sähkötekniikan ko.
Sähkövoimatekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu

Sähkötekniikan ko.
Sähkövoimatekniikka

ANTTI KYRÖ:

Sähköautojen latausinfra esisuunnittelu

Opinnäytetyö 55 sivua, josta liitteitä 5 sivua

Maaliskuu 2013

Sähköauton massatuotantoa ollaan aloittamassa tai on jo aloitettu monissa teollisuusmaissa. Suomessa sähköauton yleistymistä katukuvassa jarruttavat haastavat sääolosuhteet ja korkea verotus. Latausasemien ja latauspisteiden kehittämistä ja markkinoille tuloa jarruttaa kesken oleva standardointi. Sekä maailmanlaajuinen, että Euroopanlaajuinen standardisointi on vielä monilta osin kesken ja uusia standardeja ollaan joko julkaisemassa tai valmistelemassa.

Eri valmistajat kuten ABB ja Ensto, ovat julkaisseet ja tuoneet markkinoille omia versioitaan lataus-aseista. Erivalmistajien mallit eroavat toisistaan paitsi ulkonäöltään, myös joiltain osin ominaisuuksiltaan. Markkinoilla on tarjolla kolmea erikokoista latausnopeutta käyttävää latausasemaa. Latausnopeudet ovat hidaslataus, keskinopea lataus ja pikalataus. Latausasemat vaativat lataustehon mukaan erilaisia mitoituskriteerejä kaapeleiden ja suojausten suhteen.

Suomen vuosittainen sähköenergiantuotanto riittää kattamaan sähköauton lataukseen tarvittavan latausenergian, vaikka jokaisella ajokykyisellä suomalaisella olisi sähköauto. Ilman että latausta kyetään porrastamaan, huippukulutuksen piikki ylittyisi yli kaksinkertaisesti. Tällöin Suomen omatuotanto ei riitä kattamaan sähköauton latauksenkulutusta, vaan jouduttaisiin ostamaan tuontisähkö ulkomailta tai rakentamaan lisää tuotantokapasiteettia.

Tasavirralla tehtävät lataukset saattavat aiheuttaa verkkoon harmonisia yliaalloja. Yliaalloja voidaan torjua erilaisilla suodattimilla. Yliaallot saattavat summautua nollajohdissa. Tästä syytä nollajohdin yleensä mitoitetaan suuremmaksi kuin vaihejohtimet. Vaihtovirralla tapahtuvista latauksista ei ole yliaallojen kannalta samanlaista haittaa verkon virtaan kuin tasajännitelatauksella.

Asiasanat: sähköauto, pikalataus, yliaallot

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical engineering
Power electrical engineering

ANTTI KYRÖ:
Charging of electric car

Bachelor's thesis 55 Pages, appendices 5 Pages
March 2013

Mass production of electric car is started or has already started in many industrialized country. The electric car is not common in Finland at the moment, because of high taxes and hard weather conditions. In this moment that is very difficult to charge electric car in Finland. There is so few charging point in Finland that those are hard to find. Charging stations are so few in the markets, because of standards which are unaccomplished from many aspects. The new standards will publish in the near future. Few different company like ABB and Ensto have made and launch on the market they own version of charging point. Those models are different compare to each other in geometry and some electrical insulation. There are three different charging speeds in the market. They are slow charging speed, medium charging speed and fast charging speed. Charging points require different kind of design criterions about cables and fuses depending on charging power. Production of energy is enough to charge electric cars even if every Finnish people would be own electric car. Without that there is any change to disturbed charging the peak on Finnish power consumption goes over even twice. That is the situation that own production of Finland is not enough and Finland would have to buy extra power from neighbor countries. The other objection would be that Finland will build more power stations. Direct current may have effect harmonic weaves in electrical network. There is change to prevent damage helpful with different kind of filters. Harmonic weaves can increase effect of each other in zero isochrones. That is why zero isochrones are usually bigger than phase conductors. Alternating current, charging has no the same kind of harm to the network flow as the DC load.

Key words: electric car, harmonic weaves, charging point

SISÄLLYS

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO.....	6
2 SÄHKÖAUTO JA SÄHKÖAUTON LATAUS	7
2.1 Latauksen standardit	8
2.1.1 Standardi IEC 61851-1.....	9
2.1.2 Latausasemia ja lataustilanteita koskevat standardit.....	9
2.2 Lataukset suomessa.....	11
2.3 Latausasemien pistokekytkin vaihtoehdot	11
3 LATAUSASEMIEN OMINAISUUDET	13
3.1 Ensto EVC-latausasema.....	13
3.2 Ensto EVP-latauspiste.....	14
3.3 IGL-Technologies oy latausasema.....	15
3.4 ABB eCahger single, latauspistoke	16
3.5 ABB Terra 52, pikalatausasema	17
4 MUUNTAJAN MITOIUS	19
5 SUOJALAITTEIDEN JA KAAPELIEN MITOIUS	22
5.1 Syöttökaapeli muuntajalta jakokaapille	23
5.2 Syöttökaapeli pikalatausasemalle Terra 52.....	24
5.3 Syöttökaapelit ABB:n ja Samaticin 32 A latausasemille.....	25
5.4 Syöttökaapelit Enston latausasemille ja Samaticin 16 A latausasemalle.....	25
5.5 Oikosulkusuojat	26
5.6 Jännitteen alenema	29
5.7 Latausasemien syöttöjen sähkökuva	31
6 LATAUSASEMIEN VAIKUTUKSET VERKKOON.....	32
6.1 Suuntaajien vaikutukset verkkoon	33
6.2 Suodattimet	34
6.3 Pikalatausaseman yliaallot.....	37
6.4 Yksivaiheisen latauksen yliaallot.....	42
7 LOPPUPÄÄTELMÄT	47
LÄHTEET.....	49
LIITTEET	51

LYHENTEET

EVP	Ensto Chago point
EVC	Ensto Chago pole
k	Kilo
V	Voltti
W	Watti
h	Tunti
ISO	International Organization for Standardization
IEC	International Electro technical Commission
SFS	Suomen standardisoimisliitto
A	Ampeeri
TAKK	Tampereen aikuiskoulutuskeskus
s	Sekunti
Hz	Hertsi
F	Faradi
T	Tera
G	Giga
THD	Total harmonic distortion

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä sähköautojen latausvirtojen vaikutukseen sähköverkon suhteen. Työssä tutkitaan viittä erilaista latausasemaa. Esimerkkilatausasemina käytetään Tampereen aikuiskoulutuskeskukseen testikentälle asennettavia ja sinne suunniteltuja latausasemia. Tarkoituksena on tutkia asemia esimerkkien kautta Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen koekentällä ja niiden vaikutusta sähköverkkoon yleisesti. Tutkittavina latausasemina ovat ABB:n latausasema tavallisella latausnopeudella 3x32 ampeerin liitännällä sekä vastaavasti pikalatausasema mallia terra 52. Lisäksi ovat Enston kaksi erilaista latausasemaa, jotka ovat malliltaan EVP sähköauton latauspiste sekä EVC sähköauton latausasema. Enston mallit eroavat toisistaan siten, että EVC on reilun metrin korkea latausasema, kun taas EVP on pienikokoisempi. EVP:n voi asentaa joko seinälle tai sähkötolpan nokkaan. EVP ei tarjoa liitin vaihtoehtona muuta kuin Schuko – liittimen. Sen sijaan EVC - latausasema tarjoaa Schukolle vaihtoehdoisen latausliitännän. Viides ja viimeinen tutkittava latausasema on IGL-Technologies oy:n, mallia Samatic. Latausasemassa on joko yksi 16 ampeerin ja 3x32 ampeerin liitin tai vaihtoehtoisesti kaksi 16 ampeerin liitintä. Näitä viittä latausasemaa tutkitaan latausvirtojen ja yliaaltojen avulla. Päähuomio yliaaltoja tutkittaessa on pikalatausasemalla, joka käyttää ladatessaan tasavirtaa. Työn ohella mitoitetaan latausasemia syöttävä jakelumuuntaja sekä asemille menevät syöttöjohdot ja niiden sulakesuojaukset. Työssä ei käsitellä vaikutuksia keskijänniteverkkoon tai 400 kV:n kantaverkkoon.

2 SÄHKÖAUTO JA SÄHKÖAUTON LATAUS

Sähköauto tarjoaa tulevaisuuden vaihtoehdon nykyisin yleisesti käytössä oleville polttomoottoriautoille. Tämänhetkisellä tekniikalla sähköauton aiheuttamat päästöt ovat pienemmät kuin polttomoottoriauton. Sähkömoottorin hyötysuhde on polttomoottoria parempi, mutta polttomoottorin hukkalämpö mahdollistaa matkustamon lämmittämisen kylmissä olosuhteissa. Sähköautojen yleistymisen kannalta on tärkeää voittaa kuluttajien luottamus sähköautoja kohtaan. Se helpottaisi sähköautojen tuomista laajemmin markkinoille. Korkeaa hintaa alentaisi sähköautojen laajempi massatuotanto. Tällä hetkellä myös sähköautojen lataus pitkillä matkoilla on hankalaa vähäisten latausasemien vuoksi. Fortum on sitoutunut toteuttamaan verkoston, joka mahdollistaisi sähköautojen pitkänmatkan lataukset pohjoismaisten pääkaupunkien välillä. Latausasemia olisi tarkoitus tulla noin 50 kappaletta pääteiden varsille. Lisääntyvän latauksen tarpeisiin tärkeä osa sähköverkkojen kehitystä on varautuminen etukäteen sähköautojen latauksiin liittyviin haasteisiin. Huomiota tulisi kiinnittää etenkin kotitalouksissa lisääntyvään sähköautojen lataukseen ja siihen varautumiseen kiinteistöjen sähkösuunnitelmien osalta.

Suomen mittasuhteissa suuressa kaupungissa Tampereella oli vuoden 2012 huhtikuusta peräisin olevan tiedon mukaan kahdeksan sähköauton latausasemaa. Asemat sijaitsevat Tampereen sähkölaitoksella Ratinassa, Stockmanin parkkihallissa, Lielahden Prismassa, P-Frenckelissä sekä Tampereen aikuiskoulutuskeskuksessa Nirvassa. Vuoden 2012 joulukuussa oli tarkoitus avata latausasemat P-hämppiin ja Tampereen teknilliselle yliopistolle. Samaisen tiedon mukaan Tampereelle on rekisteröity kolme täysin sähkökäyttöistä autoa. Tämä tarkoittaa sitä, että Tampereella olisi kolminkertainen määrä latauspistokkeita rekisteröityihin ajoneuvoihin verrattuna. Sähköauton haltijan näkökulmasta auton saanti lataukseen keskustassa olisi siis kohtuullisen todennäköistä, vaikka aikuiskoulutuskeskuksen latausasemat ovatkin lähinnä koe ja testikäytöissä. Maan laajuisesti sähköautoja oli syksyn tietojen perusteella käytössä noin 150 kpl. [2]

Esimerkiksi Norjassa ollaan sähköautojen yleistymisessä paljon Suomea edellä. Norjassa sähköautot ovat vapautettu auto- ja arvonlisäverosta toisin kuin suomessa, mikä hidastaa sähköautojen yleistymistä maassamme. Norjassa on lisäksi olemassa jo lähes tuhat sähköauton latausasemaa. Suomessa latausasemia on lähinnä vain etelän suurissa kaupungeissa. Norjassa rekisteröitiin 25.4.2012 tuhannes Nissan Leaf merkinen sähkö-

auto. Tämän innoittamana Sunderlandissa aletaan valmistaa Nissan Leafia Euroopan markkinoilla ja tavoitteena on valmistaa noin 70 000 kappaletta vuonna 2015.

Sähköautojen akkutekniikan voidaan odottaa kehittyvän huimaa vauhtia. Tällä hetkellä akkujen koot vaihtelevat välillä 15 -30 kWh, joka mahdollistaa 100–150 km ajomatkan kertalatauksella. Kotitalouksissa latausaika on tällä hetkellä kahdeksasta kymmeneen tuntia. Tasasähköllä lataavat pikalatausasemat kykenevät lataamaan 30 kWh kokoisen akun aikavälillä kymmenestä minuutista kolmenkymmen minuuttiin. [2]

2.1 Latauksen standardit

Sähköautojen ja sähköautojen lataukseen liittyvät standardit laativat ISO- ja IEC-komiteat. Näistä ISO on kansainvälinen standardisointi järjestö (International Organization for Standardization) ja IEC on kansainvälinen sähköalan standardisointiorganisaatio (International Electrotechnical Commission). Järjestöjen työnjako toteutetaan siten, että ISO ja sen useat eri komiteat vastaavat sähköautoihin liittyvästä standardisoinneista ja IEC sekä sen eri komiteat autojen lataukseen liittyvästä standardisoinnista. IEC:n työnkuvaan kuuluu valmistella standardisointi latausjärjestelmiin, pistokytkeisiin, akkuihin sekä muihin lataukseen liittyviin komponentteihin. Latauksen standardisointia hoitaa kolme eri komiteaa. IEC TC 69:lle kuuluvat latauksen standardointi, IEC TC 21:lle akkukennojen standardointi ja IEC SC 23H:lle pistokytkeiden standardisointi. Sähköautojen standardisointiin liittyy lisäksi verkon haasteet, jotka verkostostandardeja tekevien komiteoiden on myös huomioitava omassa työssään. [3]

Sähköautoja koskevat standardit ovat edenneet siten, että latauksen turvallisuutta koskevat standardi IEC 61851-1 ja litiumionikenoja koskevat standardit IEC 62660-1 ja -2 ovat julkaistu vuonna 2010. Pistokytkeistä koskeva standardi IEC 62196-1 ja -2 ilmentyivät 2011. Latausjärjestelmien sähköasennuksia koskeva standardi IEC 60364-7-222 on valmistelu vaiheessa ja se tullaan todennäköisesti julkaisemaan vuonna 2013. Suomessa standardeja julkaisee SFS 6000, johon sähköauton latauksia koskevia standardeja tulee painosta uudistettaessa. Euroopassa maailmanlaajuiset IEC-standardit tulevat käyttöön EN-standardeina. Ne ovat joko sellaisenaan hyväksytyjä standardeja tai eurooppalaiseen tapaan muunnettuja IEC-standardeja. [3]

2.1.1 Standardi IEC 61851-1

Standardi IEC 61851-1 koskee sähköautojen lataustekniikkaa kun autot ovat kytkettynä sähköverkkoon liitäntä johdolla. Syöttöjännitteet ovat enintään 1000 V vaihtojännitteellä tai 1500 V tasajännitteellä. Erilaisia lataustekniikoita on standardin määrittelyn mukaan neljä. Lataustavat jaetaan seuraavasti:

- Lataustekniikka1. Lataustekniikka on yksivaiheinen lataustekniikka kotitalouksissa olevilla pistokekytkimillä. Lataus tapahtuu vaihtosähköllä.
- Lataustekniikka2. Tämä lataustekniikka toteutetaan määrittelyn mukaan kotitalouksissa olevilla pistokekytkimillä tai voimapistokekytkimillä. Voimapistokelatauksessa vikavirtasuojakytkinten ja muiden suojausten tulee sijaita auton oman liitäntäjohdon kotelossa. Molemmat lataukset ovat kolmivaihelatauksia. Voimavirralla lataus on kolmivaiheinen ja kotitalouspistokekytkimellä yksivaiheinen. Voimavirran lataus saa olla enintään 32 A.
- Lataustekniikka3. Lataustekniikka on informatiivinen ja siinä on informaation siirron mahdollistava pistokekytkin, joka sisältää ohjauskoskettimet. Tätä pistokekytkintä koskee standardi IEC 62196-2. Lataus on kolmivaiheinen vaihtosähkölataus, jossa maksimi virta on 63 A.
- Lataustekniikka4. Lataustekniikka koskee latausta, jossa latauslaite on autosta erillään oleva laturi. Lataus tapahtuu suuritehoisella tasasähköllä. Tätä latausta varten olevaa pistokekytkintä koskee standardi IEC 62196-3. [3]

Sähköautojen yleistymisen kannalta oleellisia lataustekniikoita ovat tekniikat 1 ja 2, koska voidaan olettaa, että aluksi lataus tapahtuisi pääasiassa kotitalouksissa. Tulevaisuuden kannalta merkittävä lataustapa saattaa olla 3. Älyverkkojen kannalta tällä lataustavalla kyetään siirtämään informaatioita. Autonvalmistajat perustavat pikalataukset tapoihin 3 ja 4.

