

Jukka Kuisma

# Sähköautojen lataustekniikat

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Sähköinsinööri  
Sähkötekniikka  
Opinnäytetyö  
20.04.2011

Tekijä(t) Otsikko	Jukka Kuisma Sähköautojen lataustekniikat
Sivumäärä Aika	42 sivua 20.4.2011
Tutkinto	Sähköinsinööri
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Jari Ijäs
<p>Insinööriyössä selvitettiin eroja lataustekniikoiden välillä siltä osin, kun ne vaikuttavat sähkönlaatuun kiinteistössä. Työssä kartoitettiin sähköauton tekniikkaa siltä osin, kun se vaikuttaa lataamiseen. Oppilaitoksen sähköosasto suoritti sähkötekniisiä mittauksia sähköautojen latausvirtaan. Mittaustuloksien pohjalta arvioitiin sähköautojen soveltuvuutta nykyisiin liikekiinteistöihin, kauppakeskuksiin ja asuinalueisiin sähkönlaadun näkökulmasta.</p> <p>Työssä havaittiin, että nykyisillä lataustekniikoilla saadaan laturi ottamaan verkosta sinimuotoista virtaa käyttäen aktiivista tehokertoimen korjausta. Mittauksissa ilmeni, että sähkönlaadun näkökulmasta katsottuna markkinoilta löytyy myös huonoja lataustekniikoita. Latausverkostoa voidaan laajentaa kiinteistöihin. Suuren lataustehon takia latausta voidaan joutua ohjaamaan.</p> <p>Työssä tultiin siihen tulokseen, että litium-pohjaiset akkutyypit kattavat lähitulevaisuuden akkutarpeet. Akustoa hallitaan akkujen hallintajärjestelmällä, joka toimii latauksen ohjauksena.</p>	
Avainsanat	sähköautot, lataustekniikat, akusto, BMS, laturi

Author(s) Title	Jukka Kuisma Charging Technologies for Electric Cars
Number of Pages Date	42 pages 20 April 2010
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Senior Lecturer Jari Ijäs
<p>The purpose of this thesis was to evaluate the differences between charge mechanisms with regard to their effect on the quality of electricity in properties. In this study the engineering in electric cars was surveyed from the point of view of how it affects charging. The electronics department of Metropolia carried out electro-technical measurements regarding the charge power of electric cars. On the basis of the measurement results, the suitability of electric cars operating in current business properties, shopping centers and residential areas was estimated from the point of view of the quality of electricity.</p> <p>The study discovered that with the existing charging technologies it is possible to get the charger to draw sine-shaped current from the grid by using active power factor correction. The measurements also revealed that from the perspective of electricity quality many poor charging technologies exist on the market.</p> <p>The study also shows that the charging station network can be extended to different properties. Due to high-wattage charging the charge might have to be controlled.</p> <p>As a conclusion of this study, it can be stated that lithium based batteries will meet the battery needs in the future. The battery will be controlled with a battery management system, which works as a charge control.</p>	
Keywords	electric cars, charge technologies, battery, BMS, charger

## Sisällys

### Tiivistelmä

### Abstract

### Sisällys

### Symboliluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Sähköautotyypit</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Latausinfrastruktuuri</b>	<b>2</b>
3.1	Hidas lataus	3
3.2	Nopeat lataukset	4
<b>4</b>	<b>Akustot</b>	<b>5</b>
4.1	Akkutyypit	6
4.1.1	Lyijyakku	6
4.1.2	Nikkelimetallihydridi-akku (NiMH)	7
4.1.3	Litium-ion-akku	7
4.1.4	Litium-polymeeri-akku	8
4.2	Yhteenveto akkutyypeistä	8
4.3	Akkujen hallintajärjestelmä (BMS)	11
<b>5</b>	<b>Sähköautojen akkulaturit</b>	<b>13</b>
5.1	Hakkuriteholähde	14
5.2	Energian syöttö takaisin verkkoon	15
<b>6</b>	<b>Sähkönlaatu</b>	<b>17</b>
6.1	Yliaallot	17
6.2	Yliaaltojen haitat	19
6.3	Nollajohtimen kuormittuminen	20
6.4	Loisteho	21
<b>7</b>	<b>Sähkönlaatumittaukset</b>	<b>22</b>
7.1	Toyota Prius -hybridiauto	23

7.2	Passat Variant -muuntosähköauto	24
7.3	Autojen yhteismittaus	26
7.4	Yhteenveto mittauksista	28
<b>8</b>	<b>Hyvät ja huonot lataustekniikat</b>	<b>28</b>
8.1	Tehokertoimen korjaus PFC	29
8.1.1	Passiivinen PFC	30
8.1.2	Aktiivinen PFC	32
8.2	Pehmokäynnistys	35
<b>9</b>	<b>Sähköautojen standardointi</b>	<b>36</b>
<b>10</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>37</b>

## Symboliluettelo

I	virta, A
E	energia,
P	teho, W
M	paino, g
Cu	kupari
Al	alumiini
f	taajuus, Hz

## 1 Johdanto

Syöksy-tutkimushanke kehittää vähäpäästöisiä liikkumispalveluja Marja-Vantaalle ja Aviapolikseen. Kehäradan varteen Vantaalle rakennetaan ekologista kaupunkialuetta, jossa ensi alkuun kehitetään sähköistä liikennettä kehäradan ympäristöön. Metropolia Ammattikorkeakoulu on mukana tässä hankkeessa.

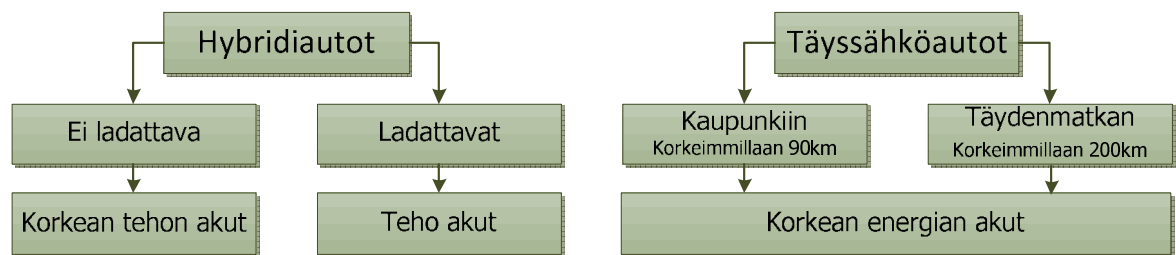
Oppilaitoksen sähköosaston tehtävänä on suorittaa sähkötekniisiä mittauksia koskien sähköautojen latausta ja arvioida niiden soveltuvuutta nykyisiin liikekiinteistöihin, kauppakeskuksiin ja asuinalueille sähkönlaadun näkökulmasta. Mittaukset suoritettiin Metropolian kiinteistössä Albertinkadulla käyttöön saaduilla ladattavilla henkilökuljetukseen tarkoitetuilla täyssähkö- ja hybridautoilla. Mittauksissa huomattiin, että lataustekniikoiden vaikutus sähkön laatuun vaihtelee hyvin paljon.

Tässä insinööriyössä selvitetään eroja lataustekniikoiden välillä siltä osin, kun ne vaikuttavat sähkönlaatuun kiinteistössä. Työssä pyritään kartoittamaan sähköauton tekniikkaa siltä osin, kun se vaikuttaa lataamiseen. Tarkastelu koskee laturia, akustoa ja akkujen hallintajärjestelmää. Akuston yhteydessä perehdytään sähköauton käytössä oleviin akkutyyppeihin ja pohditaan niiden tulevaisuutta.

Laturi on keskeisessä asemassa tässä työssä, koska se määrää kiinteistön jakokeskuksesta otettavan virran laadun. Laturia ohjataan akkujenhallintajärjestelmällä, ja se hallitsee akustoa, joten se käsitellään osana tätä työtä. Tässä työssä tehdään katsaus sähköautojen standardointiin nykyisin ja pyritään selvittämään tulevaisuutta standardoinnin osalta.

## 2 Sähköautotyypit

Sähköautolla tarkoitetaan tässä insinööriyössä tieliikennekäyttöön tarkoitettuja, täysin tai osittain sähköllä toimivia autoja. Sähköautot jaetaan kahteen osaan: hybridi- ja täyssähköautoihin. Täyssähköautot jaetaan käytön ja akuston energian perusteella. Hybridautoista käsitellään niitä, joiden energiavarastoina toimivat akut ja polttoainesäiliöt. Hybridautot jaetaan kahteen osaan sen perusteella, ladataanko niitä sähköverkosta vai ei. Kuvassa 1 eritellään sähköautotyypit ja niiden akustoilta vaadittavat ominaisuudet:



Kuva 1. Sähköautotyypit ja niiden akustoilta vaadittavat ominaisuudet

## 3 Latausinfrastrukturi

Sähköautojen yleistyminen autokannassamme vaatii laajan latausverkoston. Suomen latausverkosto perustuu lähinnä autolämmityspistorasioihin, jotka nekin vaativat tiettyjä toimenpiteitä soveltuakseen käytettäväksi sähköautojen lataamiseen. Sähköautojen akkukapasiteetit riittävät vain lyhyisiin matkoihin, joka lisää haasteita latausverkostolle. Mikäli sähköautoilla halutaan liikkua pidempiä matkoja, nopeita latauspisteitä tarvitaan laajamittaisesti ympäri Suomen.

Latausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: hidas lataus ja nopea lataus. Nopea lataus voidaan jakaa edelleen kolmeen osaan: keskinopea lataus, nopea lataus ja erittäin nopea lataus. Taulukossa 1 (ks. seur. s.) on esitelty täyssähköauton lataustehoja eri latausnopeuksilla sekä latausaikoja olettaen, että hitaalla yksivaiheisella latauksella akku varautuu täyteen kapasiteettiinsa kahdeksassa tunnissa. [1; 2; 3.]



Taulukko 1. Esimerkkejä täyssähköauton lataustehoista eri latausnopeuksilla sekä niitä vastaavat latausajat

	Hidas lataus		Keskinopea lataus	Nopea lataus	Erittäin nopea
	1-vaiheinen	3-vaiheinen			
Latausteho	3 - 4 kW	10 - 15 kW	30 kW	120 kW	400 kW
Latausaika	8 h	2,7 h - 1,9 h	50 min	14 min	4 min

### 3.1 Hidas lataus

Hitaalla latausmenetelmällä tarkoitetaan verkkopistorasiatyypistä latausta. Suomessa on arvioilta noin 1.5 miljoonaa autolämmityspistorasiaa, jotka pienillä muutoksilla soveltuisi sähköautojen latauspisteiksi. Muutokset koskee sähkön tulo säädöstelyä. Autolämmityspistorasiat ovat usein säädetty kellokytkimellä toimiakseen vain kahden tunnin ajan. Lämpötilasäätöä on tehty niin, että sähköä tulee vain, kun lämpötila laskee tiettyyn pisteeseen. Arvioidaan, että hitailla latausmenetelmillä voidaan täyttää 85 % sähköautojen lataustarpeista [2]. Hitaanlatauksen latausverkosto on laajennettavissa myös esimerkiksi pysäköintihalleihin, kauppakeskuksiin, kadunvarsille ja joukkoliikenteen liityntäpysäköintipaikoille.

Pistorasioiden sulakekoko on määräävä tekijä hitaassa latauksessa. Suurin osa kaikista suomen pistorasioista on suojattu 16 A:n sulakkeella tai johdonsuojakatkaisijalla. Tästä syystä hitaasta latauksesta saadaan maksimissaan vain 3 - 4 kW:n latausteho, jolla täyssähköauton lataus kestää noin kahdeksan tuntia. Ladattavat hybridit taas saadaan ladattua paljon pienemmässä ajassa niiden pienen akkukapasiteetin takia. Hidas lataus on siis tarkoitettu lähinnä paikkoihin, joissa vietetään pitkiä aikoja kuten kodit ja työpaikat. Hitaan latausmenetelmän akkulaturit on sijoitettu autoon. Hitaasta latauksesta on olemassa 3-vaiheinen versio, jossa lataus teho yltää 10 - 15 kW. Mikäli sähköauton lataus kestää yksivaiheisena noin 8 tuntia, se kestää kolmivaiheisena noin 2,7 tuntia.

Suomalainen sähköalan yritys Ensto valmistaa ja myy sähköautoille tarkoitettuja hitaan latauksen lataustolppia, jotka ominaisuuksiltaan sopivat hyvin julkiseen lataamiseen. Tolpissa on pistorasiakohtainen lataustilan ilmaisu LED-valoilla, joista käyttäjä näkee kauempaakin, onko lataustolppa käytössä, tai onko oma sähköauto jo latautunut täyteen. Valmius ulkoiseen ohjaukseen on myös yksi niiden tärkeistä ominaisuuksista. Sen avulla voidaan esimerkiksi antaa lupa lataukselle pysäköintimaksuautomaatilta. On kuitenkin muistettava se, että kyseessä on hidaskäyttö, joten kyseiset tolpat eivät lataa akustoa yhtään nopeammin kuin esimerkiksi autolämmityspistorasiat. Ne antavat valmiudet latausverkon laajentamiseen esimerkiksi pysäköintihalleihin, kauppakeskuksiin, kadunvarsille ja joukkoliikenteen liityntäpysäköintipaikoille.