2.1.2 Latausasemia ja lataustilanteita koskevat standardit

Komitean IEC TC 69 vastuulle kuuluvat latausasemien standardit. Standardit ovat valmisteluvaiheessa ja ne on tarkoitus julkaista loppuvuodesta 2012 ja vuoden 2013 alussa. Vaihtosähköllä toimivaa latausasemaa koskee standardi IEC 61851–22 ja tasasähköllä toimivaa latausasemaa standardi IEC 61851–23. Standardi IEC 61851–21 määrittää

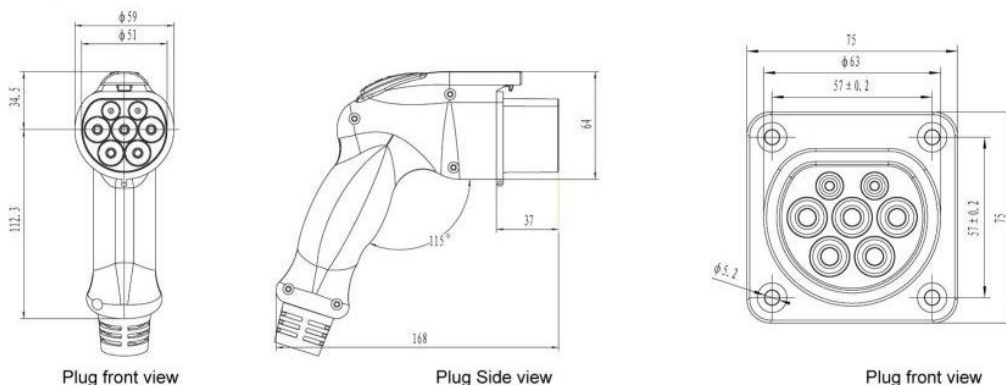
lataustilanteen turvallisuutta koskevat säädökset autossa ja latausjärjestelmässä. Myös tämä standardi on valmisteluvaiheessa kuten kaksi edellistä.

Latauksissa on mahdollista käyttää useita erilaisia pistokytkin vaihtoehtoja. Hitaissa latauksissa, jotka tapahtuvat kotitalouksissa, voidaan käyttää normaalia kotitalouspistoketta, jossa latausvirta on enintään 16 A ja latausjännite 230 V. Toinen hitaiden latausten pistokekytkin vaihtoehto on suomalais-eurooppalaisen standardin SFS-EN 60309-2 mukainen voimavirtapistoke. Käytettäessä lataustekniikan 3 mukaista kolmivaiheista vaihtovirtalatausta, pistokekytkimen tulee noudattaa maailmanlaajuista IEC 62196-2 standardia. Standardissa määritellään kolme erilaista pistokytintä, jotka ovat amerikkalais-japanilainen, saksalainen tai italialainen vaihtoehto. [3] [4]



Kuva 1. Lataustekniikan 3 pistokytin mallit. [5] [6]

Ensimmäisenä kuvassa 1 on amerikkalaisjapanilainen (TYPE1), toisena saksalainen (TYPE2) ja kolmantena italialainen (TYPE3) versio. SESKO on valinnut suomessa käytettäväksi versioksi saksalaisen version.



Kuva 2. Saksalainen versio TYPE2 [7]

Lataustavan 4 pistokekytkimiin, jotka lataavat tasasähköllä, on valmisteilla standardi IEC 62196-3. Se on tarkoitus muuttaa Euroopan EN-standardiksi siten, että Euroopassa olisi käytössä yhtenäinen pistokytkin kaikkialla. [3]

2.2 Lataukset suomessa

Suomessa on työpaikoilla ja kerrostalojen paikoitusalueilla käytössä auton lämmitystolppia kylmiä talvikelejä varten. Suomella on näin ollen moniin muihin Euroopan maihin nähden oivallinen tilaisuus hyödyntää näitä olemassa olevia tolppia sähköautojen latauksessa. Lämmitystolpat sopivat johdotuksen puolesta hitaisiin latauksiin. Olemassa olevissa lämmitystolpissa on kuitenkin ongelmia, jotka vaativat muutoksia, että ne soveltuisivat sähköautojen latauksen käyttötarkoitukseen. Lämmitystolpat ovat varustettuja kellokytkimillä, joissa suurimman osan lämmitysaika on kaksi tuntia. Hitaan latauksen tarvitsema aika on kahdeksan tuntia tai enemmän. Lisäksi lämmitystolpissa saattaa olla tehonrajoituksia tai lämpötilaohjauksia, joita pitäisi muuttaa tai poistaa. Tolpista puuttuvat myös latauksenmittaus- ja latauksenvalvontajärjestelmä. Mikäli lämmitystolpista saatavia lataustehoja haluttaisiin esimerkiksi työpaikoilla kasvattaa, olisi huomiotava tolppien sulakekoot sekä kaapelien poikkipintojen muutokset. Lisäksi tolpissa voidaan joutua pohtimaan asuntopaikoilla ja työpaikoilla järjestelmää, jolla käyttäjät tunnistetaan ja estetään ulkopuolisten lataus työmaan tai asuntoyhtiön paikoilla.

Uusissa rakennettavissa kotitalouksissa voidaan jo varautua sähköautojen yleistymiseen, vaikka asennuksia koskevat standardit ovat vasta valmistelu vaiheessa. Suositeltavaa on, että ajatellut latauspistorasiat johdotetaan ketjuittain. Tällöin varaudutaan mahdollisiin tehon muutoksiin paremmin. Lisäksi kaapelit olisi hyvä asentaa suojaputkeen, jolloin mahdollinen johtojen ja kaapelien vaihto tai lisäys olisi helpompaa. [3]

2.3 Latausasemien pistokekytkin vaihtoehdot

Latausasemien valmistajat ilmoittavat asemien liitännä mahdollisuudet tiedoissaan joko Mode 1, 2, 3 tai 4.



Kuva 3. Latauspistoke vaihtoehdot [8]

Kuvassa 3 on kolme erilaista liitännä mallia. Ensimmäinen vasemmalta kuvaa liitännätäpaa Mode1 ja 2. Keskimmäinen liitännä Mode3 ja viimeinen Mode4. Liitännöistä voidaan käyttää myös nimitystä Schuko tai Mennekes. Näistä liitännöistä Schuko tarkoittaa kotitalouspistokkeen liitännää ja Mennekes Saksalaismallista voimavirta liitännää. Valmistajat voivat myös yhdistellä liitännä mahdollisuuksia, jolloin latausasemasta löytyy sekä Mode2, että Mode3 liityntämahdollisuus. [3]

Pääasiassa latausnopeuksia on kolme hidas, keskinopea ja nopea lataus. Hidas lataus jonka teho on 3,5 kW vaihtosähköllä, lataa akun täyteen kymmenessä tunnissa. Lataustavassa on kyseessä kotitalouspistokkeella toteutettava tapa (Mode1 ja Mode2). Lataustapa tarkoittaa tapaa, jossa on 1 x 16 A lataus mahdollisuus. Latausjännite on 230 V.

Keskinopea tai niin sanottu normaali lataus lataa 22kW teholla vaihtosähköllä. Kyseessä voi olla joko yksivaiheinen tai monivaiheinen lataus. Pistokekytkin on edellä mainittu TYPE2 mallinen suomalaisessa latauksessa (Mode3). Johdotus on malliltaan 3 x 32 A tai 1 x 32 A, latausjännitteellä 110–500 V. Mode3 lataustapa lataa 30 kWh akun vajaan kahdessa tunnissa. Lataustapa sopii myös älyverkkoihin (Smart Grid).

Nopea lataus eli pikalataus on nimensä mukaisesti erittäin nopea lataus, jolla saa 30 kWh kokoisen akun 80 % varustasoon puolessa tunnissa. Lataustavassa käytetään tasasähkölle sopivaa pistoketta (Mode4). Latausjännite on 400V ja virta 120 A tasavirtaa. Lataustapa on iso investointi, eikä siksi oikein sovellu kotitalouksiin, vaan huolto- ja palveluasemille.

Lisäksi käytössä on vähemmän markkinoitu ja tuntemattomampi induktioperiaatteella toimiva latausperiaate. Siinä auto ajetaan latauspisteelle ja lataus tapahtuu autossa olevien induktiokelojen avulla niin sanotusti langattomasti. [3]

3 LATAUSASEMIEN OMINAISUUDET

Tutkittavia latausasemia Tampereen aikuiskoulutuskeskukselle on suunnitteilla viisi erilaista. Mukana ovat kolme eri valmistajaa ABB, Ensto ja Samatic. ABB:ltä on kaksi latausasemaa, nopeasti lataava ja keskinopeudella lataava asema. Enstolta on kaksi hie- man erityyppistä latausasemaa, jotka ovat toiminnaltaan aika samankaltaisia pelkästään hitaalla nopeudella lataavia latausasemia. Samaticilta on myös kaksi latauspistettä. Toi- sessa on sekä hidas, että keskinopea lataus. Toisessa on pelkästään hidas lataus.

3.1 Ensto EVC-latausasema

EVC -latausasema on tyypiltään maksullinen asema, joka on tarkoitettu työpaikoille, kadunvarsille ja muhin julkisiin paikkoihin. Muotoilultaan se on tolppamainen, jolla on haettu sopivuutta katukuvaan. Aseman ominaisuuksiin kuluvat käyttäjän tunnistus, joka tapahtuu joko RFID-kortilla tai matkapuhelimella. RFID-tunnistus tarkoittaa tunnistus- ta, joka tehdään langattomasi radioaaltojen avulla. Asema soveltuu normaaliin latauk- seen, joka tapahtuu yksivaiheisella 16 A liitännällä tai sitten keskinopealla latauksella, joka toimii 32 A kolmivaihelatauksella. EVC -latausasema noudattaa IEC 61851-1 – standardia. [9]



Kuva 4. EVC-latausasema [9]

Latausaseman tekniset tiedot ovat valmistajan sivuilta.

Tekniset tiedot:

- Liitäntä autoon: Vaihtoehtoisesti: a) Mode1 -lataus 1xSchuko-liitin b) Mode3 -lataus 1xType2 -liitin tai 1xType3 -liitin c) Mode1 + Mode3 -lataukset 1xMode1 -liitin + 1xMode3 -liitin
- Lataustilan indikointi Kolmivärinen LED-merkkivalo
- Yhtäaikaista käyttäjiä: 1
- Tiiviysluokka: IP44
- Nimellisjännite: 230/400 V
- Nimellisvirta: 16 A ja/tai 3x32 A
- Nimellistaajuus: AC 50Hz
- Standardit: IEC 61851-1, EN60439-1, EN60439-2
- Syöttöliittimet: Cu 2.5-50mm², Al 6-50mm²
- Turvallisuusominaisuudet: Vikavirtasuojaus (RCD), autokaapelin kytkentä virrattomana, kaikki sähköiset osat lukittavan suojakannen alla, matala ohjausjännite 24 VDC

3.2 Ensto EVP-latauspiste

EVP-latauspiste on kooltaan edellistä EVP-latausasemaa pienempi. Se soveltuu käytettäväksi esimerkiksi parkkihalleissa tai kotona autotallissa. EVP-latauspiste soveltuu myös maksulliseen lataukseen. Lisäksi siitä löytyy kuten EVC-latausasemasta 16 A yksivaiheinen lataus sekä 32 A kolmivaiheinen lataus. Myös EVP -latausasema noudattaa IEC 61851-1 – standardia. [10]



Kuva 5. EVP-latauspiste [10]

Latausaseman tekniset tiedot ovat valmistajan sivuilta.

Tekniset Tiedot:

- Tyyppi EVP050.12 tai EVP070.12
- Standardit: IEC 61851-1, EN60439-1, EN60439-3, LVD 2006/95/EV, EMC 2004/108/EC
- Liitäntä autoon: 2x Schuko tai 1x Mode3, Type2 pistorasia
- Latausteho maksimi: 3,6kW, 22kW
- Ominaisjännite: 230V/400V 3-vaihe
- Ominaisvirta: 2x16A tai 3x32A
- Ominaistaajuus: AC 50/60Hz
- Ulkoinen ohjaus: Kytkinohjaus RS485
- Syöttöliittimet: Cu 2,5–50 mm², Al 6-50 mm²
- Tiiviysluokka: IP44
- Turvallisuusominaisuudet: Vikavirtasuojaus (RCD), ylivirtasuojaja, latauskaapelin kytkentä virrattomana, matala ohjausjännite 24VDC

3.3 IGL-Technologies oy latausasema

IGL:n latausasema perustuu kiinteään maksuun etukäteen eli on malliltaan eTolppa. Maksaminen ja aktivointi ovat suunniteltu toimivaksi SMS-viestillä tai NFC:lla. Tarvitava latausaika ja teho ovat säädettävissä web-käyttöliittymän kautta. Latausjännitteet ja -virrat ovat samoja kuin edellisilläkin normaaleilla latauksilla eli 16 A ja 32 A. IGL – latausasema on kuten edelliset standardin IEC 61851-1 mukainen. [11]



Kuva 6. Samatic-latausasema [11]

Tekniset tiedot ovat valmistajan sivuilta:

- Oikosulkukestoisuus $I_{cw} < 10 \text{ k A}$
- EMC käyttöympäristö 1 ja 2
- Suojaus sähköiskulta Kotelointi ja maadoitus
- 16 A/250 VAC ja 32 A/400 VAC
- kWh-mittaus, tarkkuus $> 2 \%$

3.4 ABB eCahger single, latauspistoke

ABB:n normaali nopeuksinen latausasema on yksipaikkainen latausvaihtoehto, joka muistuttaa muodoltaan pylvästä. Asema voidaan tarpeen mukaan asentaa myös seinälle. Latausasema soveltuu sekä sisä- että ulkolataukseen. Aseman päällä on led-valo, joka kertoo latauksen tilasta. Etupaneelista löytyy kaksi painiketta joilla latauksen voi joko käynnistää tai pysäyttää. [12]



Kuva7. ABB eCharger [12]

Tekniset tiedot ovat valmistajan katalogista:

- Suojausluokka IP44, suojattu vedeltä ja kosketukselta
- Nimellisieristysjännite 230/400V
- 16 A/230 V AC ja 32 A/400 V AC
- Standardin IEC 62196 mukainen
- Liitäntä menneks, type2

3.5 ABB Terra 52, pikalatausasema

ABB:n latausasema malliltaan Terra 52 eroaa teknisiltä ominaisuuksiltaan eniten muista aiemmin kuvatuista latausasemista. Terra 52 on pikalatausasema, joten se kykenee lataamaan auton akun 80 prosentin varaustasoon viidessätoista minuutissa ja täyteen varaukseen alle 30 minuutissa. Pikalatausasema pystyy lataamaan ajoneuvot nopeasti muista poiketen myös tasavirralla. Vaihtovirtalataus tapahtuu 22kW tai 43kW teholla. Latausasema tukee kaikkia tällä hetkellä olemassa olevia standardeja, joten se kykenee lataamaan kaikki tämän hetkiset markkinoilla olevat sähköajoneuvot. Muotoilultaan latausasema muistuttaa nykyaikaista bensiinintankkaus pistoolia ja se onkin suunniteltu huoltoasema käyttöön. Lisäksi latausasemalla on mahdollista ladata useampaa ajoneuvoa kerralla.[13]



Kuva 8. Terra 52 [13]

Latausaseman tekniset tiedot ovat valmistajan sivuilta.

Tekniset ominaisuudet:

- Useita standardeja tukeva vaihto- ja tasavirtapikalaturi, 22 kW:n tai 43 kW:n vaihtovirtalataus
- 50 kW:n tasavirtalataus
- Nopein mahdollinen lataus: 30–80 %:n lataus 15 minuutissa
- Verkkoyhteydellä varustettu ja tulevaisuudenkestävä etätuki, -hallinta ja –ylläpito
- Älykäs ohjelmistojen päivitysmahdollisuus
- RFID-tunnistus
- MID-sertifioitu mittari toimitetun vaihtovirran mittaamiseen

4 MUUNTAJAN MITOIOUS

Latausasemien syöttöä varten mitoitetaan jakelumuuntaja, muuntajalta lähtevä syöttökaapeli, jakokaapilta lähtevät syöttökaapelit sekä sulakesuojaukset. Tampereen aikuis-koulutuskeskuksella (TAKK) sijaitsevat latausasemat näkyvät vihreinä ympyröinä paikoi-tus ruutujen edessä liitteessä 1. Aikuiskoulutuskeskuksella sijaitsee kaksi Samaticin latausasemaa. Ensimmäisessä on liitäntä mahdollisuutena liitännät Schuko, 2 x 16 A. Toisessa on mahdollisuuksina Mennekes, 3 x 32 A ja Schuko, 1 x 16 A. Enston la-tausasemia on sekä EVC-malli että EVP-malli. Näiden kahden latausaseman liitännät ovat molemmissa malleissa Schuko 2 x 16 A. Keskinopean ABB:n latausaseman liitäntä on Mennekes 3 x 32 A. Pikalatausasema Terra 52 on liitännältään tasavirtaliitäntä (Mo-de4). Muuntajan ja latausasemien välillä on vihreällä piirretty jakokaappi, joka on reu-nustettu tummansinisellä värillä liitteessä 1. Mahdolliset kaapelireitit on piirretty ku-vaan punaisilla viivoilla.