Hidaskäyttö on merkittävin latausmenetelmä, kun mietitään latauksen verkkovaikutuksia, koska sen arvioidaan täyttävän suurin osa sähköautojen lataustarpeista. Hitaan latauksen latauspisteitä on myös helppo lisätä kiinteistöön. Kiinteistön sähkömitoituksia tehdessä hidaskäyttö on haasteellisin ja merkittävin latausmenetelmä, koska sitä ei luultavasti ole otettu huomioon vanhoissa tai rakenteilla olevissa kiinteistöissä.

Kymmenet tai jopa sadat hitaan latauksen latauspisteet tuottavat yhtä aikaa käytettynä niin suuren huipputehon, että sillä on merkittäviä vaikutuksia kiinteistön sähkömitoituksiin. Mikäli suuria määriä sähköautoja halutaan ladata yhtä aikaa samasta kiinteistössä, tulee latausta ohjata vain tietyille autoille käytössä olevan sähköenergian mukaan. Hitaan latauksen akkulaturit on sijoitettu autoon, joten niiden verkkovaikutukset eivät myöskään ole kiinteistön haltijan tiedossa. [2; 4; 5.]

### 3.2 Nopeat lataukset

Nopeissa latausmenetelmissä sähköenergia siirretään kiinteistössä sijaitsevasta latauspisteestä suoraan auton akustoon. Latauspiste sisältää akkulaturin tarvittavine ohjauksineen ja suojausineen. Nopeat latausmenetelmät on tarkoitettu esimerkiksi huoltoasemakäyttöön. Niillä sähköauton akusto ladataan täyteen kapasiteettiinsa noin 4 - 30 minuutissa.

Nopeat latausmenetelmät vaativat kerralla suuren tehon, joka voi olla jopa satoja kilowatteja. Kun tulevaisuudessa nopeita latauspisteitä rakennetaan, latauspiste tulee ottaa huomioon kiinteistön sähkömitoituksissa automaattisesti. Nopean latauksen akkulaaturit sijoitetaan kiinteistöön. Kiinteistön sähköasennuksia tehdessä laturin ottama teho ja sen verkkovaikutukset ovat siis jo tiedossa sähköurakointiyrityksellä, joten mitoitukset ja muut tarvittavat kiinteistön sähköasennuksiin liittyvät työt on helppo suunnitella toimiviksi ja sähköautojen lataukseen sopivaksi. [6; 1.]

#### **4 Akut**

Saatavilla olevista siirrettävistä energianlähdevaihtoehdoista akut ovat olleet suosituin vaihtoehto sähköisten kulkuneuvojen tutkimus- ja kehittämistyössä alusta asti. Kaupallisesti saatavilla olevat sähköautot ja hybridisähköautot käyttävät energiavarastona akkuja.

Työssä selvitetään sähkö- ja sähköhybridiautoissa olevien akkujen ominaisuuksia ja arvioidaan niiden soveltuvuutta kyseisiin autoihin sekä pohditaan lähitulevaisuutta akkujen kannalta. Sähkö- ja sähköhybridiautojen akkujen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat korkea energiatiheys ja korkea tehoteiheys. Korkea energiatiheys on eräs sähköautojen akkujen tärkeimmistä ominaisuuksista, koska se kuvaa hyvin, kuinka paljon energiaa akku sisältää kilogrammaa kohden. Sähköautojen akustojen painoa ei voida lisätä loputtomiin, mutta lisäenergialle on tarvetta, jotta sähköautoilla voidaan ajaa pidempi matka latauskertaa kohden.

Tehoteiheys on myös tärkeä ominaisuus akuissa. Sillä kuvataan, kuinka paljon tehoa akku sisältää kilogrammaa kohden. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat hinta, kierrätettävyys ja käyttöikä. Työssä selvitetään myös nykyisin tai lähitulevaisuudessa myyntiin tulevien sähköautojen akkujen akkutyyppejä.

Akut valmistetaan yksittäisistä kennoista, jotka sisältävät kemiallista energiaa. Kennoja yhdistämällä sarjaan saadaan akku. Kun ryhmitellyt kennot koteloidaan, ne muodostavat akkumoduulin. Sähköautoissa käytettävät akustot koostuvat akkumoduuleista, joita sarjaan- ja rinnankytkemällä saadaan akustosta ulos haluttu jännite ja energia. Esimerkiksi Toyota Auriksen Suomessa myytävän täyshybridi-auton akkupaketti koostuu 28 akkumoduulista, ja akkumoduuli taas koostuu kuudesta kennosta, joista saadaan 201.6 voltin nimellisjännite. [7 s. 43 - 46; 8.]

#### 4.1 Akkutyypit

Akkutyypeistä käsitellään ne joita on käytetty nykyisin myynnissä olevissa sähkö- tai hybridautoissa: nikkelimetallihybridi-akku, litium-ion-akku ja litium-polymeeri-akku. Lyijyakku käsitellään myös koska se on yleinen ja tunnettu akkutyyppi, johon on hyvä verrata muiden akkutyyppien ominaisuuksia.

##### 4.1.1 Lyijyakku

Lyijyakku on ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tullut akku, joten se on hyvä vertailukohta akkutyyppeihin. Lyijyakku sisältää useita lyijypareja. Yhden lyijyparin nimellisjännite on kaksi volttia. Esimerkiksi 12-volttisen akun tekemiseen tarvitaan kuusi sarjaan kytkettyä lyijyparia. Lyijyakun tehotiheys on 150 - 400  $W/kg$ . Lyijyakun hyviin puoliin kuuluu se, että akku voidaan suunnitella korkeatehoiseksi, ja se on suhteellisen halpa. Sen hinnaksi arvioidaan 70 - 106 €/kWh.

Akun raakamateriaaleja lyijyä ja rikkiä on helposti saatavilla ja akku on helppo valmistaa. Ne ovat ominaisuuksiltaan luotettavia ja turvallisia. Akuille on olemassa valmis kierrätysjärjestelmä. Huonoja puolia akkutyyppistä löytyy paljon, ja ne ovat sen suurimpia esteitä tullakseen käytetyksi henkilösähköautoissa. Huonoin puoli on akun energiatiheys, joka on vain 35 - 55  $Wh/kg$ . Huonoihin puoliin kuuluvat myös huono toimintakyky kylmässä lämpötilassa ja lyhyt käyttöikä, joka on noin 500 - 1 000 latausta.

Lyijy Akku on varteenotettava vaihtoehto, kun mietitään ei-liikennekäyttöön tarkoitettuja ja kulkuneuvoja. Lyijyakuilla varustetaan paljon sähkökäyttöisiä henkilökuljetusautoja lentokentille, golfkärryjä ja trukkeja varastoihin sekä erilaisiin isoihin myymälöihin. [9, s. 113 - 114; 7, s. 46 - 47.]

#### 4.1.2 Nikkelimetallihydridi-akku (NiMH)

Nikkelimetallihydridi-akun (NiMH) kennossa on positiivisena elektrodina nikkelihydroksidi ja negatiivisena metallihydridi. Akun elektrolyytti on kaliumhydroksidia. Akun hyviin puoliin kuuluu sen käyttöikä, joka ylettyy jopa 1 000 – 2 000 latauskertaan. Yksittäisen kennon jännite on 1,2 volttia. Akun energiatiheys on lyijyakkua suurempi, se on 60 - 80 *Wh/kg*. NiMH-akun hyvänä puolena on sen tehotiheys, joka on 200 - 300 *W/kg*. Suuren tehotiheyden ansiosta saadaan akkupaketit pienemmiksi. NiMH-akun energiahyötysuhde on 70 %, kun ihanteellinen olisi 100 %. Hinta on myös NiMH-akun huono puoli, sen hinnaksi arvioidaan 141-247 €/kWh, joten se edustaa tässä työssä kalleinta akkutyyppejä.

NiMH-akku on haitallinen ympäristölle, joten se luokitellaan ongelmajätteeksi. Ainakin Suomessa NiMH-akuille on olemassa oma kierrätysmenetelmä. NiMH-akkuja on paljon käytössä sähköhybridiautoissa, kuten Toyotan Auriksessa, Priuksessa ja RAV-EV:ssa sekä Hondan CR-Z:ssa ja INSIGHT:ssa. [7, s. 51 - 68; 8; 10.]

#### 4.1.3 Litium-ion-akku

Litium-ion-akussa litium-ioni liikkuu anodin ja katodin välillä. Litium-metalliin perustuvia akkuja on kehitelty 1970-luvulta. Sen suurimmat haasteet ovat liittyneet litium-metallin korkeaan reaktiiviseen luonteeseen kosteuden kanssa. Korkea reaktiivinen luonne kosteuden kanssa tekee akuista vaarallisia, mikäli niitä käsitellään väärin, ja tuo myös turvallisuusriskin sähköauto-onnettomuuksiin. Nykyisin akkuja käytetään laajasti eri sovelluksissa, ja niiden lataaminen sekä purkaminen on turvallista, mikäli se tehdään oikein.

Litium-ion-akuilla on paljon hyviä puolia, joiden takia ne soveltuvat hyvin sähköauto-käyttöön. Kennon nimellisjännite on yli kolme voltia, joka on muihin sähköautoissa käytettyihin akkutyypin nähden korkea. Akun energiatiheys on suuri, se on 80 - 130 *Wh/kg*. Tehotiheys kuuluu myös akun hyviin puoliin, se on 200 - 300 *W/kg*. Akun energiahyötysuhde on kiitettävästi yli 95 %.

Käyttöikä akulla on keskimääräinen noin 1 000 latauskertaa, ja sen hinnaksi arvioidaan 141 €/kWh sähköautokäytössä. Akun komponenteille on valmiina kierrätysjärjestelmä, joka tukee sen käyttöä sähköautokäytössä. Litium-ion-akustoa käyttävät muun muassa seuraavat autot; Mitsubishi i MiEV, THiNK City, Peugeot Expert, Volvo 7700 hybridi ja Toyota Prius 2012. [9, s. 99 - 124; 7, s. 43 - 79.]

#### 4.1.4 Litium-polymeeri-akku

Litium-polymeeri-akku on valmistettu alun perin sähköisiin kulkuneuvoihin. Litium-polymeeriakussa litiumi säilytetään polymeerissa, jonka mukaan se on nimetty. Litium-ioni akun herkästi syttyvät nestemäiset elektrolyytit on korvattu kiinteillä polymeereilla, jonka ansiosta saadaan suuri turvallisuusetu mahdollisissa sähköauto-onnettomuuksissa. Ohuiden litium-polymeeri-kammioden ansiosta akusto saadaan mahtumaan sopivan kokoiseen muotoon esimerkiksi sähköauton asennuspohjaan. Muihin litium-polymeeriakun etuihin litium-ioniakkuun verrattuna kuuluvat sen korkeampi energiatiheys 150 - 200 *Wh/kg* ja tehotiheys 350 *W/kg*. Akkutyypin huonoihin puoliin kuuluu se tosiasia, että ne tarvitsevat toimiakseen 80 - 120 celsius asteen lämpötilan. [7, s. 43 - 79; 9, s. 99 - 124.]

#### 4.2 Yhteenveto akkutyypeistä

Akkutyyppejä löytyy markkinoilta lukuisia, joista sähköautoissa käytetään vain muutamia joita tässä työssä käsiteltiin. Kaikilta akuilta löytyy hyviä ja huonoja puolia. Energia tiheys kuitenkin rajoittaa täyssähköautoissa käytetyt akkutyypit litium-pohjaisiin. Sen tekniset arvot ovat varsin hyvät. Hybridisähköautoissa on käytetty pääosin NiMH-akkutyyppejä. Sen käyttöä hybridi sähköautoissa voidaan selittää korkealla tehotiheydellä ja käyttöikäällä.

Edellä mainituilla ominaisuuksilla saadaan hybridisähköautosta käyttöön suuri teho ja pitkä käyttöikä. Energiatiheys ei ole ratkaisevin tekijä hybridisähköautoissa, koska niiden akkukapasiteetit ovat vain murto-osa täyssähköautojen akkukapasiteeteista, joten akkujen paino-ongelmaa ei synny.

Lyijyakun käyttö rajoittuu lähinnä golf-kärryihin ja trukkeihin sekä niitä vastaaviin ajoneuvoihin, joilla ei kuljeta liikenteessä. Akku sisältää vain vähäisen määrän energiaa painoa kohden, mutta se on hinnaltaan halpa sekä turvallinen. Taulukkoon 2 on kerätty tutkittuja suureita akkutyypeittäin seuraavasti:

Taulukko 2. Tutkitut suureet akkutyypeittäin [7, s. 68]

Akkutyyppi	Energia- tiheys	Teho- tiheys	Energia- hyötysuhde	Lataus- kerrat	Arvioitu- hinta
Yksikkö	Wh/kg	W/kg	%	kpl	€/kWh
Lyijyakku	35 - 55	150 - 400	80	500 - 1 000	70 - 106
NiMH	60 - 80	200 - 300	70	1 000 - 2 000	141 - 247
Litium-ion	80 - 150	200 - 300	>95	1 000	141
Litium-poly	150 - 200	350	ei tiedossa	1 000	106

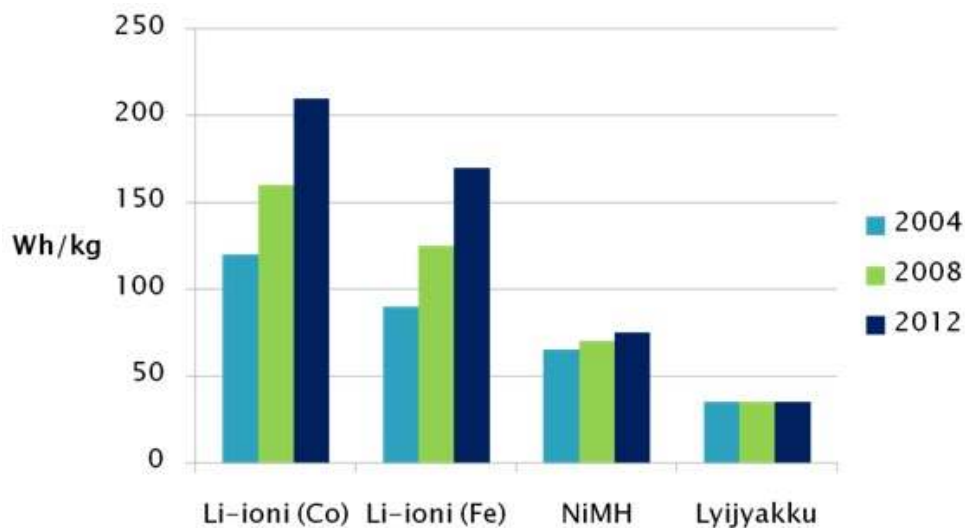
Lähde, josta tutkitut suureet akkutyypeittäin on kerätty, ei kerro tarkkaa tietoa siitä, mihin akkutyyppien arvioitu hinta perustuu. Hinnoista näkee kuitenkin hyvin sen tosiasian, että lyijyakku on akuista halvin ja NiMH taas kallein. Litium-pohjaiset akkutyyppit sijoittuvat hintavertailussa keskisijoille.

Lähteen arvioimat latauskerrat ovat taulukon laatijan arvioita. Eri lähteistä voidaan havaita erilaisia arvioita aina akkutyyppistä riippuen 500 – 5 000 latauskertaan. Lähteen arvioit kuitenkin noudattavat yleistä käsitystä latauskerroista määrästä eri akkutyyppien kesken. NiMH-akkutyyppistä saa eniten latausketoja käyttöön ja taas lyijyakusta vähiten.

Syöksy-hankeen väliseminaarissa arvioitiin, että nykyisillä litium-akuilla saavutetaan noin 3 000 latauskertaa [11].

#### Pohdintaa tulevaisuudesta

Näyttää siltä, että litium-pohjaiset akkutyypit kattavat pitkälti lähitulevaisuuden akku-tarpeet henkilökuljetukseen tarkoitetuissa sähköautoissa. Litium-pohjaisia akkuja kehitellään paljon ja niissä vaikuttaa olevan potentiaalia vielä nykyistekin parempiin teknillisiin arvoihin. Litium-pohjaisia akkuja Suomessa valmistava yritys European Batteries esitteli näkemyksensä akkukemioiden energiatiheuksista vuosilta 2004 – 2012. Näkemys esitellään kuvassa 2. Kuva osoittaa, miten eri akkukemiat ovat kehittyneet viime vuosien aikana ja mitä niiden kehitykseltä odotetaan vuoteen 2012 mennessä, kun tarkastellaan akkujen energiatihyksiä. Pystyakseli kuvaa energiatihyksiä ja vaakakseli akkukemioita.



Kuva 2. Energiatihydet akkukemioittain [12]

NiMH-akkutyypin käyttö on myös varsin yleistä vielä ja näyttää siltä, että sen käyttö ei ole poistumassa ainakaan lähitulevaisuudessa. Useat autovalmistajat ilmoittavat käyttävänsä kyseistä akkutyyppeä markkinoille tulevissa hybridisähköautoissaan.

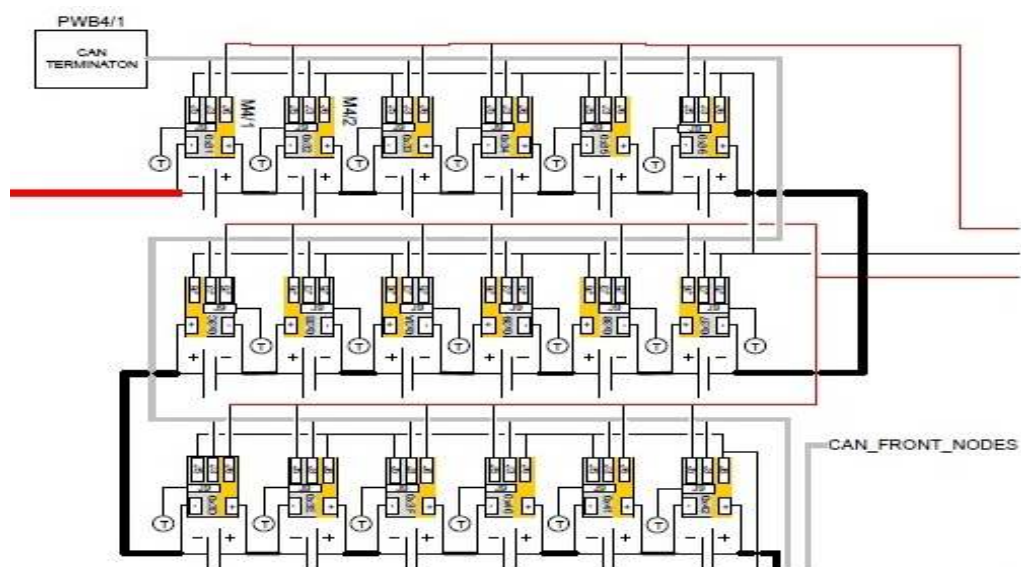


Bensiinin nimellinen energiatiheys on  $12\,500\text{ Wh/kg}$ , joten akkujen energiatihedetyt jäävät vain pieniin murto-osiin siihen nähden [7, s. 44]. Bensiinin nimellinen energiatiheys on kuitenkin hyvä vertailukohta, kun pohditaan mahdollisia kaukaisen tulevaisuuden akkutyypin energiatihedeyksiä. Vastaavan arvon saavuttaminen ei kuitenkaan nykyisillä teknologioilla ole mahdollista, joten sen saavuttaminen akkuteknologiassa jäänee hamaan tulevaisuuteen.

#### 4.3 Akkujen hallintajärjestelmä (BMS)

Battery Management System (BMS) on akkujen hallintajärjestelmä. Kyseessä on sähköinen laitteisto, joka on kehitetty hallitsemaan akkuja. BMS toimii latauksen ohjauksena, toteuttaen akkujen elinikää pidentävän ja turvallisen lataamisen.

BMS mittaa jokaista akkukennoa, jonka perusteella se tekee tarvittavat toiminnot. Tehävät toiminnot vaihtelevat akkutyypin sekä järjestelmän valmistajista riippuen. Kennojen mittaaminen on haasteellista, koska kennojen käytös muuttuu kuorman, latausvirran ja lämpötilan mukaan. Kennojen käyttäytyminen elinkaaren mukaan tuo myös lisähaasteita akkujen hallintaan. BMS käyttää tiedonsiirrossa usein CAN-väylää (*Controller Area Network*). CAN-väylä on automaatiiväylä, jota käytetään muun muassa ohjaus- ja mittaustietojen välittämiseen. Kuva 3 on otos sähköauton johdotuskaaviosta. Kuvasta nähdään osa akkumoduuleista, ja miten CAN-väylä on kytketty niihin. Akkumoduuleilla on oma lämpötilasensori, jota merkitään kirjaimella T.



Kuva 3. Otos erään muutosähköauton johdotuskaaviosta [13]

Akkujen hallintajärjestelmän päätehtävät voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri osaan: suojaus, tietojen välitys ja balansointi.

BMS:n mahdollisia suojaustoimintoja ovat

- ylläpitäminen ja -purkautuminen
- yli- ja alivirta
- yli- ja alijännite
- yli- ja alilämpötila
- ylipaine.

BMS:n mahdollisia välitettäviä tietoja ovat

- virta
- jännite
- teho
- lämpötila
- akuston kunto
- latauksen tila
- purkauksen tila
- toimitettu energia
- akuston käyttöikä.

Akkujen balansointi on yksi BMS:n tärkeimmistä tehtävistä. Kyseessä on kennojen varauksen hallinta niin, että akustosta pystytään hyödyntämään kennojen varaukset parhaalla mahdollisella tavalla. Balansointia voidaan tehdä passiivisesti ja aktiivisesti.

### Passiivinen balansointi

Akustoa ladattaessa kennojen välille syntyy varaustilaeroja, joita pyritään estämään passiivisella balansoinnilla. Kaikkia kennoja ei saada varattua täyteen ilman, että jokin kennoista ylivarautuisi. On siis ladattava kennoja, kunnes kennon varaus on juuri täyttymässä, minkä jälkeen latausvirta ohjataan kennon ohi. Täyttymässä olevien kennojen jännitteen nousu hidastetaan ohjaamalla osa latausvirrasta kennon ohi käyttämällä shunttivastusta. Tekniikalla saadaan akuston kaikki kennot ladattua täyteen. Kennojen varauseroilta vältytään, mikäli akusto ladataan säännöllisesti täyteen. Passiivisen balansoinnin huonona puolena on se, että pienimmän varauksen omaava kenno rajoittaa akuston suorituskykyä.

Hybridisähköauton akustot ladataan normaalisti noin 80 % täydestä varauksesta, jotta akustoa voidaan ladata käytön aikana esimerkiksi jarrutusenergiaa hyödyntäen. Tästä voi päätellä, että passiivista balansointi ei kannata käyttää hybridisähköautoissa, koska se vaatii akkujen täyteen lataamisen. [9, s.99 – 128; 12; 14; 15.]

### Aktiivinen balansointi

Aktiivisen balansoinnin tehtävänä on pitää akuston kennojen varaustila samalla tasolla siirtämällä varausta kennojen välillä käyttämällä tasausyksikköä. Siirto tapahtuu sekä kuormituksen että lataamisen aikana. Järjestelmän toimiessa kaksisuuntaisesti kennojen varausjakauma säilyy tasaisena sekä purkauksen että lataamisen aikana. Aktiivisen balansoinnin avulla akuston koko kapasiteetti voidaan käyttää hyväksi. Toisin kuin passiivisessa balansoinnissa pienimmän varauksen omaava kenno ei rajoita koko akuston suorituskykyä. Akuston käyttöikä saadaan nostettua, koska sama kenno ei tyhjene aina ensimmäisenä. [9, s. 99 – 128; 12; 13; 14; 15.]

## 5 Sähköautojen akkulaturit

Sähköautojen akkulaturit toimivat peruseriaatteeltaan niin kuin muidenkin akkukäyttöisten laitteiden laturit. Sähköä otetaan verkosta ja muokataan akuille sopivaksi. Sähköautojen laturit toimivat hakkuriperiaatteella.

Sähköautoissa kuitenkin käytetään eri akkutyyppejä, jotka vaativat laturilta erilaisia ominaisuuksia. Sähköautojen akkupaketit ovat kalliita kokonaisuuksia, joten niiden varaaminen kannattaa tehdä niin, että ne säilyvät toimintakuntoisina ja turvallisina mahdollisimman pitkään. Laturin toimintaa tulee siis myös pystyä ohjaamaan, ja niiltä vaaditaan erilaisia tehoversioita. Esimerkiksi Nissan Leaf -sähköauton litium-ioni-akkupaketin voi varata joko verkkovirtapistokkeen kautta täyteen noin kahdeksassa tunnissa, tai pikalatauksella akkukapasiteetista saadaan 80 % varattua jopa 30 minuutissa. [16; 17.]

### 5.1 Hakkuriteholähde

Hakkuriteholähde on erittäin yleinen jännitemuunninperiaate. Tekniikkaa käytetään muun muassa tietokoneissa, televisioissa ja akkulatureissa. Hakkuriteholähde ottaa lähteestään jokaisella jaksolla energiaa vain kuorman tarvitseman määrän, ja se käyttää paljon likimain häviöttömiä komponentteja kuten kytkin ja kondensaattori. Tästä syystä hakkurin hyötysuhde on erittäin hyvä. Muita hakkuriteholähteen hyviä puolia ovat hinta, pieni koko ja paino.

Hakkuriteholähteessä verkkovirta tasasuunnataan ja pätkitään hakkuritekniikalla. Tekniikassa energiaa siirretään kelan magneettikenttään, ja sieltä puretaan varastoitunutta energiaa. Tuloksena syntyy korkeataajuisia vaihtovirtaa, jolloin taajuus saattaa olla jopa satoja kilohertsejä. Korkeataajuinen vaihtosähkö tasasuunnataan edelleen käyttötarkoitukseen sopivaksi.