Muuntajaa lähdetään mitoittamaan latausasemien huipputehojen kautta. Teknisissä tie-doissa on kerrottu ABB:n terra52 latausaseman huipputeho, joka on vaihtosähköllä 43kW ja tasasähköllä 50kW. Enston EVP-latausasemalle on valmistaja ilmoittanut maksimitehoksi 22kW. Muiden asemien kohdalla ei ole ilmoitettu suoraa huipputehoa, joten se lasketaan. Toinen Samaticin eTolppa, kuten myös Enston latausasemat ovat varustettu kahdella 16 A Schuko liitännällä, joten maksimivirralla tehoksi yhdelle ase-malle saadaan seuraavaa.

$$P = U \cdot I \cdot \cos 0,9 = 230V \cdot 16A \cdot \cos 0,9 = 3,3kW \quad (1)$$

Jäljellä olevilla kahdella latausasemalla on Mennekes liitäntä, joten maksimilatausvirta 400 voltin verkosta on 32 ampeeria kolmivaihelatauksella. 32 ampeerin kolmivaihelata-uksen maksimivirralla tehoksi tulee kolmivaihetehon kaavalla seuraavaa.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos 0,9 = \sqrt{3} \cdot 400V \cdot 32A \cdot \cos 0,9 = 22,2kW \quad (2)$$

Lasketaan yhteen kaikkien kuuden latausaseman huipputehot, jotta saadaan tietää muun-tajan tarvitsema tehokapasiteetti.

$$\sum S = 2 \cdot 22,2kW + 50kW + 3 \cdot 3,3kW = 104,3kW \quad (3)$$

Valitaan muuntaja ABB:n taulukkokuvasta, kuvasta 9.

Teho kVA	Muuntosuhde V/V	Kyt- kentä	P_0 W	P_k W	Z_k %	Z_0 %	I_0 %	Kok.paino kg	Öljyä kg
30	20500/410	Yzn11	103	585	3,9	1,2	1,8	330	90
50	20500/410	Dyn11	140	885	3,9	3,9	1,1	380	105
100	20500/410	Dyn11	220	1485	3,9	3,9	1,1	525	125
200	20500±2x2,5%/410	Dyn11	420	2295	4,0	4,0	0,9	1000	190
315	20500±2x2,5%/410	Dyn11	600	4300	4,3	4,8	0,8	1400	245
500	20500±2x2,5%/410	Dyn11	720	6600	5,0	5,2	0,7	1650	310
800	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1200	8500	5,5	5,7	0,5	2380	400
1000	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1450	10200	5,5	5,7	0,5	2780	600

Kuva 9. ABB jakelumuuntajat [14]

Muuntajaksi valikoituu 200 kVA:n kuivamuuntaja. Muuntajan sijoituspaikka on kuvattu liitteessä 1 ja muuntaja on ympyröity vaaleansinisellä reunuksella. 100 kVA:n muuntaja olisi myös lähellä, jos kaikki kuormitus ei olisi yhtä aikaa kytkettynä. 200 kVA:n muuntaja on kuitenkin varma ja turvallinen valinta ja kestää mahdollisen kuormituksen lisäyksen myöhemmin. Lisäksi kyseinen muuntaja kestää paremmin kytkentävirtasysäyksiä suuremman kokonsa ansiosta. Kytkentävirtasysäyksiä voi tulla verkon muista pylväsmuuntajista, jotka näkyvät vihreinä ympyröinä liitteessä yksi.

Muuntaja ottaa käynnistyessään kytkentäsysteävirrän. Kytkentäsysteävirta on riippuvainen siitä hetkestä, jossa sinimuotoinen jännite on kytkentähetkellä. Suurimman kytkentäsysteävirrän muuntaja saa hetkellä, jolloin jännite on kytkentä hetkellä nolla arvossaan. Tällöin vuon ensimmäinen huippuarvo saavuttaa kaksinkertaisen arvon verrattuna jatkuvuustilan arvoon ja kytkentäsysteävirta kasvaa suurimmilleen, eli 8-12 ampeerin suuruiseksi. Koska piirissä on resistanssia, virta vaimenee puoleen arvoonsa erittäin nopeasti, joten pahin virtapiikki kestää noin 0,05-0,3 s. Kytkentäsysteävirta tulee huomioida, kun asetellaan muuntajan suojareleitä ja sulakkeita, muuten suojalaitteet saattavat laueta kytkentäsysteävirrasta. [15]

Lasketaan valikoituneelle muuntajalle oikosulkureaktanssin ja – resistanssin prosentti arvot.

$$r_k = \frac{P_k}{S_N} = \frac{2,295 \text{ kW}}{200 \text{ kVA}} = 1,1475 \% \quad (4)$$

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{4 \%^2 - 1,1475 \%^2} = 3,83 \% \quad (5)$$

Muutetaan seuraavaksi suhteelliset oikosulkuresistanssi arvot ohmiarvoiksi.

$$R_k = \frac{U_N^2}{S_N} \cdot r_{kr} = \frac{(400 \text{ V})^2}{200 \text{ kVA}} \cdot 1,1475 \% = 0,0092 \ \Omega \quad (6)$$

$$X_k = \frac{U_N^2}{S_N} \cdot X_{kr} = \frac{(400 \text{ V})^2}{200 \text{ kVA}} \cdot 3,83 \% = 0,0306 \ \Omega \quad (7)$$

5 SUOJALAITTEIDEN JA KAAPELIEN MITOIUS

SFS 6000 standardissa määritellään, että pienjännitejohdoilla on oltava oikosulkusuoja, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Näitä poikkeuksia ovat muuntajan, generaattorin, akkujen tai tasasuuntaajan liittäminen keskukseen. Samaisessa standardissa todetaan lisäksi, että maakaapeleilla voidaan jättää ylivirtasuojaus pois, jos siitä ei perustellusti aiheudu vaaraa. Tässä tapauksessa ylivirtasuojasta ei jätetä pois. Suojaus muotona käytetään sulaketta. Sen hyötynä on, että se suojaa samanaikaisesti oikosulun lisäksi ylikuormitukselta ja vikatilanteessa. Lisäksi sulakkeilla on yksinkertaista toteuttaa selektiivinen suojaus vikapaikkojen välillä. Selektiivinen suojaus tarkoittaa portaallista suojausta, jolloin kaikki verkon osat eivät laukea yhden paikan viasta, eivätkä johdon loppupään viat näy johtolähdön alkupäässä. Standardin SFS-EN 60269 mukaan runko- ja liittymisjohdoilla tulee käyttää aina gG- sulakkeita. gG- sulake on toiminnaltaan nopea sulake, joka kattaa koko virta alueen. Sulake soveltuu käytettäväksi oikosulkusuojaukseen. [16]

Jatkuvan kuormitettavuuden ylivirtasuojaukseen mitoitettu sulake on otettava huomioon kaapelivalintaa tehtäessä. Sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta on virta, jolla sulake toimii varmasti. Yleensä kyseinen virta on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin mitoituksessa on käytettävä kaavaa 8. Standardin SFS-EN 60269 mukaista sulaketta käytettäessä, tulee huomioida sulakkeen ylempitoimintarajavirta on 1,6-2,1 kertaa sulakkeen nimellisvirta. [17]

$$k \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \quad (8)$$

jossa I_n = on suojalaitteen nimellisvirta
 I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus
 k = sulakkeen ylempien sulamisvirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Latausasemille menee kullekin jakokaapilta oma syöttävä maakaapeli. Järkevää on kuitenkin kaivaa kaapeleille yhteinen kaapeli reitti, jolloin kaikki kuusi maakaapelia kulkevat aluksi yhdessä kaapeliojassa. Kaapelien kuormitettavuudet muuttuvat, kun monta kaapelia kulkee maassa rinnakkain. Kaapelien lähtökohtainen etäisyys toisistaan on vähemmän kuin 70 mm. Tällöin kaapeleille määritetään korjauskerroin, joka katsotaan

SFS 6000 taulukosta A52-18. Taulukosta nähdään, että kuudelle upotetulle kaapelille korjauskerroin on 0,55. [17]

Taulukko A.52-18 (52-E2) Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle monijohdinkaapelille tai yksijohdinkaapelin ryhmälle, kaapelit on asennettu suoraan maahan (Taulukoiden A.52-2...A.52-3 mukainen asennustapa D, yksi- tai monijohdinkaapelit)

Kaapelien välinen etäisyys a mm	Vierekkäisten kolmijohdinkaapelien tai vierekkäisten yksijohdinkaapeliryhmien lukumäärä						
	2	3	4	5	6	8	10
	Korjauskerroin						
0	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
70	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
250	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64

Kuva 10. SFS 6000, Taulukko A.52–18 [17]

Kaapelit tulevat olemaan maakaapeleita, joten valitaan kaapeleiden kaapelieristystavaksi PEX- eristeiset kaapelit, jotka kestävät erilaisia lämpötiloja. Tällä perusteella kaapelit tullaan valitsemaan SFS 6000 taulukosta A.52-3 sarakkeesta 8 (liite2). Kaapelit valitaan nollajohtimen kanssa, koska ei voida olettaa kaikkien vaiheiden kuormien olevan symmetrisiä toisiinsa nähden. Kuormissa voi mahdollisesti esiintyä myös yliaaltoja.[18]

5.1 Syöttökaapeli muuntajalta jakokaapille

Mitoitetaan muuntajalta jakokaapille lähtevä syöttökaapeli. Muuntajan takana olevat tehot ovat lähes täysin pätötehoja. Mitoitetaan näennäistehon määrä siten, että $\cos \varphi$ arvoksi otetaan 0,9. Näennäisteho saadaan tällä kertoimella ja kaavalla 9.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{104,3 \text{ kW}}{\cos 0,9} = 115,89 \text{ kVA} \quad (9)$$

Näennäistehosta lasketaan kuormitusten muuntajalta ottama yhteenlaskettu kokonaisvirta.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{115,89 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 167,27 \text{ A} \quad (10)$$

Sulakkeita valittaessa nähdään, että 160 A sulake ei ole riittävän suuri huippukuormalle, joten valitaan 200 A sulake. Jos sulakekoko on 200 A, SFS 6000 taulukon B.52-1 mukaan (liite3) kaapelin kuormitettavuuden tulee olla vähintään 221 ampeeria. Jakokaapin syöttö menee omassa kaapeliojassaan ilman muita kaapeleita. Valintataulukosta (liite2) nähdään, että alumiinikaapelin kooksi tulee 4 x 120 + 41 AMCMK, jonka virtakestoisuus on 255 A. [18]

5.2 Syöttökaapeli pikalatausasemalle Terra 52

Lasketaan seuraavaksi kaapelin koko jakokaapilta ABB:n pikalatausasemalle. Vaih-
tosähköllä ladatessa latausaseman huippupätöteho on 43kW jolloin näennäistehoksi
tulee:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{43 \text{ kW}}{\cos 0,9} = 47,78 \text{ kVA} \quad (9)$$

Saatu näennäisteho on pienempi kuin tasasähkölatauksessa saavutettu 50kW teho. Kaa-
pelin mitoitus tehdään siksi 50kW perusteella.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{50 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 72,17 \text{ A} \quad (10)$$

Tehon perusteella oikosulkusuojana käytetään gG tyyppin sulaketta, jonka koko on
100A. Tällöin liitteen 3 perusteella kaapelin virtakestoisuuden tulee olla 110A. Pikala-
tausaseman syöttökaapeli jakokaapilta latausasemalle kulkee viiden muun syöttökaape-
lin kanssa samassa kaapeliojassa, joten kaapelille käytetään jo aiemmin todettua korja-
uskerrointa 0,55. Kertoimen käytön jälkeen virta ehdon täyttää kaapeli 4 x 95 + 29
AMCMK, jonka virta kertoimen käytön jälkeen on $0,55 \cdot 220 \text{ A} = 121 \text{ A}$. [18]

5.3 Syöttökaapelit ABB:n ja Samaticin 32 A latausasemille

Seuraavaksi mitoitetaan kaapelit kahdelle latausasemalle yhtä aikaa, jotka ovat ABB:n keskinopea latausasema sekä Samaticin keskinopea latausasema, joissa on molemmissa 32 A syöttöliitäntä. Näiden molempien huippupäätoteho on 22,2 kW.

Näennäistehoksi saadaan:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{22,2 \text{ kW}}{\cos 0,9} = 24,67 \text{ kVA} \quad (9)$$

Lasketaan virta 24,67 kVA teholla.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{24,67 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 35,61 \text{ A} \quad (10)$$

Johdonsuojaksi riittää 40 A sulake, jolloin johtimen kuormitettavuuden tulee (liitteen 3 mukaan) olla 44 A. SFS 6000 taulukosta valitaan kaapelin kooksi MCMK 4 x 16 + 16mm² (liite2). Kyseisen kaapelin virtakestoisuus on korjauskertoimen käytön jälkeen 100 A · 0,55 = 55 A. [18]

5.4 Syöttökaapelit Enston latausasemille ja Samaticin 16 A latausasemalle

Lopuksi mitoitetaan syöttökaapelit Enston lastausasemille ja Samaticin asemalle, joissa on kaikissa 2x16 A liitäntä. Näillä asemilla on niin sanottu hidas lataus (yksivaiheinen lataus), maksimipäätoteholtaan teholtaan 3,3 kW

Näennäistehoksi saadaan:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{3,3 \text{ kW}}{\cos 0,9} = 3,67 \text{ kVA} \quad (9)$$

Lasketaan yksivaiheinen virta 3,67kVA teholla.

$$I = \frac{S}{U_N} = \frac{3,67 \text{ kVA}}{400 \text{ V}} = 9,175 \text{ A} \quad (10)$$

Virran perusteella latausasemille riittäisi 10A sulake. Latausasemilla itsessään on kuitenkin 16 A lähdöt, joten laitetaan jakokaappiin 20 A sulake jolloin johtimen kuormitettavuuden tulee olla vähintään 22 A (liite3). Kaapeliksi valitaan liitteen 2 perusteella MCMK $4 \times 6 + 6 \text{ mm}^2$. Korjauskertoimen käytön jälkeen virraksi saadaan $0,55 \cdot 57 = 31,35$ A. Kaapeliksi olisi liitteen 2 mukaan riittänyt myös MCMK $4 \times 4 + 4 \text{ mm}^2$, mutta valmistajalta ei löytynyt kyseistä kokoa, joten kooksi vaihdettiin yhtä kokoa isompi kaapeli. [18],[19]

Mahdollinen kaapelien yhdistely voisi säästää kustannuksia. Jos kaapeleita aletaan yhdistellä, on otettava huomioon nouseva kaapelien määrä ja siten muuttuvat korjauskertoimet ja sitä kautta kuormitusten uudet vaatimukset. Toinen vaihtoehto kaapelimäärien pienentämiseksi olisi jättää jakokaappi muuntajan ja latausasemien väliltä pois, jolloin jokaiselle latausasemalle olisi muuntajalta oma lähtönsä. Pidemmällä matkoilla jakokaappi on järkevä valinta, että ei tarvitse kuljettaa montaa syöttökaapelia pitkiä matkoja. TAKK:in tapauksessa matka on aika lyhyt ja ilman jakokaappiakin selvittäisiin. Työn laajuuteen ei kuulu kaapelien taloudellista tutkimusta. Tällä perusteella pitäydytään jakokaapissa.

5.5 Oikosulkusuojat

Oikosulkuvirran laskemista varten kaapelit mallinnettiin impedansseina taulukon 1 mukaisesti. Taulukosta 1 nähdään myös muuntajan vastaavat arvot resistiivisenä ja reaktiivisena komponenttina. Arvot taulukkoon on muutettu suoraan välimatkaa jakokaapilta kohteeseen vastaaviin arvoihin.

Kaapeli 1 taulukossa tarkoittaa muuntajalta jakokaapille tulevan kaapelin impedanssiarvoja. Kaapeli 2 tarkoittaa pikalatausasemalle menevää kaapelia. Matka jakokaapilta pikalatausasemalle on arvioitu samaksi kuin matka muuntajalta jakokaapille eli 30m. Kaapeli 3 tarkoittaa kaapelia, joka menee Samaticin 32 A latausasemalle. Kaapeli 4 tarkoittaa kaapelia, joka menee Samaticin 16 A latausasemalle. Kaapelien 3 ja 4 pituudet ovat noin 20m. Kaapeli 4 tarkoittaa ABB:n latausasemalle menevää kaapelia, joka on pituudeltaan noin 40m. Viimeinen kaapeli 5 tarkoittaa kahta hidasta latausasemaa ja

niiden syöttökaapeleita, joille matkaa on 70m. Kaapeleiden impedanssit nähdään liitteestä 5.