Hakkuriteholähteessä kelan lisäksi kondensaattori toimii energiavarastona. Ne syöttävät yhdessä kuorman virtaa sillä välin, kun lähteestä ei oteta tehoa. Hakkuriin ominaisuuksiin kuuluva suuri taajuus aiheuttaa helposti radioteitse eteneviä häiriöitä sekä sähköisesti kytkeytyviä häiriöitä. Jotta lähtöjännite olisi tasaista, tarvitsee hakkuriteholähde tehokkaan suodatuksen. Tuotetun tasajännitteen hyvyyttä kuvataan rippeliarvolla eli aaltoisuudella, joka kuvaa häiriöjännitteiden tehollisarvon ja tasajännitteen suhdetta. Tuotteen valmistajat ilmoittavat usein arvon prosentuaalisena lukuna ulostulojännitteestä.

Hakkuriteholähteen ottama epälineaarinen kuorma saattaa tuottaa sähköverkolla haitallisia yliaaltoja, joihin palataan tarkemmin kohdassa sähkönlaatu. Mittaustuloksissa todettiin, että erilaisilla hakkuritoteutuksilla verkkovaikutukset ovat kuitenkin erilaisia, enemmän tai vähemmän haitallisia. Pienitaajuisten häiriöiden suodatus on ongelmallisempaa kuin suuritaajuisten häiriöiden. Lisäksi hakkuriteholähteen komponentit tarvitsevat toimiakseen loistehoa, jonka osuutta tulee pienentää, jotta otetusta sähköstä saataisiin mahdollisimman suuri osa käyttöön. [18, s. 233 - 272; 19; 20; 21.]

Pohdintaa sähköautojen latureista

Hyvän sähkönlaadun saavuttaminen on tärkeää, kun katsotaan akkulaturia kuormana verkkoon nähden. Kuitenkin sähköautoja saatetaan itse tehdä niin sanotuilla nyrkkipajoilla, joten niissä käytetyissä laturitekniikoista ei voi olla täyttä varmuutta. On myös ymmärrettävä se, että halpatuotannon sähkökulkuneuvoissa ei välttämättä käytetä niin laadukkaita latureita kuin esimerkiksi sarjatuotannossa olevissa henkilösähköautoissa.

Toisaalta, kun mietitään sarjatuotannossa olevien henkilösähköautojen akkulatureita, tulee myös huomioida se tosiasia, että autovalmistajat miettivät autojen valmistuksessa kustannuksia ja saattavat valita huonomman laturin sen halvan hinnan takia. Mikäli tilanne on se, että sähköautoja valmistavat yritykset valmistavat laturin, saattaa tällöin myös laturin laatu kärsiä, mikäli yrityksessä ei ole tarvittavaa laturitekniikan insinööriosaamista.

Paras tapa hankkia laturi on sen ostaminen ns. pitkän linjan laturivalmistajilta, joilla on paras taitotieto latureista. Heillä on jatkuva tuotekehitys, joka takaa laturien kehittyvyyden, ja heillä on näin ollen viimeisin tieto kyseisestä tekniikasta.

## 5.2 Energian syöttö takaisin verkkoon

Ladattavien sähkö- ja hybridautojen energian syöttö takaisin sähköverkkoon on tulevaisuuden mahdollisuus, kun puhutaan älykkäistä sähköverkoista. Nykyisin myynnissä olevat sarjatuotantoiset sähköautot eivät pysty syöttämään energiaa takaisin verkkoon.

Lähitulevaisuuden sähköautot pystytään kuitenkin rakentamaan niin, että niistä voidaan syöttää energiaa takaisin verkkoon tai vaikka omakotitalon käyttötarpeisiin. Energian syöttö voi tapahtua sähköauton laturin kautta tai suoraan esimerkiksi sähköauton vaihtosuuntaajasta.

Älykkäät sähköverkot ovat tulossa Suomeen tulevaisuudessa. Älykkään sähköverkon idea on se, että kuluttajat ja sähköyhtiöt voivat hallita sähkönkulutustaan ja -tuotantoaan nykyistä tehokkaammin. Sähköverkon rakenne ei sinällään muutu mutta sitä käytetään älykkäämmin, minkä avuksi tulee tietoliikenneverkko, jonka ansiosta verkonhallinta muuttuu radikaalisesti. Tietoliikenneverkon avulla tieto sähkönliittyvistä asioista saadaan liikkumaan kuluttajan ja sähköverkon välillä reaaliaikaisesti. Tulevaisuudessa, kun sähköautojen määrät kasvavat ja älykkäitä sähköverkkoja rakennetaan, tulevat sähköautot olemaan yksi suurista älykkäänsähköverkon käyttöhaaroista. Sähköautot voisivat esimerkiksi toimia hyvin sähköyhtiöiden sähkövarastoina, mistä olisi hyötyä muun muassa sähköverkon optimoinnissa ja tehon hallinnassa.

Älykkästä sähköverkosta hyötyy niin sähkönkuluttaja kuin sähköyhtiö. Kuluttajan etuihin kuuluu, muun muassa

- energiankäytön seuranta
- energiankäytön tehostus
- rahallinen hyöty välttämällä hintapiikkejä
- sähköautomaation käyttö kustannustehokkaasti
- mahdollisuus myydä itse tuotettua tai sähköautoihin varastoitua sähköenergiaa sähköverkkoon.

Sähköyhtiön hyötyihin kuuluu, muun muassa

- mahdollisuus siirtyä tarkempaan hinnoitteluun
- mahdollisuus tehdä tarjouksia liittyen sähkönhintaan esimerkiksi siirtääkseen sähköauton latausajan toisaalle
- sähköverkon vian paikantamisen helpottuminen
- tieto ns. pullonkaulakohtista sähkönkulutuksessa. [11; 22; 23.]

## 6 Sähkönlaatu

Sähköllä on laatutekijänsä niin kuin muillakin tuotteilla. Sähkönlaatuun vaikuttavat seuraavat asiat:

- taajuus
- jännitteen taso
- hitaat ja nopeat jännitteen vaihtelut
- jännitepiikit
- virtapiikit
- kolmivaihejärjestelmän epäsymmetria
- tasajännitekomponentit
- keskeytykset
- yliaallot.

Sähkönlaatua kiinteistössä käsitellään siltä osin, miltä sähköautojen akkulateureiden odotetaan siihen vaikuttavan. Eräs merkittävä sähkönlaatua huonontava tekijä on yliaallot, joita useat sähkölaitteet kuten akkulaturit tuottavat. Kun pohditaan sähköautojen latauksen yleistymistä ja sen vaikutusta kiinteistön sähköasennuksiin ja -mitoituksiin, tulee myös loistehoa käsitellä sähkönlaatua heikentävä tekijänä. [24.]

### 6.1 Yliaallot

Sähkönjakeluverkossa on havaittavissa yliaaltojännitteiden määrän jatkuva kasvaminen yleisenä ilmiönä. Syy tähän ilmiöön löytyy sähkökäyttäjistä, joiden yliaaltoja synnyttävien epälineaaristen kuormitusten määrä lisääntyy jatkuvasti.

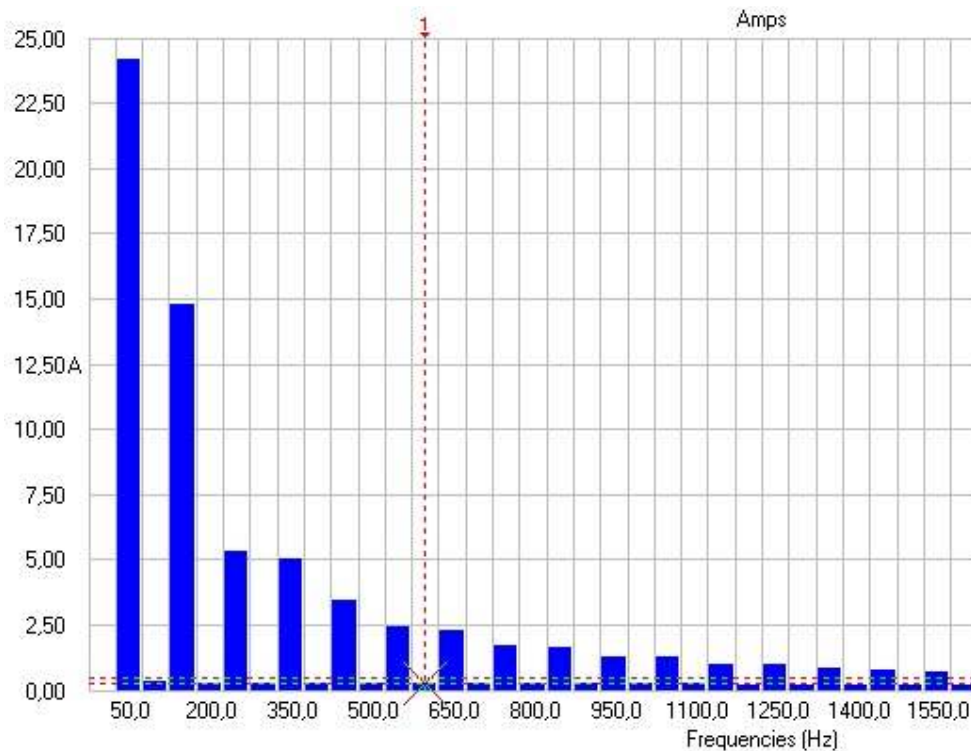
Epälineaariset kuormat ottavat verkosta perustaajuisesta sinikäyrästä poikkeavia virtoja, jotka taas aiheuttavat verkossa perustaajuudesta poikkeavia jännitteitä. Yliaaltovirroista johtuvat haittavaikutukset kuten johtojen, keskusten ja muuntajien ylikuormittuminen sekä näistä johtuvat mahdolliset tulipalovaarat ovat tärkeitä asioita meille kaikille sähkökäyttäjille.

Verkkoyhtiö vastaa sähkönlaadusta liittymiskohdassa, jossa sähkökäyttäjä liitetään sähköverkkoon. Verkkoyhtiön tulee noudattaa jakeluverkolle asetettu standardeja sähkönlaadusta, jossa yhtenä osana ovat yliaaltojännitteet. Jotta verkkoyhtiö pystyy järkevästi hallitsemaan jakeluverkon liittymispisteiden yliaaltojännitteitä, sen on pystyttävä kontrolloimaan liittymien virtasäroä. Sähkökäyttäjän sähkölaitteita taas pyritään standardeilla ohjaamaan niin, että ne eivät aiheuttaisi haitallisissa määrin yliaaltovirtoja. Standardeilla pyritään myös ohjaamaan sähkökäyttäjän sähkölaitteita niin, että ne kestäisivät standardien sallimat verkon yliaaltojännitteet.

Yliaaltovirtoja syntyy, kun sähkökäyttäjä ottaa sähköverkosta epälineaarista kuormaa, jonka virta koostuu perusaallon lisäksi yliaaltovirroista. Yliaaltovirtoja on parillisia ja parittomia, joista parittomat ovat yleisempiä ja haitallisempia. Epälineaarinen kuorma on siis yliaaltolähde. Tavallisimpia yliaaltolähteitä ovat energiansäästölamput, moottorit, generaattorit, laturit ja ylipäätänsä kaikki laitteet, jotka muokkaavat sähköä muodosta toiseen eli niin sanotut tasa- ja vaihtosuuntaajat. Suomen sähköverkon nimellistaajuus on 50 Hz. Yliaaltovirtojen taajuus on perusaallon taajuuden monikerta, esimerkiksi kolmannen yliaaltovirran taajuus on 150 Hz.

Virran sisältämät yliaallot voidaan esittää yliaaltospektrinä. Yliaaltojen suuruudet esitetään suhteessa virran perusaaltoon nähden. Kuvasta 4 (ks. seur. s.) nähdään hyvin kunkin virranyliaallon suuruuden suhteessa perusaaltoon, jonka taajuus on 50 Hz. Virran yliaallot on esitetty esimerkki spektrissä järjestyslukuun 32 asti. Pysty-akselilla on virta ja vaaka-akselilla on taajuus, kukin pylväs edustaa yhtä yliaaltotaajuutta. [25, s.9 - 29; 26.]





Kuva 4. Esimerkki yliaaltospektristä

## 6.2 Yliaaltojen haitat

Yliaaltojen haitoista käsitellään vain ne, jotka koskevat kiinteistön ja sen jakelumuuntajaa. Pienitaajuiset yliaallot vaikuttavat jakelumuuntajiin ja tuottavat sähkölaitteiden lämpenemistä. Suuremmat yliaaltotaajuudet taas aiheuttavat lähinnä ääni- ja radiotaajuisia häiriöjännitteitä. Yliaaltojen haittoja ovat

- suojalaitteiden virhetoiminnot
- atk-järjestelmien häiriöt ja vauriot
- televerkon häiriöt
- energia-mittauksen lukemien muutokset
- kondensaattoreiden vaurioituminen ylikuormituksesta

- moottorien ylikuormittuminen
- nollajohtimen ylikuormittuminen
- muuntajan ylikuormittuminen. [25, s.9 - 29; 26.]