Taulukko1. Impedanssien arvot [20]

	Reaktanssit	Kohde
Z_{muuntaja}	(0,0092+j0,0306)	Muuntaja
$Z_{\text{kaapeli 1}}$	(0,00828+0,0143+2·j0,00216)	Jakokaapin syöttökaapeli
$Z_{\text{kaapeli 2}}$	(0,0139+0,0276+2·j0,003)	Pikalatausasema Terra 52
$Z_{\text{kaapeli 3}}$	(2·0,0248+2·j0,00176)	Samaticin 32A latausasema
$Z_{\text{kaapeli 4}}$	(2·0,0664+2·j0,0023)	Samaticin 16A latausasema
$Z_{\text{kaapeli 5}}$	(2·0,0496+2·j0,00352)	ABB e- latausasema
$Z_{\text{kaapeli 6}}$	(2·0,233+2·j0,00805)	Enston la- tausasemat

Lasketaan kaikissa pisteissä prospektiivinen oikosulkuvirta kaavan 11 perusteella. [21]

$$I_k = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (11)$$

jossa,

c = IEC 60909- standardin mukainen jännitekerroin 0,95

U_N = Pääjännite

Z_k = vikapaikan ja muuntajan välinen impedanssi

Lasketaan ensin muuntajan ja jakokaapin välinen oikosulkuvirta kaavalla 11.

$$I_k = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot [(0,0092 + 0,00828 + 0,0143) + j(2 \cdot 0,00216 + 0,0306)]}$$

$$= (4646,6 \angle -48^\circ) \text{ A}$$

Lasketaan samalla kaavalla virrat muissakin kaapeleiden liityntäpisteissä. Oikosulkuvirtojen itseisarvot ja sulakkeet ovat taulukoitu taulukossa 2.

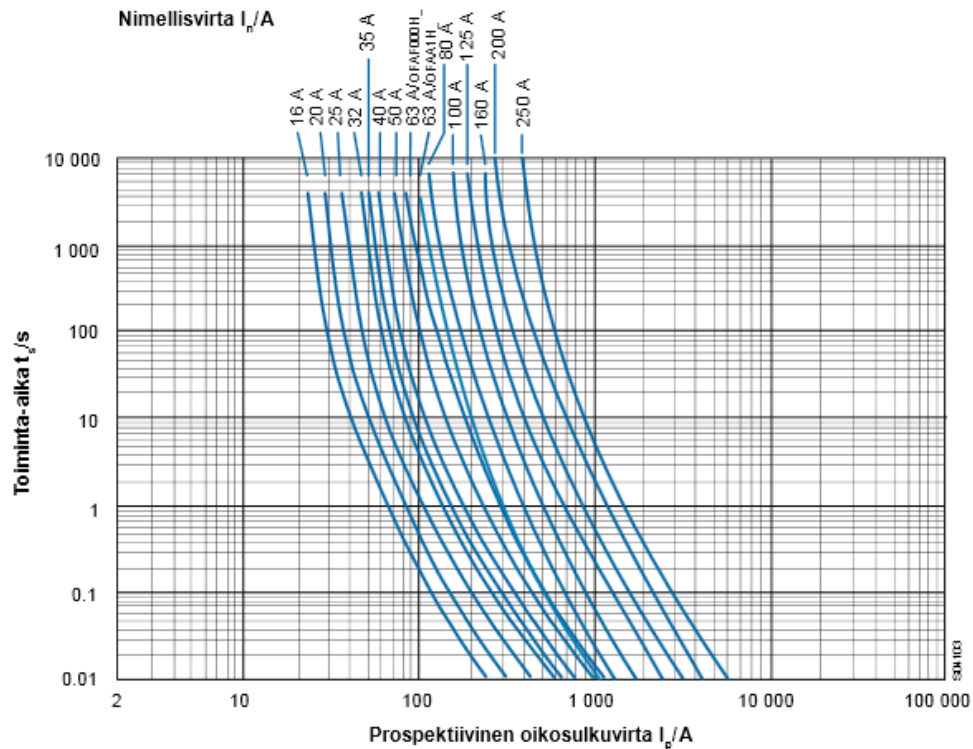
Taulukko 2. Oikosulkuvirrat ja sulakekoot

Kohde	Oikosulkuvirta (A)	Sulakekoko (A)	Suurin sallittu sulake jakokaapissa
Muuntaja-jakokaappi	4646	200	
Pikalatausasema	2894	100	200
Samaticin 32A latausasema	2571	40	63
Samaticin 16A latausasema	1340	20	35
ABB e-latausasema	1704	40	63
Enston latausasemat	454	20	35

Taulukosta nähdään, että oikosulkuvirrat tulevat riittävän suuriksi polttamaan sulakkeet tarpeeksi nopeasti. Sulakekoot eivät myöskään ylitä Adaton taulukon sallimaa suurinta sulaketta jakokaapissa. [16]

Sulakkeiden toiminta-arvot voidaan vielä tarkastaa kuvasta 11.

Toiminta-ajat, liittymisjohdon sulakkeet OFAF_H_ ja OFAA_H_, koot 000, 00 ja 1



Kuva 11. Sulakkeiden toiminta-aikakäyrät [22]

Kuvan perusteella voidaan todeta, että kaikki suojaukset toimivat reilusti alle vaaditussa 0,4 sekunnissa.

5.6 Jännitteen alenema

Jännitteen alenema ei saa ylittää 10 % vaihtelurajaa missään käyttötilanteessa. Lasketaan jännitteen alenema esimerkkitapauksessa, jossa on raskain kuormitus tilanne. Jännitteen alenema laskuissa muuntaja otetaan huomioon muuntajalta jakokaapille menevässä kaapelissa. Muuntajalta jakokaapille on matkaa noin 30 metriä. Jakokaapin ja kauimmaisen latausaseman etäisyys on 70 metriä. 70 Metriä on arvioitu hieman yläkanttiin, jotta saadaan varmasti riittävän alhainen jännitteen alenema. Latausasemien sijainnit voi nähdä liitteestä 1.

Muuntajan jännitteenalenema prosentteina saadaan selville adaton verkostosuosituksen mukaisella kaavalla seuraavasti, kun tunnetaan muuntajan kuorma (kVA). [18]

$$\Delta U = \frac{S}{S_N} = \frac{115,89 \text{ kVA}}{200 \text{ kVA}} = 0,58 \% \quad (12)$$

Lasketaan jännitteen alenema ΔU muuntajan ja jakokaapin välillä. Käytetään $\cos \varphi$:n kerrointa 0,9 koska tilanne vastaa lähes kotitaloussähkön käyttöä kuormitukseltaan.

Adaton verkostosuosituksista saatavan kaavan avulla voidaan laskea jännitteen alenema, kun tiedetään kuorman näennäisteho, etäisyys sekä $\cos \varphi$:n määräävä jännitteenalenema-kerroin adaton taulukosta. Taulukosta nähdään, että kerroin AMCMK 4x120+41mm² kaapelikoolle on 0,16. Jännitteenalenema voidaan nyt laskea kaavan 13 avulla. [20]

$$u(\%) = (0,16 \cdot 115,89 \cdot 0,03) \% = 0,56 \% \quad (13)$$

Jakokaapilta kauimmaiselle Enston latausasemalle menee kaapeli, joka on MCMK 2 x 6 + 6mm². Lasketaan jakokaapin ja Enston EVP- latausaseman jännitteenalenema perinteisellä tavalla.

Adaton taulukosta, liitteestä 5, nähdään kaapeleille resistanssin ja reaktanssin arvot kilometriä kohti arvot. Muutetaan arvot 70 metrin matkalle.

$$R_v = 0,070 \cdot 3,322 = 0,223 \Omega.$$

$$X_v = 0,070 \cdot 0,115 = 0,00805 \Omega.$$

Yksivaiheisessa syötössä on mukana paluuvirralla myös nolla johdin, jolla on identtiset arvot vaihejohtimen kanssa. Enston EVP – latausaseman maksimitieholla (3,3kW) antavan virranarvo oli kaavan 9 perusteella 9,175. Lasketaan syöttövirralle pätövirran ja loisivirran arvot.

$$I_p = 9,175 \cdot 0,9 = 8,26 \text{ A} \quad (14)$$

$$I_q = \sqrt{9,175^2 - 8,26^2} = 3,99 \text{ A} \quad (15)$$

Jännitteen aleneman kaavasta 16 saadaan alenemalla jännitearvo jakokaapille saakka. [23]

$$\Delta U = (8,26 + j3,99) \cdot [(2 \cdot 0,233) + j(2 \cdot 0,00805)] = (4,28 \angle 28^\circ) \text{ V} \quad (16)$$

$$U = U_v - \Delta U = 400 - (4,28 \angle 28^\circ) = (396,22 \angle -0,29^\circ) \text{ V}$$

$$U_{\%} = \left(1 - \frac{|\Delta U|}{U_v}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{|396,22|}{400}\right) \cdot 100 = 0,945 \%$$

Kun lasketaan yhteen muuntajassa tapahtuva jännitteenalenema, jakokaapille tulevan kaapelin jännitteenalenema ja jakokaapilta lähtevän kaapelin jännitteenalenema, saadaan kokonaisalenema.

$$\sum \Delta U(\%) = 0,945 \% + 0,56 \% + 0,58 \% = 2,085 \% \quad (17)$$

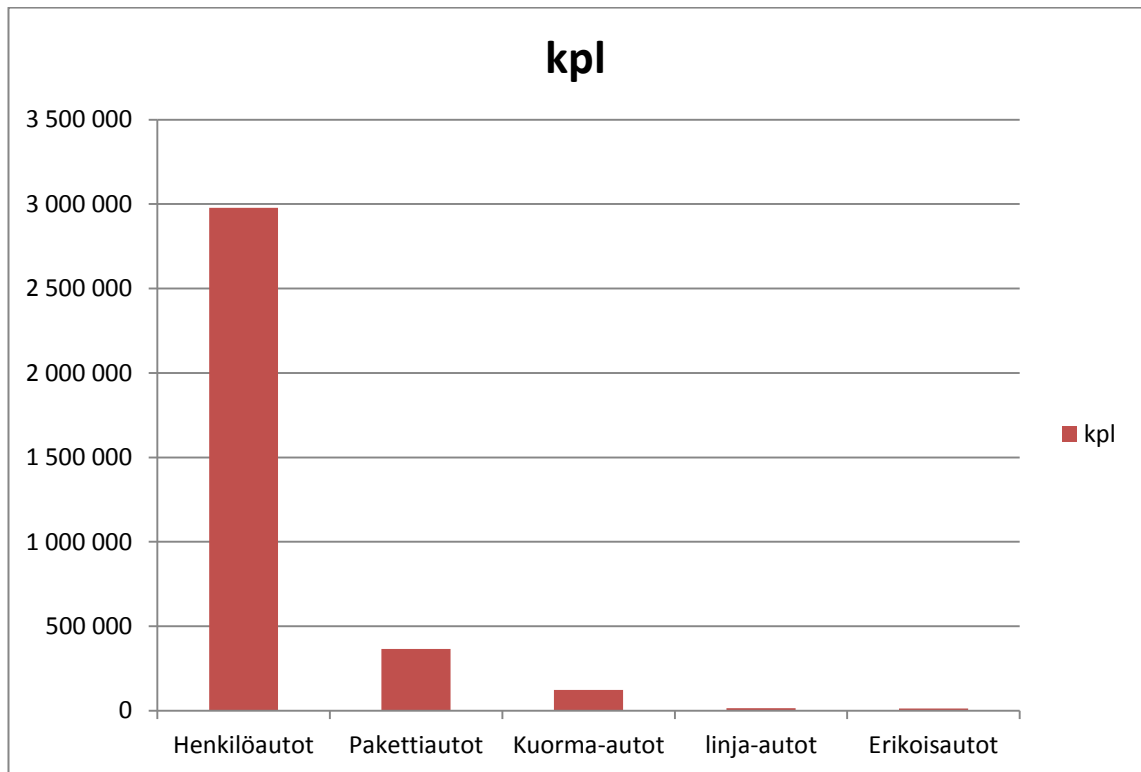
Voidaan todeta ettei jännitteenalenema näillä etäisyyksillä muodostu ongelmaksi kaapeleita valittaessa. Sähkö pysyy hyvälaatuisena, koska jännitteenalenema ei ylitä neljää prosenttia, jota pidetään rajana hyvän sähkönlaadun osalta. Muiden kaapelien jännitteenalenemaa ei tarkasteta, koska voidaan olettaa se tarpeettomaksi johtuen suurista kaapeleista ja lyhyistä etäisyyksistä.

5.7 Latausasemien syöttöjen sähkökuva

Latausasemien syöttöistä piirrettiin sähkökuva, joka näkyy liitteessä 5. Kuvassa EP01T on luvussa neljä mitoitettu 200 kVA:n muuntaja. Muuntajan lähdöstä F8 lähtee syöttökaapeli jakokaapille, jolta lähtevät syötöt latausasemille. Lähdöstä F9 lähtee yhteys muuntajan EP02T ensiöpuolelle, jolloin sitä voidaan käyttää kyseiselle muuntajalle korotusmuuntajana. Tällöin muuntaja EP02T voidaan irrottaa 20 kV:n verkosta ja sitä syötetään turvallisesti 400V verkon puolelta. Tämä on etu, kun Tampereen aikuiskoulutuksessa tehdään suuria jännitetöitä. Katkaisijoilla Q06 ja Q07 tulee olla mekaaninen lukitus, että syöttö ei missään vaiheessa lähde kulkemaan väärä kautta. Lisäksi muuntajalla EP02T tulee olla maadoitusjännite suojaus. Näihin asioihin ei tämän työn laajuudessa ehditty enempää paneutua.

6 LATAUSASEMIEN VAIKUTUKSET VERKKOON

Alla olevassa kuvassa 12 on rekisteröityjen ajoneuvojen määrä Tilastokeskuksen ylläpitämien tietojen mukaan 31.12.2011. Tieto on reilun vuoden vanha, mutta voidaan olettaa, että se ei ole oleellisesti muuttunut tähän päivään mennessä. [24]



Kuva 12. Rekisteröityjen ajoneuvojen määrä Suomessa [24]

Vaikuttavin autoryhmä sähköajoneuvojen kannalta ovat henkilöautot ja pakettiautot. Henkilöautoja on Suomessa tällä hetkellä rekisteröitynä noin kolme miljoonaa ja pakettiautoja noin 370 000 kappaletta. Esimerkiksi Nissan Leafin sähkönkulutus on noin 0,173 kWh/km. [25] Oletetaan hypoteettisesti, että kaikki autot olisivat sähköautoja. Korjataan sähkönkulutusta hieman ylöspäin, koska Nissan Leaf on pienikokoinen auto, ja isommilla energian kulutus tulee olemaan suurempi. Oletetaan keskiarvoksi 0,2 kWh/km. Tiehallinnon mukaan keskimääräinen ajomatka päivän aikana on 42 km. Tämän perusteella vuodessa tulisi $42 \text{ km} \cdot 365 \text{ päivää} = 15530 \text{ km}$. Tällöin sähköautojen energian kulutus vuodessa olisi $3,5 \text{ milj.} \cdot 200 \text{ Wh/km} \cdot 15530 \text{ km} = 1,09 \text{ TWh}$. Energian kulutus Suomessa vuonna 2011 oli 84,4 TWh. Tästä sähköautojen energian kulutus olisi 1,3 %. [26]

Sähköautojen latauspiikki ilman säädeltyjä latausrajoituksia tulisi todennäköisesti olemaan illalla kuuden aikoihin, jolloin sähkönkulutus on muutenkin Suomessa huipussaan vuorokauden aikana. Oletetaan, että jossain vaiheessa Suomessa olisi puolet autoista sähköautoja, eli noin 1,75 milj. kappaletta. Oletetaan lisäksi, että autoista olisi 90 % latauksessa kello kuuden aikaan illalla. Ladatuista autoista 55 % ladattaisiin kotitalouksissa hitaalla 16 A latauksella, 25 % ladattaisiin kotitalouksissa, parkkihalleissa ja työpaikoilla keskinopealla 32 A latauksella ja loput 10 % huoltoasemilla tai muualla pikalatausasemilla. Jos oletetaan kyseinen tapaus, lasketaan kuinka paljon autoja käyttäisi kutakin lataustehoa. Hidasta latausasemaa, jonka huipputeho on kappaleen 4 mukaan 3,3kW, käyttäisi 962 500 sähköautoa. Keskinopeuksista 32 A latausasemaa, jonka latausteho oli 22,2 kW käyttäisi 437 500 autoa. Teholtaan 50 kW pikalataus asemaa käyttäisi 175 000 sähköautoa.

Näiden tehojen perusteella huippukuormitukseksi sähköautojen latauksessa saataisiin kyseisten tehojen summa kaavan 3 mukaan, jota käytettiin myös luvussa 4.