### 6.3 Nollajohtimen kuormittuminen

Nollajohdin ei kuormitu yhtään perustaajuisella symmetrisellä kolmivaihekuormalla. Mikäli kuormitus on epäsymmetristä, nollajohdin kuormittuu saman verran, kuin eniten kuormitettu vaihejohdin.

Voimassaolevien pienjännitesähköasennus-standardien mukaan nollajohtimen poikkipinnaksi sallitaan puolet vaihejohtimen poikkipinnasta yli 16 Cu:n ja 25 Al:n johdinpoikkipinnoilla. Vaihejohtimien virran kolmannet yliaallot summautuvat nollajohtimeen. Kyseiset yliaallot voivat saada aikaan tehollisarvoltaan vaihejohtimia suuremman virran nollajohtimeen, mikäli kolmannet yli aallot ovat suuria. Jos asennetun nollajohtimen pinta-ala on vain puolet vaihejohtimen pinta-alasta, aiheutuu kiinteistölle tulipalovaara, sillä nollajohdinta ei ole suojattu sulakkeella. Yliaallot tulisi siis ottaa huomioon, kun mitoitetaan kiinteistön kaapelointia tai kolmas yliaalto tulisi suodattaa pois. [25 s. 32.]

Standardi SFS 6000 käsitellään piensähköasennuksia. Suunniteltaessa kiinteistön kaapelointia tulee johtimien poikkipinnat määrittää kuormitettavuuden perusteella. Laskentaan vaikuttaa erilaisia tekijöitä, joista yksi on harmoniset yliaallot. Standardissa on ohjeet yliaaltojen huomioimiselle kaapeleiden mitoituksessa. Mikäli kolmannen yliaallon osuus vaihevirrasta on enemmän kuin 15 %, se tulee huomioida kaapelien mitoituksessa, tai se pitää suodattaa pois. [27 s. 282 - 283.]

Taulukko 3. Standardin SFS 6000 taulukko C.52-1 Yliaalloista johtuvat 4- tai 5-johdinkaapeleissa käytettävät korjauskertoimet [27 s. 283]

Kolmannen yliaallon osuus vaihevirrasta %	Korjauskertoimen	
	Mitoitus tehdään vaihevirran perusteella	Mitoitus tehdään nollajohtimen virran perusteella
0...15	1	
15...33	0,86	
33...45		0,86
> 45		1

#### 6.4 Loisteho

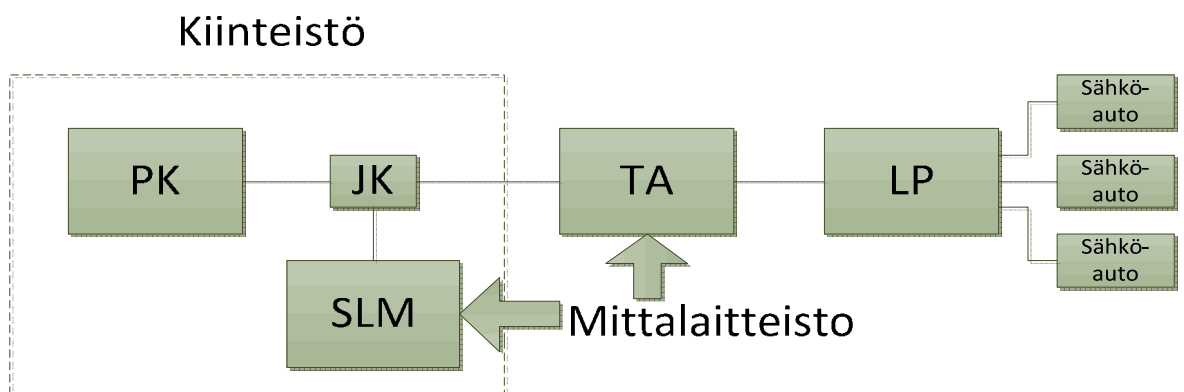
Sähkölaitteet kuten akkulaturit ottavat sähköverkosta vaihtosähköä. Vaihtosähkössä mitoitus ja laskelmat tehdään näennäisteholla, jota vastaava virta kuormittaa sähköverkkoa. Näennäisteho koostuu pätötehosta ja loistehosta. Pätöteho on tehoista aktiivinen osa, joka muuttuu pysyväksi työsuoritukseksi. Loistehon ei muutu työksi, mutta se on kuitenkin välttämätöntä useiden sähkölaitteiden toiminnalle.

Loistehon siirto on haitallista sähköverkon kannalta, ja se johtaa verkonvahvistus- tai uusinvestointeihin. Jakeluverkonhaltija laskuttaa sähkönkäyttäjältä loistehomaksua, jolla pyritään vähentämään loissähkönottoa. Voidaan siis todeta, että sähkön käyttäjän kannalta loistehon käyttö tulisi minimoida, jotta käytetystä sähköstä saataisiin mahdollisimman suuri osa muutettua työsuoritteeksi, ja että loistehomaksut saataisiin minimoitua. [25; 28.]

## 7 Sähkönlaatumittaukset

Mittauksien tarkoituksena oli selvittää sähkölaatua kiinteistössä kun sähköauton akus-  
toa ladataan. Mittaukset tehtiin hitailla latausmenetelmillä, koska niillä on kokonaisuu-  
dessaan suurempi merkitys kiinteistön olemassa oleviin sähkö asennuksiin. Lisäksi arvi-  
oitiin, että nopeissa latausmenetelmissä tehojen ollessa suuria on myös niiden lataus-  
tekniikoihin kiinnitetty erityistä huomiota. Sähkölaitteiden standardointikin on tiukem-  
paa mitä suuri-tehoisemmista tekniikasta on kysymys.

Mittaukset suoritettiin Metropolian kiinteistössä Albertinkadulla. Kiinteistön eräästä ja-  
kokeskuksesta tulevasta voimapistoriasta otettiin yksi vaihe käyttöön. Kyseinen vaihe  
jaettiin kolmeen sähköpisteeseen, joista sähköautoja ladattiin. Teho-analysointilaite (TA)  
kytkettiin jakokeskukseen (JK) ja latauspisteen väliin. Sähkönlaatumittari (SLM) kytket-  
tiin kiinteistön jakokeskukseen (JK), joka saa syötön kiinteistön pääkeskukselta (PK).  
Sähkönlaatumittari sisältää oskilloskoopin, jolla voitiin tarkkailla virran ja jännitteen  
käyrämuotoja. Kuva 5 havainnollistaa mittalaitteiden sijoittelua:



Kuva 5. Mittalaitteiden sijoitus paikat

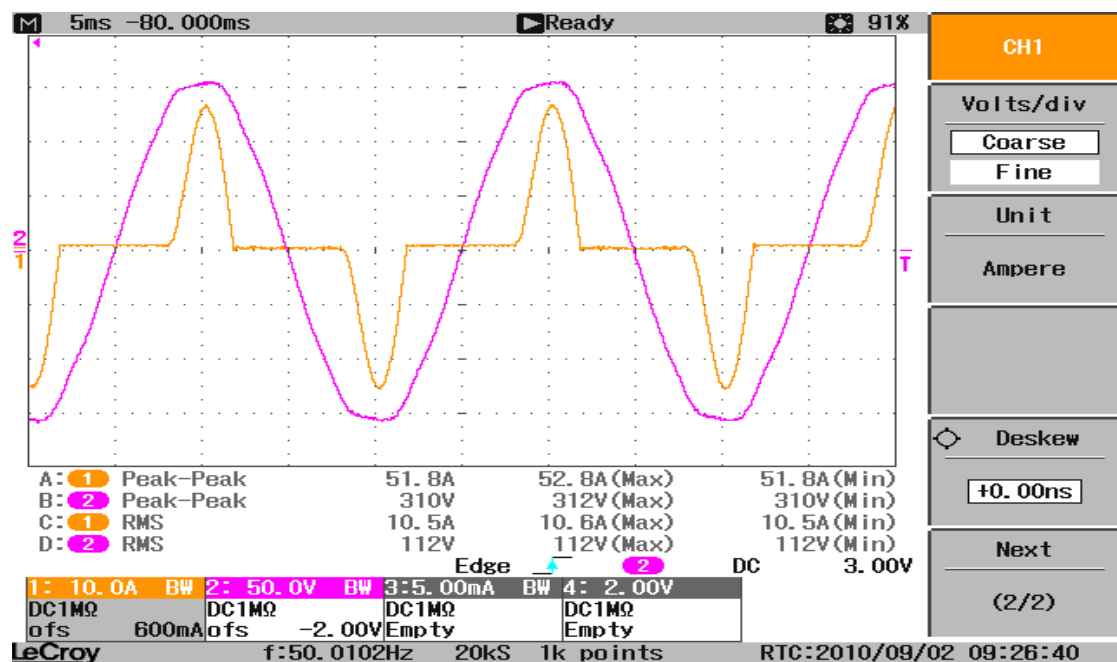
Mittauksien tarkoituksena oli selvittää sähköauton latauksen vaikutuksia kiinteistössä  
sähkönlaadun näkökulmasta. Mittauksien pääpaino oli yliaalloissa, virtapiikeissä ja lois-  
tehossa. Mittauksissa ei käsitellä korkea-taajuisia yliaaltoja. Mittalaitteisto huomio yli-  
aallot vain 2,5 kHz asti. Mittauksissa mitattiin käyttöön saatuja täyssähkö- ja hybridi-  
autoja. Mittaukset tehtiin yksi auto kerrallaan ja usean auton rinnankytkennällä, minkä  
tarkoituksena oli simuloida usean auton samanaikaista latausta.

## 7.1 Toyota Prius -hybridiauto

Metopolia Ammattikorkeakoulu omistaa kaksi Toyota Prius -hybridiautoa, jotka eivät alun perin ole ladattavia versioita. Autoihin on asennettu Hymotionin valmistama L5 Plug-in konversio -moduuli, jolla autoista on saatu tehtyä ladattavia hybridiautoja. Autoon on jätetty vanha NiMH-akusto. Moduulin mukana autoon on tullut litium-pohjainen lisäakusto, josta saadaan lisäenergiaa noin 5 kWh. Akuston lataaminen täyteen varaukseen kestää 5,5 tuntia. Autossa on vain yksi latausnopeus. Tähän autoon tehtävät mitaustulokset eivät siis mitenkään liity Toyotan valmistamaan lataustekniikkaan. Hymotionin valmistaman moduulin mukana tuleva laturi ja sen hallintajärjestelmä päättää latausvirrasta ja sen laadusta.

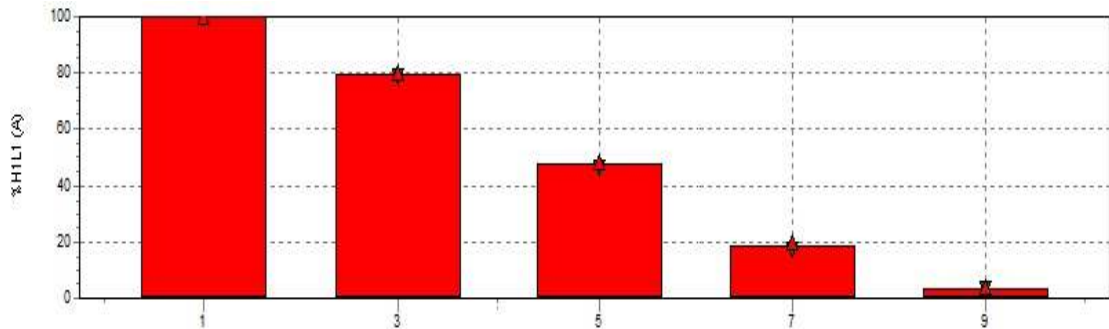
### Mittaustulokset

Toyota Priuksen laturi otti ladattaessa keskiarvoltaan 10,5 A suuruisen virran. Ladattaessa kyseistä autoa laturi otti suurimmillaan 25,9 A virtapiikin, joka on erittäin suuri verrattuna latausvirran keskiarvoon. Todellinen tehokerroin ladattaessa kyseistä autoa oli keskimäärin 0,72. Kuvasta 6 nähdään latausvirran ja jännitteen käyrämuodot. Liila sinimuotoinen käyrä on jännite ja keltainen virta.



Kuva 6. Oskilloskooppikuva Toyotan latausvirrasta ja -jännitteestä

Parittomat yliaallot olivat suuria. Esimerkiksi kolmas yliaalto oli 80 % virran perusaallos- ta. Kun perusaalto on 10,5 A, kolmas yliaalto 8,4 A. Kuvasta 7 nähdään parittomat yli- aallot järjestysnumero yhdeksään asti prosentuaalisina lukuina:

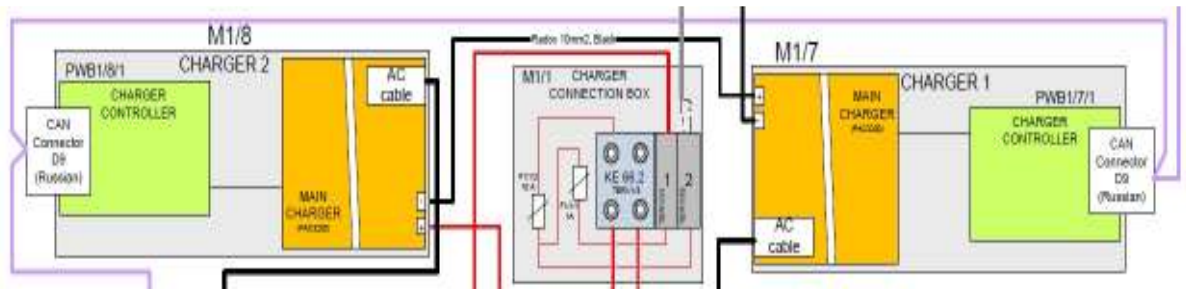


Kuva 7. Latausvirran parittomat yliaallot järjestysnumero yhdeksään asti

## 7.2 Passat Variant –muuntosähköauto

Ensto omistaa Doris nimeä kantavan täyssähköauton. Kyseessä on muuntosähköauto, joka on tehty farmarimallisesta Passat Variantista. Autoon on asennettu litium- pohjainen akusto, jolla voi ajaa noin 100 km. Akuston lataaminen täyteen kestää hi- taalla latauksella noin kahdeksan tuntia ja hieman nopeammalla noin neljä tuntia. Au- tossa on kaksi hidasta yksivaiheista suomalaisvalmisteista PAC-3000-merkkistä laturia, ja kummallakin niistä on oma akkujenhallintajärjestelmä ohjaamassa niitä.

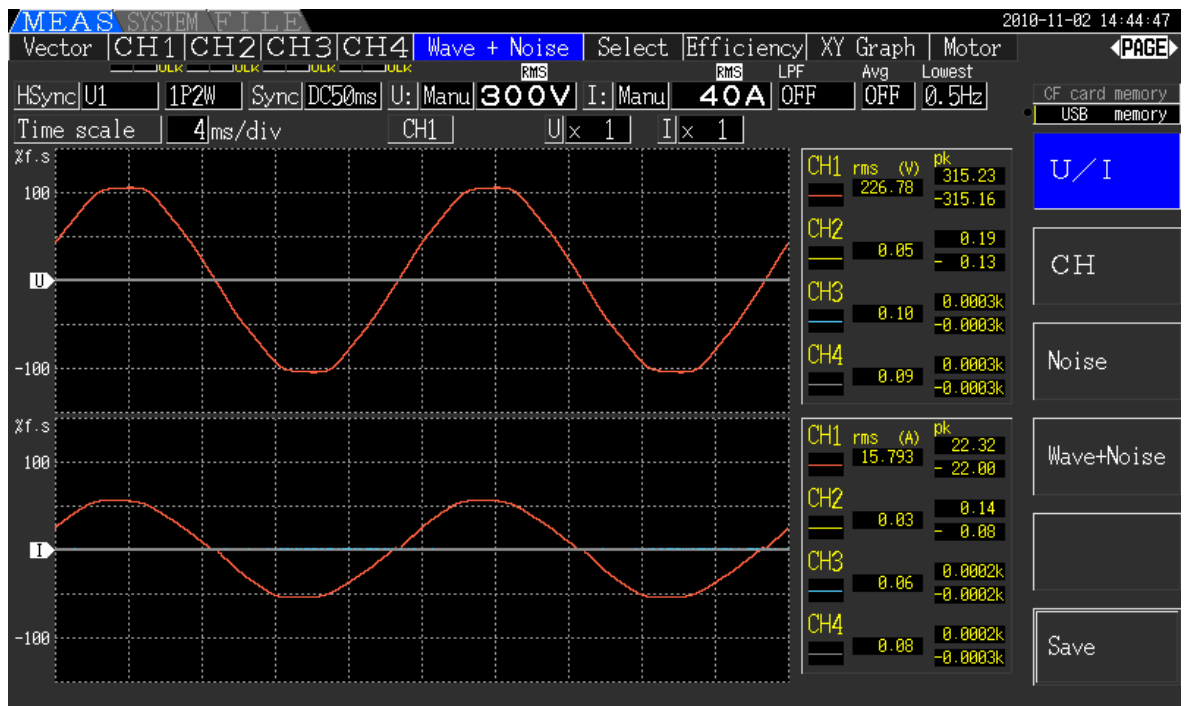
Hitaassa latauksessa akusto ladataan täyteen varaukseen käyttämällä yhtä laturia, ja nopeammassa latauksessa on käytössä kaksi laturia. PAC-3000 laturia ei ole enää myynnissä, ja siitä on tullut uusi kehittyneempi versio. Kuva 8 on ote kyseisen auton johdotuskaavioista. Kuvasta 8 (ks. seur. s.) nähdään akkujenhallintajärjestelmät (vih- reät laatikot) ja laturit (oranssit laatikot). Tässä kaaviossa akkujenhallintajärjestelmiä kutsutaan *charger controllereiksi* ja laturia *main chargeriksi*.



Kuva 8. Doriksen laturit ja akkujenhallintajärjestelmät [13]

### Mittaustulokset

Doris-sähköauton laturi otti ladattaessa keskiarvoltaan 15,8 A suuruisen virran. Ladattaessa kyseistä autoa laturi ei ottanut haitallisia virtapiikkejä. Virran käyrämuoto oli hienoa sinimuotoa. Todellinen tehokerroin ladattaessa kyseistä autoa oli lähellä täydellistä arvoa, joka on yksi. Laturi ei siis juuri kuluttanut loistehoa. Kuvasta 9 nähdään latausvirran ja jännitteen käyrämuodot. Ylhäällä on jännite ja alhaalla virta.



Kuva 9. Doriksen latausvirta ja -jännite

Doriksen mittaukset kuuluivat osaksi isompaa mittaussarjaa, josta syystä yliaaltospektiriä ei saatu tilanteessa, missä pelkästään Doris oli latauksessa.

Parittomat yliaaltovirtojen prosentuaaliset suuruudet saatiin kuitenkin käyrästöstä, jossa oli parittomien yliaaltojen prosentuaaliset arvot ajanfunktiona. Käyrästön luku silmäääräisesti oli hankalaa, joten seuraavaksi esitetyt arvot ovat likiarvoja. Yliaallot ovat pieniä, eivätkä ne aiheuta ongelmia kiinteistön sähköasennuksissa. Haitallisin kolmas yliaalto on varsin pieni, joten nollajohdin ei kuormitu merkittävästi. Taulukosta 4 nähdään yliaaltojen järjestysnumerot ja yliaaltojen prosentuaaliset arvot, joista on laskettu virran suuruudet.

Taulukko 4. Yliaaltojen järjestysnumerot, prosentuaaliset arvot ja lasketut virrat

Yliaalto	Prosentuaalinen arvo	Virta
3.	9 %	1,4 A
5.	3 %	0,5 A
7.	8 %	1,3 A
9.	4 %	0,2 A

### 7.3 Autojen yhteismittaus

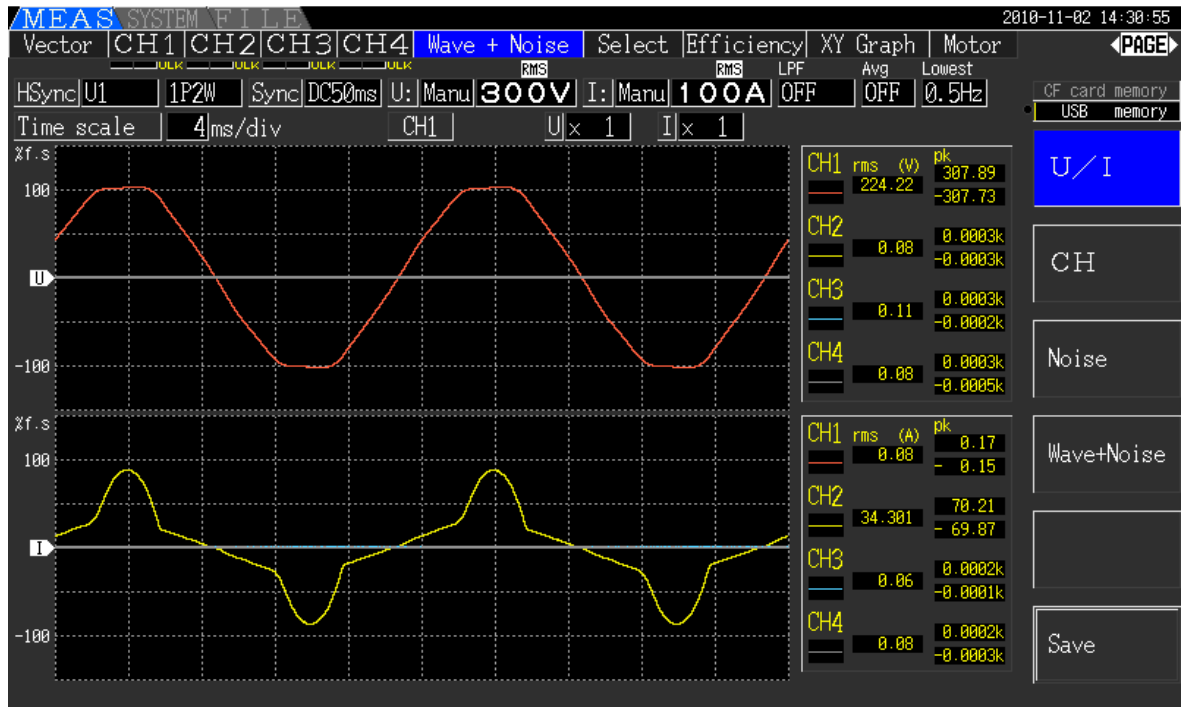
Usean täyssähkö- tai hybridauton rinnankytkennällä pyrittiin selvittää niiden yhteisen latausvirran sähkönlaatua. Mittaukset suoritettiin kahdella Toyota Prius -merkkisestä hybridistä tehdyllä konversioautolla ja yhdellä muuntosähköautolla, joka oli tehty Passat Variantista, joka on nimetty Dorikseksi. Kaikki autot kytkettiin samaan aikaan lataukseen, saman vaiheen taakse. Vaiheen suojana oli 63 A:n sulake.

Sähkönlaatu mittarilla mitattiin sähkönlaatua jakokeskuksesta muiden mittausten tapaan. Tehoanalysaattori kytkettiin analysoimaan autojen latausvirtaa.

#### Mittaustulokset

Autojen laturit ottivat ladattaessa keskiarvoltaan 34,3 A suuruisen virran. Virran käyrämuoto parani verrattuna tilanteeseen, jossa ladattiin pelkästään Toyotan konversioautoa. Virran käyrämuoto ei kuitenkaan vastaa puhdasta sinimuotoa. Jännitteen käyrämuoto taas huononi verrattuna Doriksen latausjännitteen käyrämuotoon. Jännitekäyrän huippu litistyi huomattavasti. Kuvasta 10 nähdään (ks. seur. s.) latausvirran ja jännitteen käyrämuodot. Ylhäällä on jännite ja alhaalla virta.





Kuva 10. Rinnankytkettyjen autojen latausvirta ja -jännite

Yliaaltoja prosentuaaliset osuudet pienenevät, kun autot kytkettiin rinnan. Tämä johtuu siitä, että Doriksen latausvirta on suuri, ja sen yliaallot ovat pieniä. Esimerkiksi kolmas yliaalto on tässä tilanteessa 29 % virran perusaallosta. Taulukosta 5 nähdään yliaaltojen järjestysnumerot ja yliaaltojen prosentuaaliset arvot, joista on laskettu virran suuruudet.

Taulukko 5. Yliaaltojen järjestysnumerot, prosentuaaliset arvot ja lasketut virrat

Yliaalto	Prosentuaalinen arvo	Virta
3.	29 %	10,0 A
5.	18 %	6,2 A
7.	9 %	1,3 A
9.	2 %	0,7 A

#### 7.4 Yhteenveto mittauksista

Toyota Priuksesta tehty konversioauto heikentää huomattavasti sähkönlaatua. Se tuottaa suuria virtapiikkejä sekä suuria yliaaltovirtoja. Yksittäin latauksessa oleva Toyota konversioauto ei aiheuta haittoja kiinteistön sähköasennuksiin, mikäli sen kanssa rinnan on kytketty muita sähkönlaadultaan hyviä autoja. Mikäli Toyotan konversioautoja kytketään useita rinnan, tulee ne huomioida kiinteistön sähköasennuksissa, tai kolmas yliaalto pitää suodattaa pois.