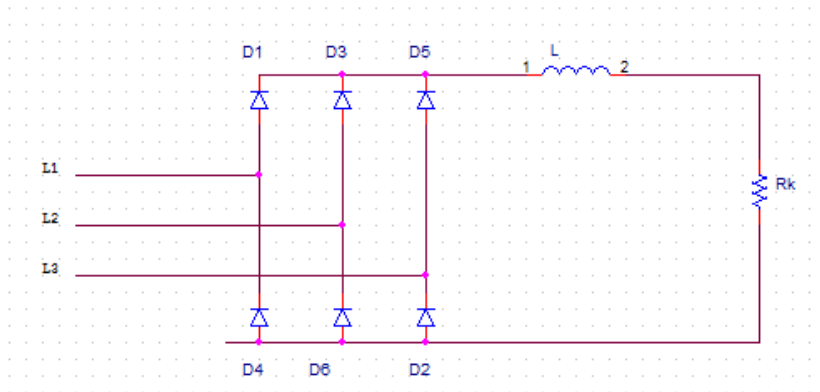
$$\sum S = 437500 \cdot 22,2 \text{ kW} + 175000 \cdot 50 \text{ kW} + 962500 \cdot 3,3 \text{ kW} = 21,6 \text{ GW}$$

Fingridin julkaisun perusteella Suomen huippukulutus on ennustettu talven kovilla pakkasilla olevan 15 000 megawattituntia, jolloin sähköautojen tuoma 21 600 megawattitunnin tuoma huippukuorman lisäys olisi lähes 1,5 kertaa arvioitu vuoden kuormitushuippu. Kovimman kuormitushuipun aikana Suomeen joudutaan jo tällä hetkellä tuomaan 1700 megawattituntia tuontisähköä. [27]

6.1 Suuntaajien vaikutukset verkkoon

Suuntaajat aiheuttavat verkolle ylimääräistä kuormitusta. Suuntaajat aiheuttavat yleensä epälineaarisen kuorman, jolloin virran sinimuoto särkyä. Tällöin myös verkon jännite säröytyy. Särö näkyy samalla tavalla jokaisen siniaallon jakson aikana. Epälineaarinen kuormitus aiheuttaa häviöitä verkkoon kytketyille komponenteille sekä muuntajille ja johdoille. Lisäksi verkkoon aiheutuu ylijännitteitä, jotka voivat rikkoa laitteita ja verkon suojuuksia sekä aiheuttaa tarpeettomia laukaisuja. Jäykkä sähköverkko kestää epälineaar-

rista kuormaa heikkoa verkkoa paremmin. Kolmivaiheisilla jännitteillä tasasuuntaus tapahtuu kuvan 13 mukaisella kytkennällä. [28]



Kuva 13. Kolmivaiheinen tasasuuntaaja

Kuvassa on kuusipulssisilta, jolla kolmivaiheinen vaihtojännite tasataan tasajännitteeksi. Kolmivaiheisessa tasasuuntauksessa 3. yliaalto ja sen kerrannaiset eivät aiheuta säröä, toisin kuin yksivaiheisessa tasasuuntauksessa.

Harmoniset yliaallot aiheuttavat säröä sähköverkkoon. Yliaallot ovat kerrannaisia 50 Hz perustaajuudesta, joka vaihtosähköverkossa on sinimuotoista. Yliaaltoja kuvataan yleensä spektrinä, jossa yliaalto taajuuden suuruutta verrataan 50 Hz perusaaltoon. Yliaaltoja kuvaamaan käytetään yleensä THD prosenttia, joka ilmaisee jännitteen hyvyden. Särö syntyy useista perustaajuutta suurempien komponenttien yhteenlasketuista tehollisarvoista. Taajuudet saattavat kuitenkin kulkea erivaihesiirtokulmissa toisiinsa nähden, jolloin ne joko vahvistavat tai kumoavat muita yliaaltoja. Perusaaltoon summautuvat yliaallot eivät kykene siirtämään tehoa, vaan aiheuttavat ainoastaan häviöitä. Yliaallot voivat summautua nolla johtimessa, jolloin nollajohtimeen tulee suurempi virta kuin vaihejohtimiin. Tällaisia tilanteita varten nollajohtimen mitoitus tehdään korjauskertoimella, jonka suuruus riippuu yliaallon suuruudesta. Jos kolmas yliaalto on enemmän kuin 33 % vaihevirran suuruudesta, tehdään mitoitus nollajohtimen virran perusteella. Jos yliaallon suuruus on alle 33 % vaihevirran suuruudesta, tehdään mitoitus vaihevirran perusteella. [28]

6.2 Suodattimet

Suodattimia on monenlaisia. Niiden tärkein tehtävä on poistaa yliaallot paikallisesti ennen kuin ne ehtivät vaikuttaa koko verkkoalueella. Yhteistä niille on, että niillä kaikil-

la voidaan rajoittaa taajuuksia, kuten esimerkiksi yliaaltotaajuuksia tai ei-toivottuja radiotaajuuksia. Yleisimmät suotimet ovat ylipäästösuodin ja alipäästösuodin. Nimensä mukaisesti ylipäästösuodin rajoittaa pienten taajuuksien läpipääsyä, eikä siksi ole käytännöllinen yliaaltoja torjuttaessa. Alipäästösuodin taas päästää läpi matalia taajuuksia ja estää korkeita taajuuksia. Kaistanpäästösuodin päästää läpi ainoastaan tiettyjä taajuuksia, kun taas kaistanestosuodin rajoittaa tiettyä taajuutta. Kaistanestosuotimen heikkous yliaaltosuojauksessa on, että se päästää lävitse kaikki muut taajuudet. Tällaista suodinta tulisi käyttää rinnan jonkin muun suotimen kanssa, jolloin kaistanestosuodin estäisi kolmatta tai viidettä yliaaltoa, riippuen siitä onko kyseessä yksivaiheinen vai kolmivaiheinen kytkentä. [30]

Verkon virtaa voidaan saada lähemmäs sinimuotoa, kun korjataan tehokerrointa, jolloin loistehon otto verkosta vähenee. Tehokerrointa voi korjata, joko aktiivisella tai passiivisellä mahdollisuudella. Passiivisessa tapauksessa kytkentään laitetaan induktansseja, jotka pyritään mitoittamaan siten, että virta ja jännite kohtaavat samaan aikaan nollassa kohdassa. Tehokerroin on parhaimmillaan, kun se on arvoltaan 0,76. Tällöin tasajännitteisen välipiirin jännitteen tulisi olla täysin tasoittunutta. Kytkennän huonona puolena on tasajännitteeseen tuleva värähtelevä jännite kaksinkertaisella verkkotaajuudella. Kuorman rinnalle voidaan myös kytkeä yliaaltosuodattimia, jotka imisivät yliaallot itseensä. Aktiivisuodin vastaavasti syöttää verkkoon virtaa. Syötetyn virran tarkoitus on olla 180 asteen vaihekulmassa verkon omaan yliaaltovirtaan nähden, jolloin se kumoaisi verkon yliaaltovirrat. [28]

Lasketaan aluksi THD prosentti tapauksessa, jossa virran kerrannaiset olisivat ihannearvossaan. Käytetään laskennassa tasasuuntaussillan ideaalisia THD prosentin arvoja. Harmonisten yliaaltojen järjestysnumerot saadaan selville kaavan 18 perusteella.[29]

$$n = k \cdot p \pm 1 \quad (18)$$

jossa,
 n = yliaallon järjestysluku
 k = kokonaisluku 1,2,3...
 p = pulssien lukumäärä

Esimerkiksi 6-pulssisen tasasuuntaajan kaksi ensimmäistä yliaallon järjestys lukua saadaan $1 \cdot 6 - 1 = 5$ ja $1 \cdot 6 + 1 = 7$. Ideaaliselle

I_5	20 %
I_7	14 %
I_{11}	9 %
I_{13}	8 %
I_{17}	6 %
I_{19}	5 %

Virta pikalatausasemalle on 75 A, jolloin saadaan virta kullekin yliaallolle.

$$I_5 = 0,20 \cdot I_T = 15,0 \text{ A}$$

$$I_7 = 0,14 \cdot I_T = 10,5 \text{ A}$$

$$I_{11} = 0,09 \cdot I_T = 6,75 \text{ A}$$

$$I_{13} = 0,08 \cdot I_T = 6,0 \text{ A}$$

$$I_{17} = 0,06 \cdot I_T = 4,5 \text{ A}$$

$$I_{19} = 0,05 \cdot I_T = 3,75 \text{ A}$$

Muuntajan oikosulkuimpedanssi oletetaan olevan kokonaan reaktiivinen ja 200 kVA:n muuntajalle reaktanssin ohmiarvo on laskettu kappaleessa 4 ja se on 0,0306 Ω .

$$X_5 = 5 \cdot X_k = 5 \cdot 0,0306 = 0,1530 \Omega$$

$$X_7 = 7 \cdot X_k = 7 \cdot 0,0306 = 0,2142 \Omega$$

$$X_{11} = 11 \cdot X_k = 11 \cdot 0,0306 = 0,3366 \Omega$$

$$X_{13} = 13 \cdot X_k = 13 \cdot 0,0306 = 0,3978 \Omega$$

$$X_{17} = 17 \cdot X_k = 11 \cdot 0,0306 = 0,5202 \Omega$$

$$X_{19} = 19 \cdot X_k = 13 \cdot 0,0306 = 0,5814 \Omega$$

Yliaaltovirrat ja muuntajan reaktanssi aiheuttaa seuraavanlaiset yliaaltojännitteet:

$$U_5 = I_5 \cdot X_5 = 15,0 \cdot 0,153 = 2,295 \text{ V}$$

$$U_7 = I_7 \cdot X_7 = 10,5 \cdot 0,2142 = 2,2491 \text{ V}$$

$$U_{11} = I_{11} \cdot X_{11} = 6,75 \cdot 0,3366 = 2,272 \text{ V}$$

$$U_{13} = I_{13} \cdot X_{13} = 6,0 \cdot 0,3978 = 2,2788 \text{ V}$$

$$U_{17} = I_{17} \cdot X_{11} = 4,5 \cdot 0,5202 = 2,3409 \text{ V}$$

$$U_{19} = I_{19} \cdot X_{13} = 3,75 \cdot 0,5814 = 2,180 \text{ V}$$

Jännitteen THD_u prosentti saadaan laskettua kaavan 19 perusteella. [28]

$$\text{Jännitesärö: } THD = \frac{\sqrt{(\sum_{2,3}^{\infty} U_N)^2}}{U_1} \quad (19)$$

$$\text{Virtasärö: } THD = \frac{\sqrt{(\sum_{2,3}^{\infty} I_N)^2}}{I_1} \quad (20)$$

Tällöin säröprosentti on vaihejännitteessä

$$= \frac{\sqrt{2,295^2 + 2,2491^2 + 2,272^2 + 2,2788^2 + 2,3409^2 + 2,180^2}}{(400/\sqrt{3})} \cdot 100 \% = 2,4 \%$$

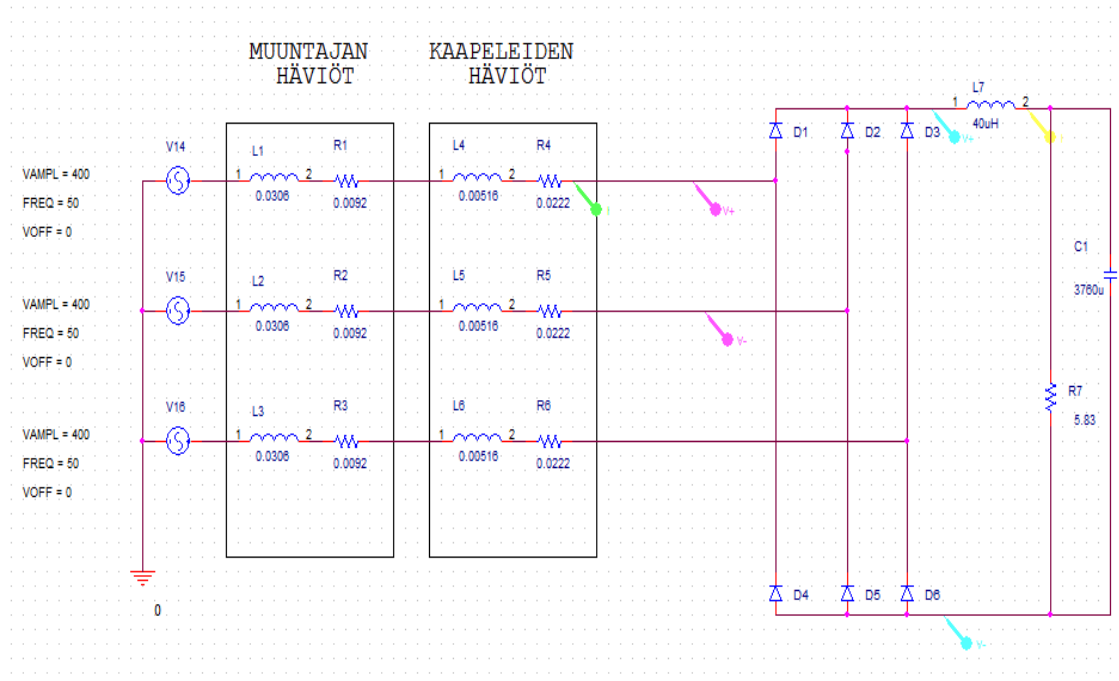
Ihanteellisilla virran spektri-arvoilla säröprosentti jää 2,4 prosenttiin.

6.3 Pikalatausaseman yliaallot

Pikalatausasema lataa autoa tasavirralla, joten syötön vaihtovirta tulee tasasuunnata latausaseman sisällä. Oletetaan tasasuuntaustavaksi tyypillinen 6-pulssinen dioditasasuuntaussilta.

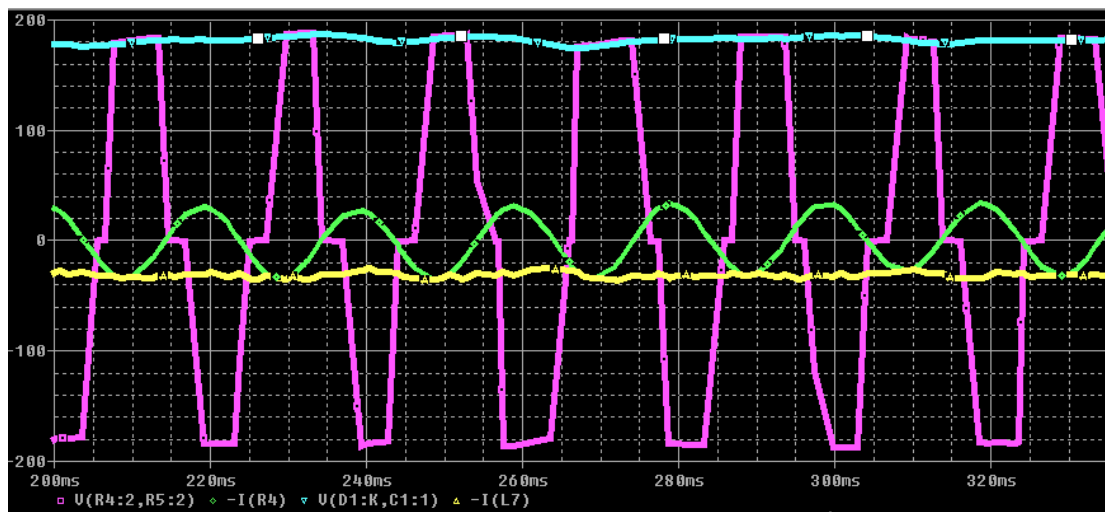
Orcad ohjelmistolla tehdään pikalatausasemasta piirikytkentä. Kytkentää varten lasketaan latausaseman tehon perusteella latausaseman resistanssi, koska kuormaa kuvataan kytkennässä vastuksena, jonka tunnus on R4. Tasavirtapiirin jännite U_{dc} on $1,35 \cdot U$

$$R = \frac{1,35 \cdot U_{dc}^2}{P} = \frac{(1,35 \cdot 400 \text{ V})^2}{50 \text{ kW}} = 5,83 \Omega$$



Kuva 14. Pikalatausaseman piirikytkentä.

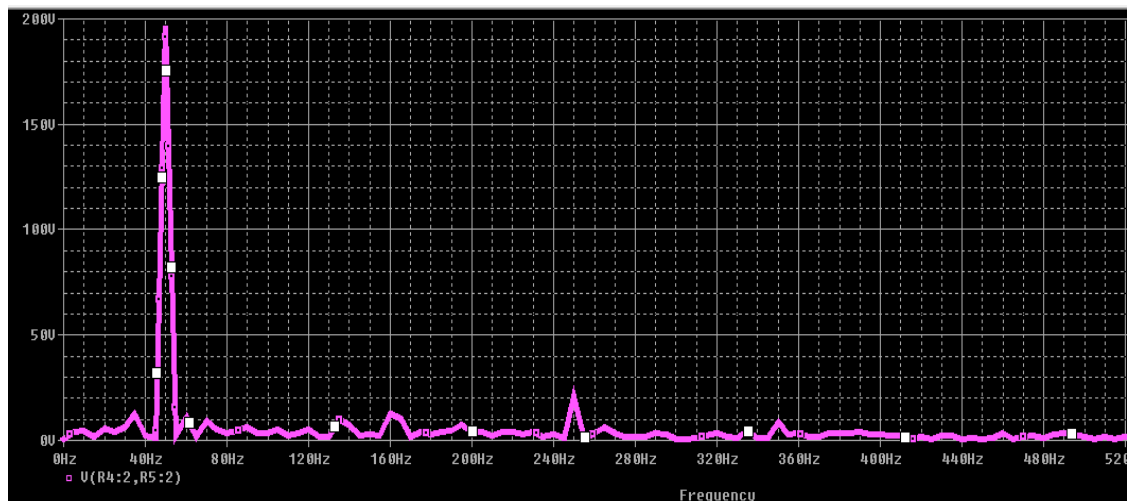
Tasavirtapiiriin lisättiin kondensaattori, joka tasaa jännitteen ja kela, joka tasaa virran. Arvot näille komponenteille määritettiin kokeilemalla. Komponentit L4-L6 ja R5-R7 kuvaavat kaapelien impedansseja, jotka tulevat jakokaapille ja pikalatausasemalle. Komponentit L1-L3 ja R1-R3 kuvaavat muuntajan komponentteja, jotka on laskettu luvussa 4. Kuvaan sijoitettujen mittapäiden avulla virrasta ja jännitteestä otettiin kuvaajat jotka ovat esillä kuvassa 15.



Kuva 15. Virtojen ja jännitteiden kuvaajat

Kuvasta 15 nähdään, että vihreällä käyrällä oleva verkon virta pysyy sinimuotoisena. Kuvassa keltaisella värillä on diodien jälkeinen tasavirtapiiriin virta ja turkoosilla tasavä-

lipiirin jännite. Violetilla välillä on kuvattu verkon jännitettä. Huomataan, että tasasuuntauksen takia verkon jännite säröytyy voimakkaasti sinimuodosta poikkeavaksi. Otetaan kuitenkin Orcadin avulla verkkovirran ja verkkojännitteen spektri. Kuvaaja otettiin väliltä 200 ms – 400 ms, jolloin virta saavuttaa jatkuvuustilan arvot.

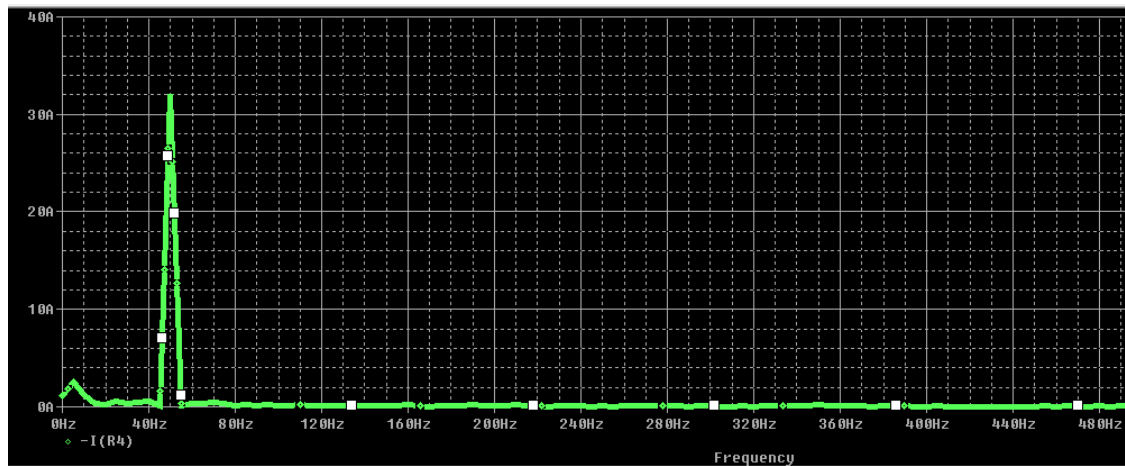


Kuva 16. Verkkajännitteenspektri

Kolmivaiheisessa kytkennässä ensimmäinen merkityksellinen yliaalto muodostuu 250 Hz:n kohdalle, seuraava 350 Hz:n kohdalle ja niin edelleen aina sadan hertsin välein. Lasketaan kuvan 16 ja kaavan 19 perusteella jännitteen THD-prosentti jonka tulisi olla alle neljän.

$$THD = \frac{\sqrt{20,3^2 + 8,77^2 + 0,55^2 + 3,5^2}}{191,3} \cdot 100 \% = 11,7 \%$$

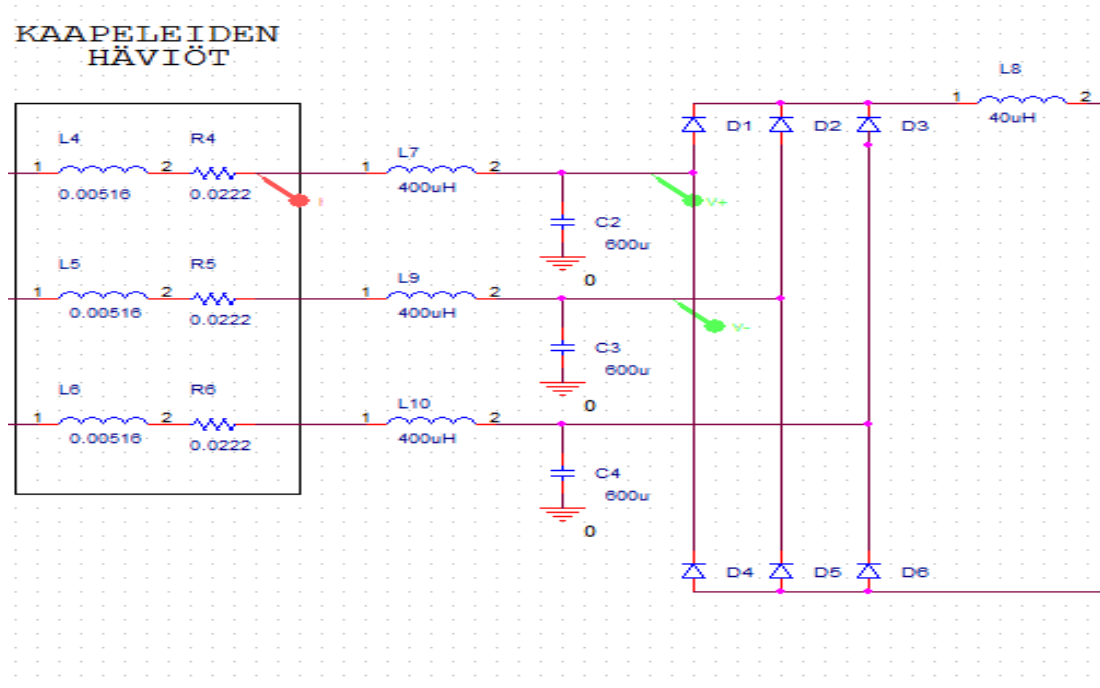
Jännitteen särö on näin ollen liian korkea, joten kytkentä vaatii jännitesärön suodatusta. Tutkitaan seuraavaksi verkkovirran vastaavaa THD-prosenttia. Virrasta otettiin vastaava spektri, joka näkyy kuvassa 17.



Kuva 17. Verkkovirranspektri

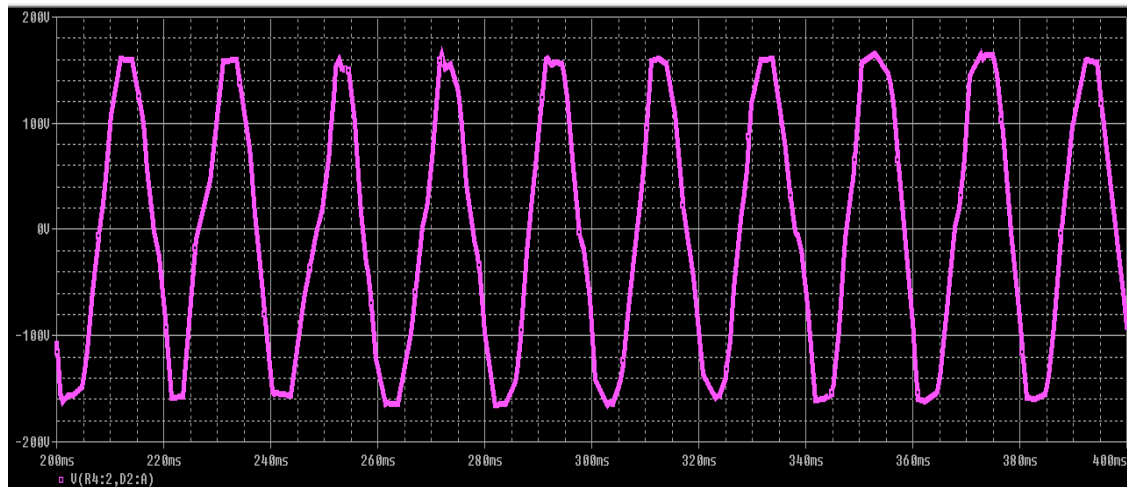
Kuvasta 17 nähdään, että yliaaltotaajuuksille ei tule juurikaan virtapiikkiä. Kolmivaihekytkennän viidennen yliaallon pitäisi näkyä kuvassa 250 Hz:n kohdalla. Kytkennässä olevat reaktanssit (L1-L6) ovat arvoltaan niin suuria, että yliaaltoja verkkovirtaan ei synny. Kaavalla 20 lasketun virran THD:n arvoksi saadaan kuvan perusteella 2,5 %, mikä on riittävän alhainen, jotta sähkönlaatu virran osalta säilyy hyvänä.

Jännitteen säröytymisen takia joudutaan kuitenkin miettimään korjaavia yliaaltosuodattimia. Suodattimeksi valikoitui kelan ja kondensaattorin yhdistelmä. Arvot komponenteille valikoitui kokeilemalla.



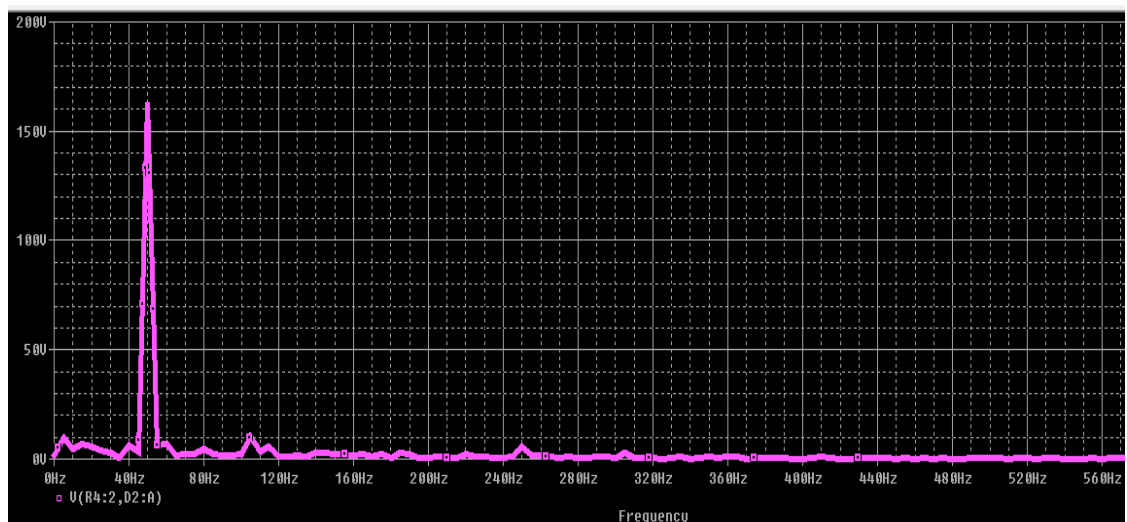
Kuva 18. Yliaaltosuodattimet.

Yliaaltosuodatin sijoitettiin jokaiseen kolmesta vaiheesta, kuten kuvasta 18 nähdään. Jokaisessa vaiheessa on 400uH kela ja 600uF kondensaattori rinnalla. Näiden komponenttien jälkeen verkkojännitteestä otettiin uusi kuvaaja.



Kuva 19. Verkon jännite suodatinten lisäästen jälkeen

Kuvasta voidaan todeta, että verkon jännite on palannut lähemmäksi sinimuotoista kuin se oli ennen suodattimia. Otetaan uudestaan jännitteen spektri ja lasketaan THD-prosentti.

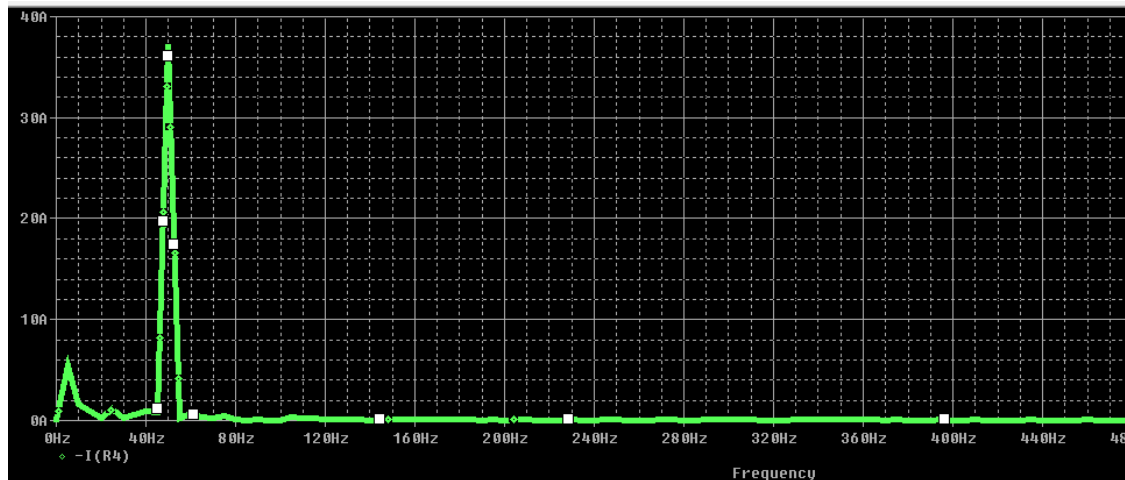


Kuva 20. Verkojännitteenspektri

Uudella spektrillä lasketaan kaavan 19 perusteella jännitteen THD-prosentin arvo

$$THD = \frac{\sqrt{5,7^2 + 1,3^2 + 0,12^2 + 0,22^2}}{159,2} \cdot 100 \% = 3,68 \%$$

Laskennan perusteella voidaan todeta THD-prosentin laskeneen alle neljän prosenttiin, joten sähkölaatu pysyy hyvänä kuvan 18 suodattimilla. Tarkistetaan vielä virranspektri suodatinten lisäyksen jälkeen.

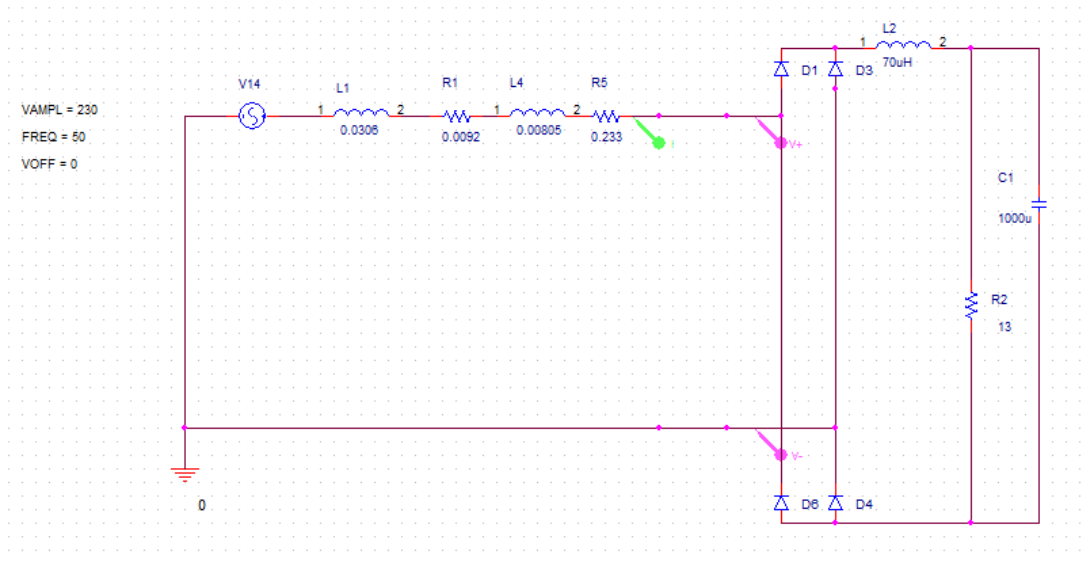


Kuva 21.

Verkon virta ei säröydy suodatinten lisäyksen jälkeen, joten kytkentämalli ei vaadi sen osalta enempää muutoksia.