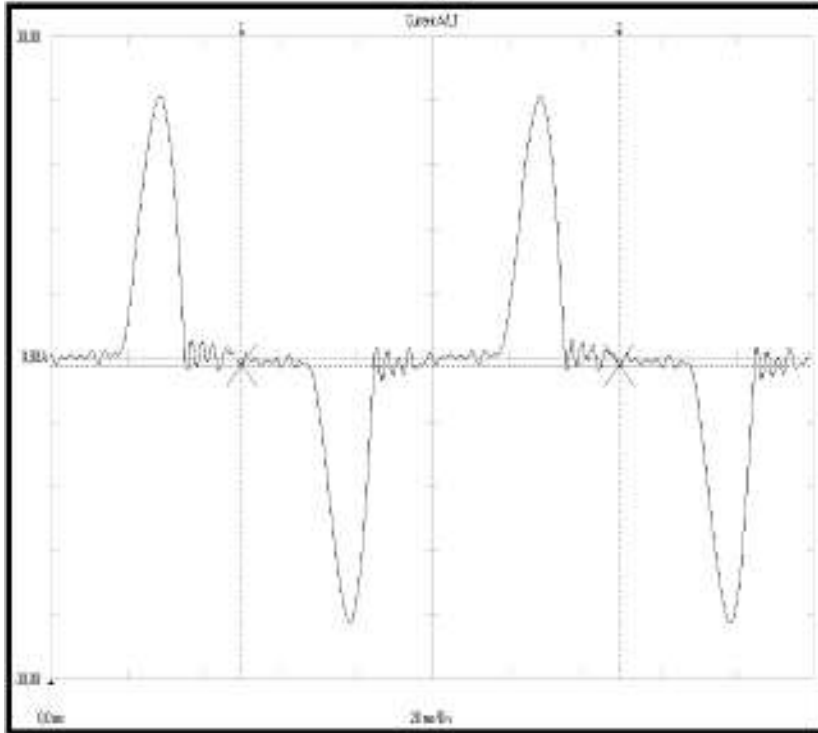
Doriksen lataus ei heikennä sähkönlaatua. Doriksen laturia voidaan mittausten perusteella pitää hyvänä laturina sähkönlaadun näkökulmasta.

Doriksen ja kahden Toyotan konversioauton yhteislataus heikentää kiinteistön sähkönlaatua. Kolmannen yliaallon takia kiinteistön kaapeloinnin mitoituksissa tulee käyttää taulukon 3 (ks. s. 27) korjauskertoimia.

## 8 Hyvät ja huonot lataustekniikat

Huonossa lataustekniikassa laturi ottaa latausvirtansa sykäyksinä verkosta ja sisältää paljon sähkönlaatua heikentäviä yliaaltoja. Yliaallot ovat pääosin loistehoa. Latausvirrassa esiintyy korkeita virtapiikkejä suhteessa virran perusaaltoon. Virtapiikit lyhentävät suojalaitteiden ikää ja saattavat tuottaa laitevaurioita ja toimintahäiriöitä. Virran muoto on siis epäsinimuotoista niin kuin Toyota konversioauton mittauksissa todettiin. [5; 26; 29; 30.]

Kuva 11 (ks. seur. s.) esittää huonon lataustekniikan verkkovirran muotoa. Kuvan virtakäyrä on mitattu Tampereen ammattikorkeakoulussa hakkuriperiaatteella toimivasta todellisesta sähkölaitteesta [31].



Kuva 11. Hakkurilaturin verkkovirran muoto [31]

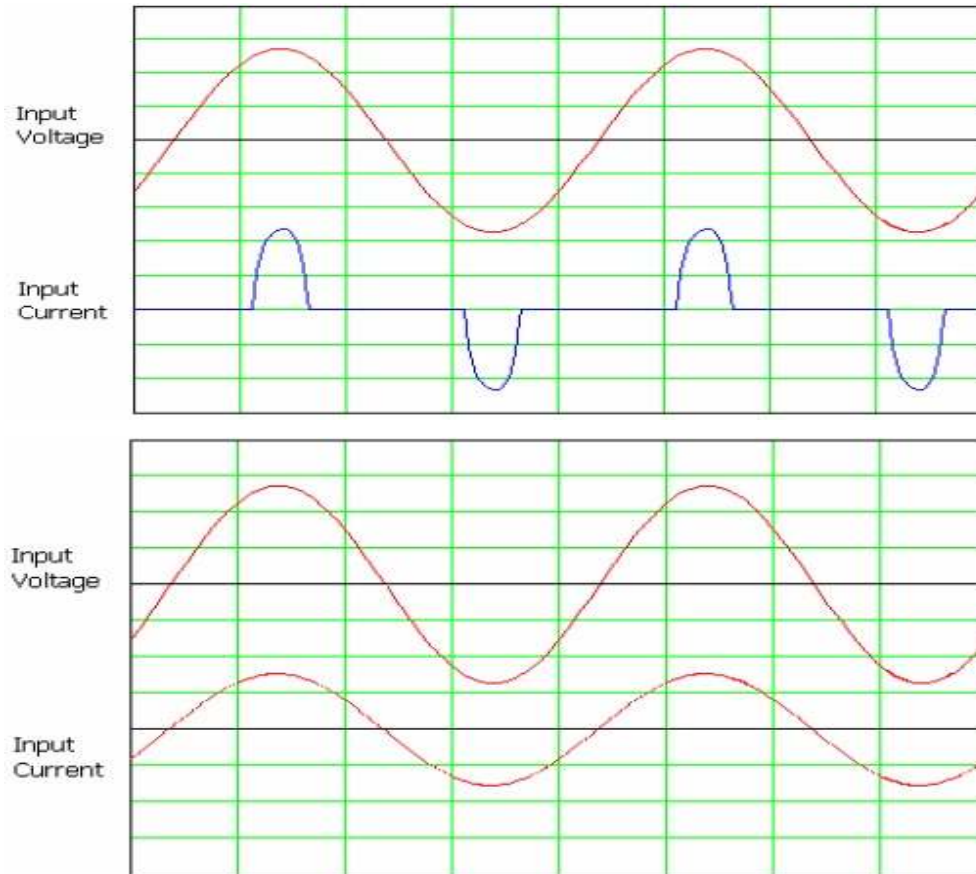
Hyvässä lataustekniikassa laturin ottama virta on sinimuotoista. Hakkuriteholähde ohjataan ottamaan verkosta sinimuotoista virtaa. Tekniikan nimi on aktiivinen tehokertoimen korjaus. Loistehon kulutus on tällöin pientä ja tehokerroin on mahdollisimman lähellä ykköstä. Yliaaltojen määrä pysyy standardien osoittamissa rajoissa.

Hyvässä lataustekniikassa laturi ei ota verkosta haitallisia virtapiikkejä. Laturi käynnistyy hiljalleen nostaen latausvirran nolasta täyteen arvoonsa. Tekniikkaa kutsutaan pehmokäynnistykseksi. [15; 29.]

### 8.1 Tehokertoimen korjaus

Hakkuriteholähteen verkosta ottama epälineaarinen kuorma tulisi saada mahdollisimman lineaariseksi. Kun laturin verkosta ottama vaihtosähkö saadaan muokattua lineaariseksi, sähkönlaatuongelmat korjautuvat. Yliaaltovirrat ja käytetty loisteho saadaan pieniksi. Tehokertoimen korjausta kutsutaan nimellä PFC (*power factor correction*). Kyseessä on tekniikka, joka liitetään osaksi hakkuriteholähdettä. Tehokertoimen korjaus jakautuu kahteen osaan passiivisiin ja aktiivisiin.

Kuvassa 11 havainnollistetaan erään teholähteen verkosta ottamaa jännitettä sekä virtaa ennen ja jälkeen tehokertoimen korjauksen. Kyseinen hakkuriteholähde sisältää häiriösuodattimia ja virran rajoitinpiirin. Korjaus on suoritettu aktiivisella tehokertoimen korjauksella. Kuvan yläosassa olevat sinimuodot kuvaavat kuorman jännitettä, alaosan käyrät kuvaavat kuorman virtoja. [15; 32; 33.]



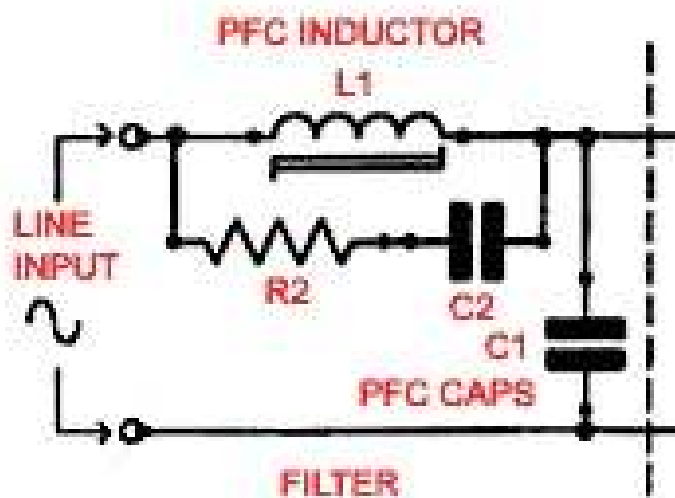
Kuva 11. Erään hakkuriteholähteen ottaman verkkovirran ja jännitteen muodot. Ylhäällä korjaamaton ja alhaalla korjattu [33]

### 8.1.1 Passiivinen PFC

Passiivinen PFC (*power factor correction*) eli passiivinen tehokertoimenkorjaus on suodatin-kytkentä, jota käyttäen esimerkiksi laturi pyrkii korjaamaan sisään tulevan sähkön huonoa tehokerrointa. Passiivista tehokertoimenkorjausta on usein käytetty pienen tehon sovelluksissa.

Rakenteeltaan se koostuu ainakin kondensaattoreista, resistanssista ja induktanssista. Passiivisen tehokertoimen korjaukseen tarvitaan kooltaan suuri induktanssi, mikä on yksi syy, jonka vuoksi sitä käytetään pääosin vain pienen tehon sovellutuksissa, johtuen tekniikan painosta ja koosta.

Passiivinen tehokertoimen korjaus on hinnaltaan edullinen vaihtoehto, kun mietitään tehokertoimen korjausta. Edullinen hinta johtuu sen yksinkertaisesta kytkennästä. Kuvan 12 piirikaavio havainnollistaa passiivisen tehokertoimenkorjauksen kytkentää. Kuvasta näkee, että sitä ei ohjata mitenkään, vaan se koostuu pelkästään aikaisemmin mainitsemistani sähkötekniikan komponenteista. [32.]

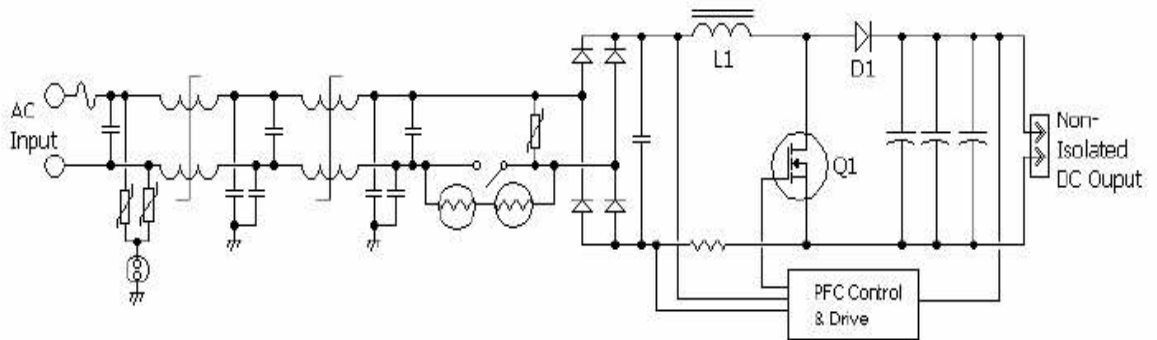


Kuva 12. Passiivinen tehokertoimenkorjaus [32]

Hakuriteholähde, jonka verkosta ottaman tehon tehokerroin on noin 0,55 - 0,65, saadaan korjattua passiivisella tehokertoimenkorjauksella noin 0,7 - 0,75. Arvo ei ole ihan teellinen, mutta se on kuitenkin paljon parempi kuin korjaamaton, sekä sillä voidaan päästä standardeiden vaatimiin rajoihin koskien tehokerrointa ja sähköhäiriöitä. Kyseisen tehokertoimenkorjaus on tehohyötysuhteeltaan tyypillisesti hieman aktiivista tehokertoimenkorjausta parempi johtuen siinä käytetyistä lähes häviöttömistä komponenteista. [34;35.]