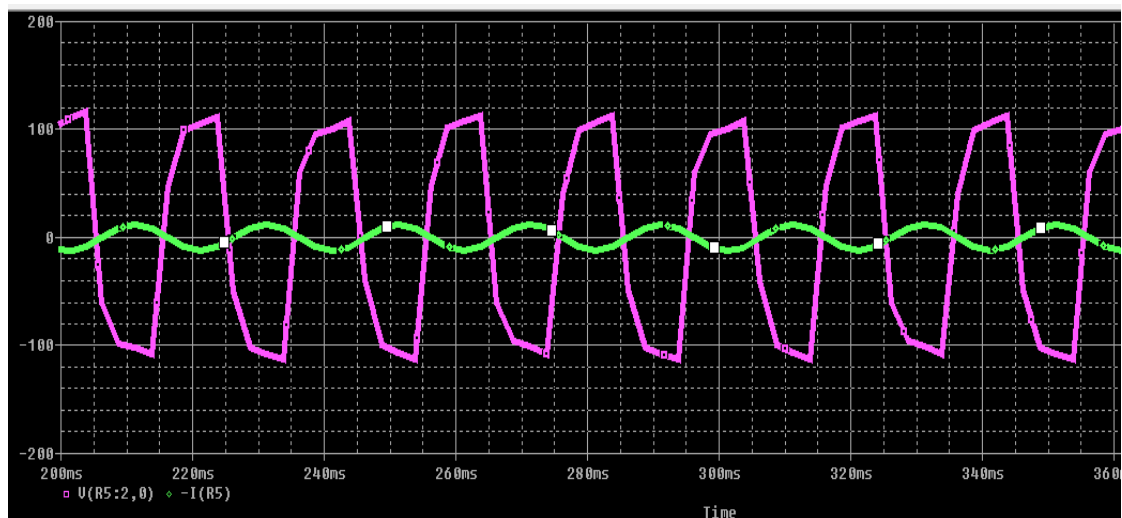
6.4 Yksivaiheisen latauksen yliaallot

Hitaista latausasemista joiden teho on 3,3 kW mallinnettiin yksivaiheisella tasasuuntauskytkennällä. Kytkennässä kuvataan lataustehoa, joka tapahtuu vaihtovirralla. Latausaseman jälkeen jännite tasasuunnataan auton puolella akkuihin sopivaksi. Kytkennän mallinnus on nähtävissä kuvasta 22.



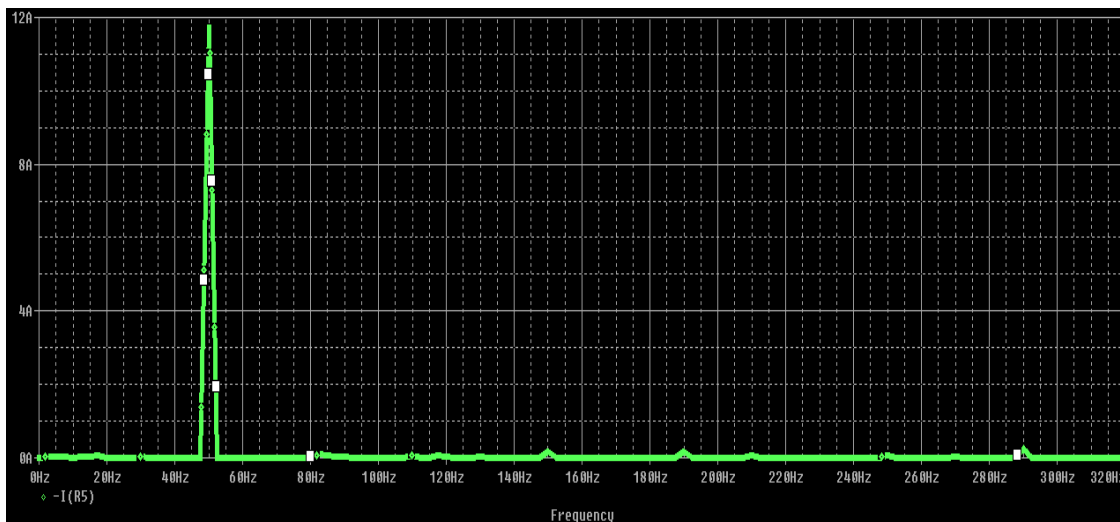
Kuva 22. Yksivaihelatauksen simulointikytkentä

Jännitettä mitataan vaihejohtimen ja nollajohtimen väliltä. Tasajännitepiirin tasaavat kondensaattori ja kela ovat mitoitettu samoin kuin kolmivaihekytkennässä, eli kokeilemalla. Kuvasta 23 nähdään verkkovirran ja verkkojännitteen kuvaajat.



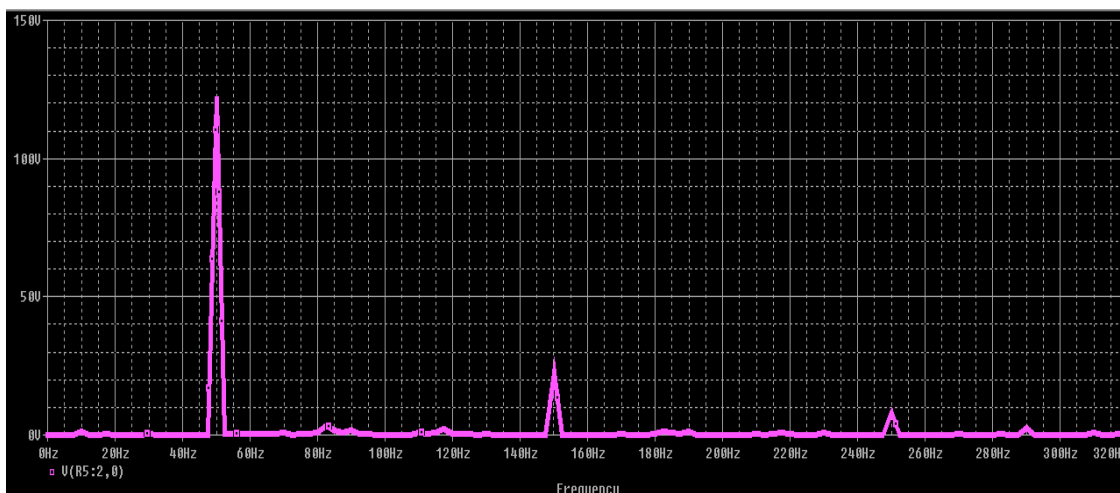
Kuva 23. Verkkovirran ja verkkojännitteen spektrit

Kuvasta 23 nähdään, että virrankuvaaja pysyy sinimuotoisena. Violetilla värillä oleva jännitteenkuvaaja sen sijaan säröytyy eriäväksi sinimuodosta. Virrasta ja jännitteestä otetaan molemmista omat spektrinsä.



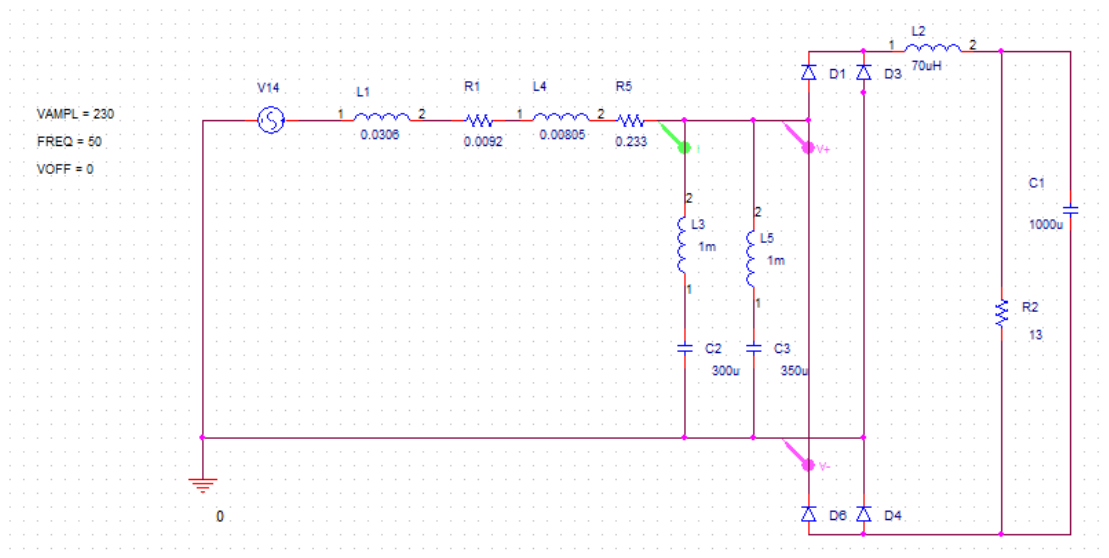
Kuva 24. Verkkovirranspektri

Kaavalla 20 laskettiin verkkovirran THD-prosentti ja sen arvoksi saatiin 1,89 %. Virran osalta sähkölaatu yksivaihelatauksella pysyy siis hyvänä.



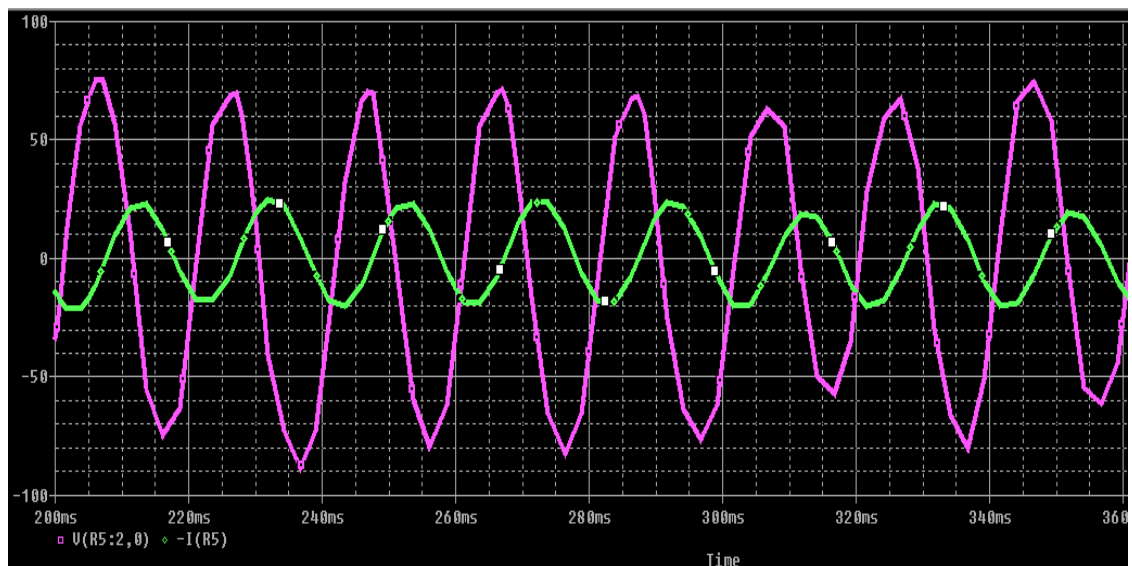
Kuva 25. Verkkojännitteenspektri

Kaavalla 19 laskettiin säröprosentti verkon jännitteelle. Prosentiksi saatiin 19,1 %. Jännitteelle tarvitaan suodin, jotta säröprosenttia saadaan pienennettyä.



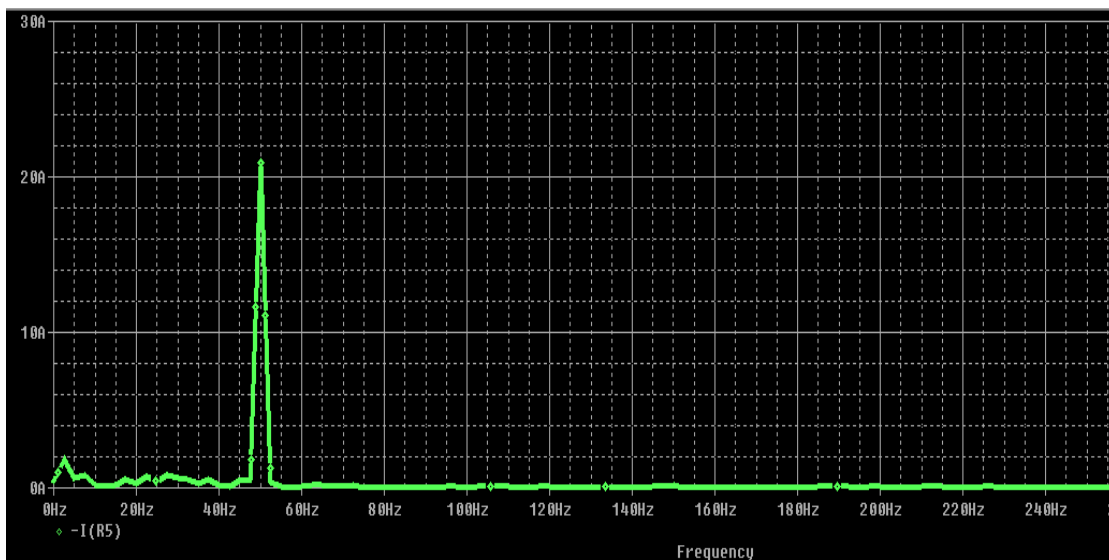
Kuva 26. Yksivaihelatauksen simulointikytkentä yliaaltosuodattimilla

Vaihejohtimen ja nollajohtimen väliin lisättiin kaksi yliaaltosuodatinta. Ne koostuvat kelasta ja kondensaattorista sarjassa. Arvot määritettiin kokeilemalla kuten pikalatauksessaakin. Kelojen L3 ja L5 arvoiksi saatiin 1mH ja kondensaattoreiden C2 ja C3 arvoiksi 300uF ja 350uF. Suodattimien lisäyksen jälkeiset verkkojännitteen ja –virran kuvaajat ovat esitetty kuvassa 27.



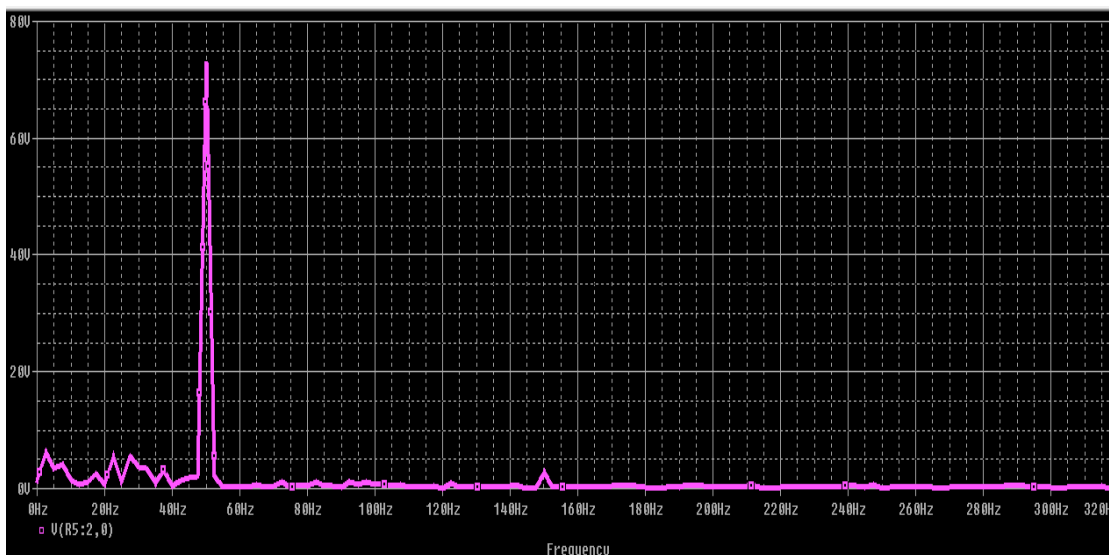
Kuva 27. Verkkovirran ja verkkojännitteen kuvaajat suodatinten lisäyksen jälkeen

Kuvasta 27 voidaan todeta, että vihreällä olevan virran kuvaaja on pysynyt edelleen sinimuotoisena ja jännitteen kuvaaja on lähestynyt sinimuotoa. Otetaan molemmista käyristä spektrit ja lasketaan jännitteelle uusi THD-prosentti.



Kuva 28. Virranspektri

Kuvasta nähdään, että virralle ei edelleenkään ole syntynyt yliaaltotaajuuksia.



Kuva 29. Verkköjännitteenspektri

Suodatinten lisäyksen jälkeen kaavalla 19 laskettu THD-prosentti on 3,76 %, mikä alittaa neljän prosentin hyvyysrajan. Todetaan siis mitoitetujen suodatinten toimivan.

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Sähköenergian vuosikulutuksen osalta voidaan todeta, että 1,3 % osuus tästä kulutuksesta ei ole millään tavalla merkityksellinen. Lisäksi voidaan todeta, että 3,5 miljoonaa sähköautoa, jolla 1,3 % osuus toteutuisi, ei ole toden näköinen vaihtoehto ainakaan kovin lähellä seuraavien vuosien/vuosikymmenten kuluessa. Sen sijaan 40 % autoista voi olla vuoteen 2030 mennessä sähköautoja. Tällöin rekisteröityjä autoja olisi 1,4 miljoonaa. [24],[26]

Huippukuormitus muodostuu vakavaksi ongelmaksi sähköverkon kannalta, mikäli latausta ei pystytä porrastamaan mitenkään. Nyt jo tuontisähkön varassa huippukuormituksen aikaan olevan Suomen pitäisi rakentaa lisää säätövoimakapasiteettia. Edes olkiluoto kolmosen tuomat 1600 MWh ei riitä lähellekään kulutuksen kattamiseen, vaan nykyisen voimalaitos kapasiteetin pitäisi kaksinkertaistua. 1,75 miljoonaa sähköautoa on arvioitu hieman yläkanttiin. Huipputehon nosto on niin suuri, että vaikka suomessa olisi alle miljoona rekisteröityä sähköautoa, niin niitä yhtä aikaa ladattaessa tulisi ongelma huipputehon kulutuksessa. Lisäksi lataus voi tapahtua enemmissä määrin käyttäen tehokkaampia latausasemia, jolloin tehon kulutus nousisi edelleen. Ongelmia tulisi voimalaitosten riittävyyden lisäksi verkon kestävyudessa, eteenkin pienjänniteverkolla. Verkkoja jouduttaisiin saneeraamaan ja vahvistamaan.

Hitaasta latauksesta voidaan todeta, että huipputeho on rajoitettu 3,3kW:iin. Tällöin suurin latausasemalta saatava latausvirta yksivaiheisella latauksella on 9,175 A. Lataus on valmistajan toimesta rajoitettu kymmeneen ampeeriin, vaikka sulake antaisi mahdollisuuden ladata 16 ampeerilla. Jos hitaan latauksen latausaika (kahdeksan tuntia) on mitoitettu 16 ampeerin mukaan, latausaika yhdeksällä ampeerilla kaksinkertaistuisi. Tällöin lataus kotitalouksissa kestäisikin kahdeksan tunnin sijasta viisitoista tuntia, mikä ei ole työssäkäyvälle ihmiselle yleensä realistinen mahdollinen latausaika.

Latausasemien ohessa, tai autossa tapahtuva tasasuuntaus aiheuttaa molemmissa tapauksissa verkkojännitteeseen yliaaltoja. Näitä yliaaltoja joudutaan kompensoimaan erilaisilla suodattimilla. Sähköautojen latausasemien yleistyessä, joudutaan muuntamoihin tai jakokeskuksiin jättämään tila näille laitteille. Yksivaiheisella latauksella voidaan yliaaltojen kompensointi tehdä myös nolla johtimessa. Tällöin nollajohtimeen aiheutetaan niin suuri impedanssi, että se tappaa sinne syntyvät yliaallot. Suositeltavaa on kui-

tenkin, että nollajohdin mitoitetaan hieman vaihejohtinta suuremmaksi, koska yliaaltojen summautuminen nollajohtimessa tekevät sen kuormituksesta vaihejohtinta suuremman. Tällöin mahdolliset yliaallot eivät sulata johdinta niin helposti.

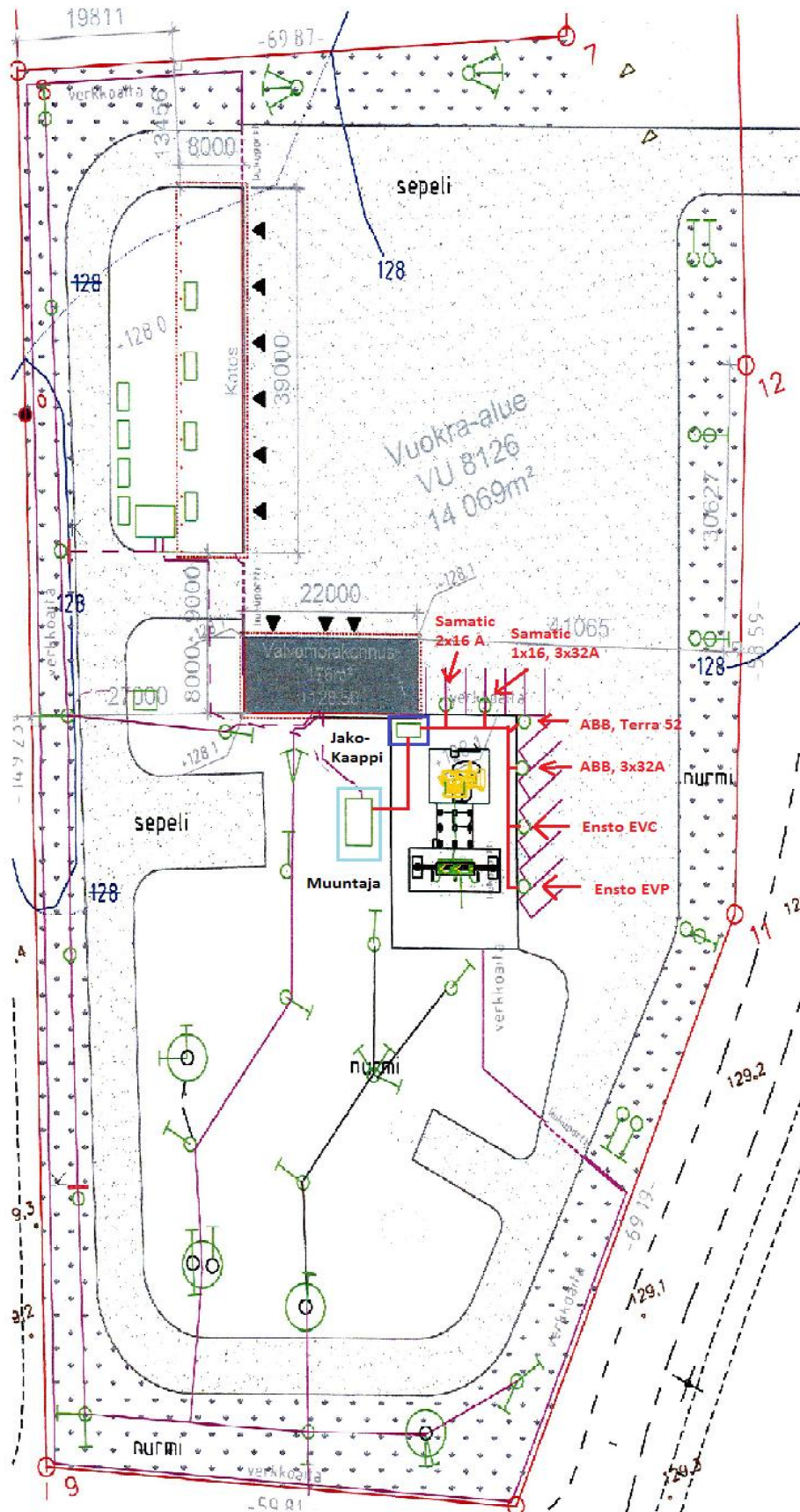
LÄHTEET

- Sähkö & Tele. 06/2012 [1]
- Naps. Tampereen sähkölaitoksen asiakaslehti. 4/2012 [2]
- Sähköautojen lataukseen liittyvä standardointi. pdf-tiedosto. Luettu 4.12.2012
 plaani_1_2011_sahkoautojen_lataukseen_liittyva_standardointi_jve.pdf [3]
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto Luettu 12.12.2012
<http://www.stul.fi/Default.aspx?id=27859> [4]
- IEC 62196. Luettu 12.12.2012
http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196 [5]
- Scame products Luettu 12.12.2012
http://www.scame.com/en/prodotto/ser/libera_connettori.asp [6]
- Alibaba.com Luettu 12.12.2012 [7]
http://www.alibaba.com/product-gs/427919709/IEC_62196_EV_Socket_G.html
- Sähköajoneuvo sähköverkon osana. pdf-tiedosto. Luettu 12.12.2012
 8_-_Ensto_-_EnstoSesko31032011.pdf [8]
- Ensto, EVC-latausasema. pdf-tiedosto. Luettu 22.10.2012
http://www.ensto.com/download/20577_A4_leaflet_EVC_FIN.pdf [9]
- Ensto, EVP-latausasema. pdf-tiedosto. Luettu 12.12.2012
http://www.ensto.com/download/21964_EVP_Leaflet_FIN.pdf [10]
- Samatic, eTolppa Luettu 12.12.2012
<http://www.satmatic.fi/fi/tuotteet/latausasemat.html> [11]
- ABB, katalogi. AC Charger for Electrical Vehicles. 04.2012 [12]
- ABB, Tuotteet. Luettu 23.10.2012 [13]
<http://www.abb.co.uk/product/seitp332/d4810787e10c9591c1257a9a0041241f.aspx>
- ABB, TTT-käsikirja [14]
- Hietalahti L. 2010. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka [15]
- Adaton verkostosuosituksset, SA4_09.pdf Luettu 25.2.2013 [16]
- SFS 6000. 1. painos 2008–09. Liite 52B [17]
- SFS 6000. 1. painos 2008–09. 5-52 [18]

- Draka, tuotteet, AXCMK. pdf-tiedosto Luettu 25.2.2013 [19]
http://www.draka.fi/draka/Countries/Draka_Finland/Languages/suomi/navigaatio/Tuotteet/Kiinteistoverkot/Voimakaapelit/Voimakaap._1kV_Cu/MCMK_35_1kV.pdf
- Adaton verkostosuosituksset, SA208.pdf Luettu 21.2.2013 [20]
- OAMK, oikosulkusuojaus. pdf-tiedosto Luettu 26.2.2013 [21]
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf
- ABB, pienjännitekojeet. pdf-tiedosto Luettu 25.2.2013 [22]
[http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/30e8c69535adcee1c12575a5001528d1/\\$File/1SCC317002C1801.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/30e8c69535adcee1c12575a5001528d1/$File/1SCC317002C1801.pdf)
- Teollisuuden sähkökäytöt, luentomateriaali, Hietalahti, L. TAMK. [23]
- Suomen tilastokeskus, autot maakunnittain. Luettu 26.2.2013 [24]
http://www.stat.fi/til/mkan/2011/mkan_2011_2012-02-24_tau_001_fi.html
- Nissan Leaf, tekniset tiedot. Luettu 26.2.2013 [25]
http://www.nissan.fi/etc/medialib/nissaneu/_FI_fi/_Other_pdf/_spec_sheets.Par.28531.File.dat/04B_FI_LEAF_Tekniset_tiedot__25-09-12_0115.pdf
- Motiva, sähkön hankinta ja kulutus. Luettu 26.2.2013 [26]
http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian kaytto_suomessa/sahkon_hankinta_ja_kulutuss
- Fingrid, ajankohtaista. Luettu 26.2.2013 [27]
<http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/tiedotteet/Sivut%2FS%C3%A4hk%C3%B6n-saatavuus-talvella-tuonnin-varassa.aspx>
- Hietalahti L. 2011. Tehoelektroniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka [28]
- Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. pdf-tiedosto Luettu 26.2.2013 [29]
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/\\$File/Tekninen_opas_nro_6.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/$File/Tekninen_opas_nro_6.pdf)
- Hietalahti L. Tarkka P. 2006. Piirianalyysi2. Helsinki: Edita [30]
- Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen materiaali. Saatu 11.10.2012 [31]

LIITTEET

Liite 1. Aluekartta [31]



Liite 2. Kaapeleiden valintataulukko A.52-3.[18]

Taulukko A.52-3 (52-C2) Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoille A, B, C ja D. PEX- tai EPR-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet, kolme kuormitettua johdinta, Johtimen lämpötila: ilmassa 90 °C, maassa 65 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C ilmassa, 15 °C maassa

Nimellinen johtimen poikkipinta mm ²	Taulukon A.52-1 mukainen referenssiasennustapa			
	A	B	C	D
1	2	3	4	5
Kupari				
1,5	17	20	23	26
2,5	23	27	31	35
4	31	36	42	46
6	39	45	52	57
10	53	62	71	77
16	70	83	100	100
25	92	109	124	130
35	113	133	153	160
50	135	160	186	190
70	170	202	238	240
95	205	242	289	285
120	236	278	335	325
150	269	–	386	370
185	306	–	441	420
240	360	–	520	480
300	411	–	599	550
Alumiini				
16	57	66	79	78
25	73	87	94	100
35	90	107	116	125
50	108	129	141	150
70	136	162	181	185
95	163	195	219	220
120	187	224	255	255
150	214	–	294	280
185	242	–	336	330
240	283	–	397	375
300	325	–	458	430

Liite 3. Johtinten kuormitettavuuksien minimiarvot. Taulukko B.52-1.[17]

Taulukko B.52-1 Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot erilaisilla sulakkeen nimellisvirroilla

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

Liite 4. Johdinten reaktanssien ja resistanssien arvot.[20]

JOHTOJEN RESISTANSSIT JA REAKTANSSIT SEKÄ AMKA 3x35+50,
AMKA 3x70+95 JA AXMK 4x185 S VASTAAVAT PITUUSKERTOIMET

JOHTO	R _v (+40 °C) Ω/km	R ₀ (+ 40 °C) Ω/km	X _v Ω/km	X _{v0} Ω/km	X ₀ Ω/km	PITUUSKERROIN		
						Perusjohto AMKA 3x35+50	Perusjohto AMKA 3x70+95	Perusjohto AXMK 4x185 S
Avojohto								
2x21/4 Al/Fe	1,470	1,470	0,400	0,000	0,400	1,782	3,411	7,551
4x21/4 Al/Fe	1,470	1,470	0,378	0,567	0,396	1,808	3,460	7,657
4x34/6 Al/Fe	0,917	0,917	0,359	0,551	0,377	1,183	2,264	5,012
4x54/9 Al/Fe	0,580	0,580	0,340	0,525	0,358	0,820	1,569	3,473
4x85/14 Al/Fe	0,365	0,365	0,321	0,503	0,337	0,606	1,160	2,566
AMKA								
1x16+25	2,064	1,491	0,090	0,000	0,074	2,101	4,025	8,898
1x25+35	1,297	1,065	0,090	0,000	0,074	1,399	2,677	5,946
3x16+25	2,064	1,491	0,108	0,055	0,074	2,101	4,021	8,902
3x25+35	1,297	1,065	0,106	0,045	0,073	1,404	2,679	5,950
3x35+50	0,938	0,778	0,104	0,045	0,073	1,000	1,914	4,237
3x35+70	0,938	0,533	0,103	0,045	0,072	0,875	1,674	3,706
3x50+70	0,693	0,533	0,101	0,045	0,071	0,730	1,397	3,095
3x70+95	0,479	0,392	0,097	0,045	0,070	0,523	1,000	2,214
3x120+95	0,273	0,392	0,092	0,030	0,078	0,404	0,772	1,707
AMCMK								
3x16+10 Cu	2,064	2,060	0,082	0,082	-	2,436	4,663	10,32
3x25+10 Cu	1,298	2,060	0,082	0,082	-	1,999	3,803	8,419
3x25+16 Cu	1,298	1,240	0,082	0,082	-	1,503	2,875	6,365
3x35+10 Cu	0,939	2,060	0,082	0,082	-	1,774	3,395	7,514
3x35+16 Cu	0,939	1,240	0,082	0,082	-	1,459	2,455	5,400
3x50+16 Cu	0,694	1,240	0,078	0,078	-	1,144	2,189	4,846
3x70+21 Cu	0,480	0,936	0,075	0,075	-	0,839	1,605	3,551
3x95+29 Cu	0,348	0,691	0,075	0,075	-	0,616	1,179	2,605
3x120+41 Cu	0,276	0,478	0,072	0,072	-	0,449	0,859	1,897
AXMK								
4x16 S	2,064	2,064	0,091	0,091	0,091	2,970	4,675	10,35
4x25 S	1,298	1,298	0,088	0,088	0,088	1,537	2,942	6,514
4x35 S	0,939	0,939	0,088	0,088	0,088	1,115	2,134	4,725
4x50 S	0,694	0,694	0,087	0,087	0,087	0,826	1,581	3,499
4x70 S	0,480	0,480	0,085	0,085	0,085	0,576	1,103	2,442
4x95 S	0,348	0,348	0,084	0,084	0,084	0,428	0,819	1,813
4x120 S	0,276	0,276	0,082	0,082	0,082	0,342	0,654	1,447
4x150 S	0,226	0,226	0,082	0,082	0,082	0,278	0,533	1,181
4x185 S	0,181	0,181	0,082	0,082	0,082	0,236	0,452	1,000
4x240 S	0,140	0,140	0,079	0,079	0,079	0,191	0,366	0,810
4x300 S	0,114	0,114	0,079	0,079	0,079	0,166	0,318	0,703
MCMK								
3x2,5+2,5	7,992	7,992	0,115	0,115	-	8,999	17,221	-
3x6+6	3,322	3,322	0,115	0,115	-	3,867	7,401	16,381
3x10+10	1,974	1,974	0,110	0,110	-	2,307	4,415	9,774
3x16+16	1,240	1,240	0,088	0,088	-	1,467	2,808	6,216
3x25+16	0,786	1,240	0,082	0,082	-	1,198	2,293	5,077
3x35+16	0,566	1,240	0,077	0,077	-	1,069	2,046	4,531
3x50+25	0,419	0,786	0,076	0,076	-	0,719	1,375	3,045
3x70+35	0,291	0,566	0,075	0,075	-	0,509	0,975	2,158
3x95+50	0,211	0,419	0,074	0,074	-	0,397	0,759	1,681
3x120+70	0,168	0,291	0,074	0,074	-	0,275	0,527	1,167
3x150+70	0,138	0,291	0,073	0,073	-	0,255	0,488	1,080
3x185+95	0,112	0,211	0,072	0,072	-	0,195	0,373	0,827
3x240+120	0,087	0,168	0,072	0,072	-	0,157	0,301	0,666

Liite 5. Latausasemien syötön sähkökuva