### 8.1.2 Aktiivinen PFC

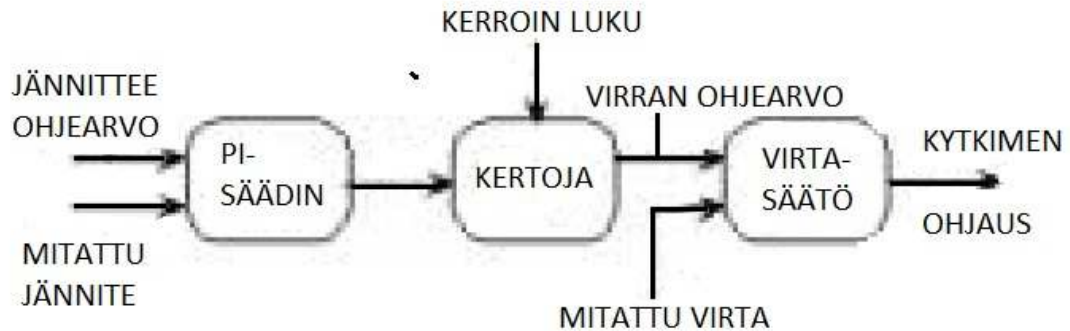
Aktiivinen PFC (*power factor correction*) eli aktiivinen tehokertoimenkorjaus on rakenteeltaan kevyt ja tehokas tapa tehokertoimen korjaukseen hakkuriteholähteissä. Sitä käytetään suurilla tehoilla, mutta se on hinnaltaan kalliimpi kuin yksinkertainen passiivinen tehokertoimenkorjaus. Aktiivinen tehokertoimenkorjaaja pyrkii saamaan esimerkiksi hakkuriteholähteen näyttämään verkkoon nähden kuormana mahdollisimman resistiiviseltä, jolloin virta ja jännite ovat samassa vaiheessa ja loistehon kulutus on minimissään. Tekniikalla saadaan tehokerroin korjattua arvoon yli 0,95. Kuvan 13 piirikaavio havainnollistaa hakkuriteholähdettä, jossa käytetään aktiivista tehokertoimenkorjausta. [32;36.]



Kuva 13: Hakkuriteholähteen piirikaavio, jossa on aktiivinen tehokertoimenkorjaus [33]

Kuvan induktanssi L1, diodi D1 ja transistori Q1 yhdessä PFC Control & Drive -yksikön kanssa muodostavat aktiivisen tehokertoimenkorjauksen, joka on tyypiltään *step-up*-rakenteinen. PFC Control & Drive -yksikkö ohjaa transistoria, minkä tuloksena saadaan verkkovirran muoto ohjattua niin, että se on verrannollinen verkkojännitteen sinimuotoon tarkoituksenaan saada tehokerroin niin lähelle ykköstä kuin mahdollista. Kyseistä yksikköä voidaan siis kutsua ohjainyksiköksi. Kuvan 13 hakkuriteholähteen piirikaaviossa on aikaisemmin mainittujen komponenttejen lisäksi diodeista muodostuva tasasuuntaaja, virranrajoitinpiiri sekä häiriösuodattimia suodattamassa korkeataajuisia häiriöitä.

Aktiivisen tehokertoimenkorjaajan ohjainyksiköiden rakenteet saattavat muuttua riippuen eri valmistajista. Kuvan 14 (ks. seur. s.) lohkokaaviossa havainnollistetaan erään *step-up*-tyyppisen tehokertoimenkorjaajan ohjainyksikön toimintaa. [33; 35; 36.]



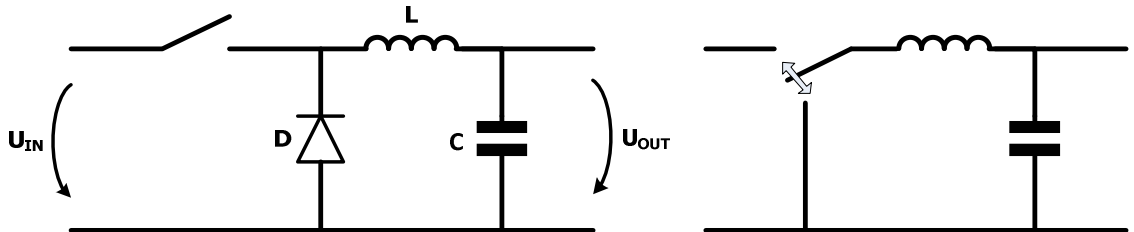
Kuva 14. Aktiivisen tehokertoimen korjaajan lohkokkaavio [35]

Kuvan 14 *step-up*-rakenteisen tehokertoimenkorjaajan ohjainyksikkö koostuu kolmesta osasta, jotka ovat PI-säädin (*proportion-integral*), kertoja ja virran säädin. PI-säädin on eräs säätötekniikan perussäädin, jonka nimi koostuu sen toimintoa kuvaavista termeistä; suhde ja integroiva. Virran ohjearvo muodostetaan lähtöjännitteen ja mitatun jännitteen käyrämuodon avulla. Virran säätö tapahtuu kaksipistesäätönä, jossa transistori käännetään johtamattomaan tilaan, kun virran oloarvo ylittää sen ohjearvon. Kuvan kertojan tehtävänä taas on pitää jännitteen säätöpiirin vahvistus mahdollisimman vakiona. Tekniikka siis mittaa kytkennästä jännitettä ja virtaa ja laskee niistä edelleen miten transistoria tulee ohjata ja suorittaa ohjauksen. [35.]

Aktiivisen PFC:n kolme yleisintä perusrakennetta

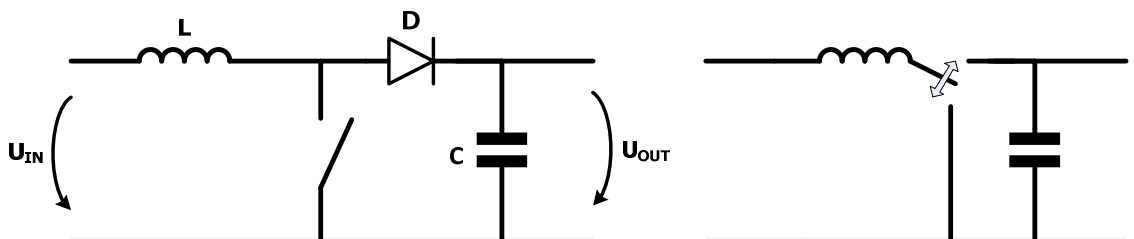
Hakkuriteholähteen aktiivisen PFC:n kolme yleisintä perusrakennetta ovat *step-down* eli *buck*, *step-up* eli *boost* sekä niiden yhdistelmä *step-down-step-up* eli *buck-boost*. Perusrakenteilla on kaksi päätoimintamuotoa, joita ovat jatkuva ja epäjatkuvuus. Jatkuvassa tilassa kelan virta on jatkuvaa, eli uusi latauspulssi alkaa aina, ennen kuin kelan virta menee nolaksi. Epäjatkuvassa toimintamuodossa tilanne on päinvastoin, jolloin kelan virta menee välillä nolaksi. Perusrakenteilla saadaan joko jännitettä nostettua, laskettua, tai suuntaa muutettua.

*Step-down*-rakenteen idea on se, että sen tulojännite on aina oltava suurempi kuin lähtöjännite. Tulo- ja lähtöjännitte ovat myös samanmerkkiset. Kuvan 15 periaatekytkennästä näkee, miten kytkin ja diodi muodostavat vaihtokytkimen, jolla kelaä kytetään vuorotellen sisään tulevan jännitteen plus- ja miinusnapoihin.



Kuva 15. *Step-down*-rakenteen periaatekytkentä [18, s. 257]

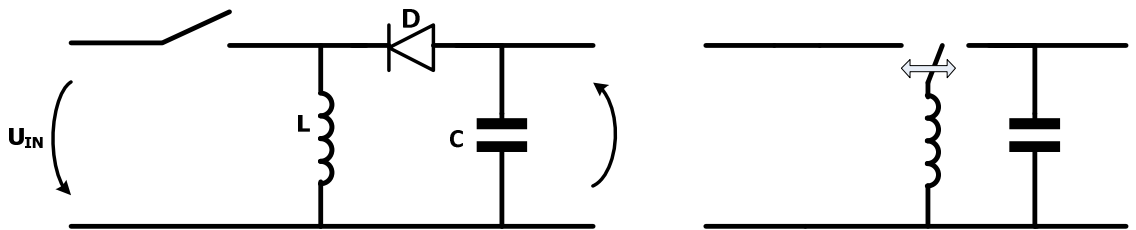
*Step-up*-rakenne eroaa *step-down* rakenteesta hieman tulo- ja lähtöjännitteen suhteen. Lähtöjännitteen on oltava suurempi kuin tulojännitteen. Kuvan 16 periaatekytkennästä huomaa, kuinka kelaä ladataan vaihtokytkimen ala-asennossa ja ylä-asennossa se työntää kytkimen virtaa eteenpäin kondensaattorille. Tämän takia sitä kutsutaan myös *boost*-rakenteeksi.



Kuva 16. *Step-up*-rakenteen periaatekytkentä [18, s. 265]

*Step-up-step-down*-rakenteessa tulojännite voi olla itseisarvoltaan joko suurempi tai pienempi kuin sen lähtöjännite. Rakenteessa jännitteen suunta kääntyy. Tulojännitteen miinusjohdin onkin lähtöjännitteen plusjohdin ja päinvastoin. Nykyisin tämä hakkurin rakenne tunnetaan paremmin nimellä invertteri. Positiivisesta tulojännitteestä saadaan siis tekniikalla negatiivinen lähtöjännite. Kuva 17 (ks. seur. s.) esittää tekniikan periaatekytkentää. [18, s. 233 - 272]





Kuva 17. Step-up-step-down-rakenteen periaatekytkentä [18, s. 278]

## 8.2 Pehmökäynnistys

Pehmökäynnistimiä käytetään useissa eri sähkötekniikan sovellutuksissa. Tarkoituksena on käynnistää tietty sovellutus niin, että käynnistyksestä ei synny haittavaikutuksia. Haittavaikutuksia voi olla esimerkiksi suuret virtapiikit tai mekaaniset häiriöt esimerkiksi tuotantolinjoissa.

Jotkin laturivalmistajat käyttävät tuotteissaan pehmökäynnistystä estämään latauksen käynnistyksestä syntyvää haitallista virtapiikkiä. Kuva 18 on otos erään sähköautoon tarkoitetun laturin teknisistä tiedoista, jossa on maininta pehmökäynnistyksestä. [19; 37; 38.]

## Technical data

Input voltage	70...264Vac ( 70...230Vac, reduced power ) 70...369Vdc
Efficiency	>0.89 at full load, >0.90 at 50% load
Input current	16A ( max )
Frequency	47-63Hz
Power factor	>0.98
Inrush current	soft start
Output ripple	<1% from output voltage, rms



Kuva 18. Otos PAC-3200-laturin teknisistä tiedoista, joista nuolella osoitettu tieto peh-  
mokäynnistyksestä [19]

## 9 Sähköautojen standardointi

Sähköautojen standardointi liittyy lähinnä latausinfrastruktuuriin, sähköautojen komponentteihin ja yleisesti ajoneuvoihin. Standardointi ei nykyisin ole pääsääntöisesti velvoittava. Standardien noudattaminen on kuitenkin helpoin tapa todentaa laitteen olevan turvallinen. [39.]

Suurin osa nykyisistä sähköautojen standardeista on alun perin tehty polttomoottoriau-  
toille. Vanhoja standardeja on vain päivitetty kattamaan sähköautot polttomoottoriau-  
tojen lisäksi. Nykyistä sähköautojen standardointia voidaan kuitenkin pitää keskeneräi-  
senä.

Pelkästään sähköautoja koskevia standardeja on tulossa lähitulevaisuudessa paljon. Standardoinnista vastaa kansainvälisesti IEC (*International Electrotechnical Commis-  
sion*) ja ISO (*International Organization for Standardization*). Suomessa standardoin-  
nista vastaa SESKO. Kuvasta 19 (ks. seur. s.) on nähtävissä lähitulevaisuudessa tulevat  
ja valmiit sähköautoja koskevat standardit. Kuva osoittaa, että standardointi on pääpiir-  
teittäin valmis vuoteen 2013 mennessä. [39; 40; 41.]

IEC	Aihe	2011				2012				2013				
		Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4
<b>Sähköasennukset (yleinen turvallisuus)</b>														
60364-7-722	Sähköauton latausjärjestelmän asennukset													
<b>Latausjärjestelmän turvallisuus</b>														
61851-1	Järjestelmän yleiset vaatimukset													
61851-21	EV:n vaatimukset													
61851-22	AC-latausaseman vaatimukset													
61851-23	DC-latausaseman vaatimukset													
61851-24	EV:n ja DC-aseman välinen kommunikaatio													
61980-1	Induktiivisen järjestelmän vaatimukset													
<b>Pistokytkimet</b>														
60884	Kotitalouspistokytin (tai SFS-EN 60309)	V	A	L	M	I	S							
62196-1	Sähköauton pistokytin, yleiset vaatimukset													
62196-2	AC-pistokytin, mode 3, mittalehdet													
62196-3	DC-pistokytin, mode 4, mittalehdet													
62196-x	AC/DC-pistokytin, mittalehdet													?
<b>Akut</b>														
62660-1	Li-ion-kennot, suorituskyky													
62660-2	Li-ion kennot, turvallisuus väärinkäytössä													
12405-1	Tehoakut, turvallisuus													
12405-2	Energia-akut, turvallisuus													
<b>Maksusuorituksen yms. liittyvä tiedonsiirto</b>														
14443	Maksukortit	V	A	L	M	I	S							
7816-4	Langattoman tiedonsiirron tietoturva ja tiedonsiirtokäskyt	V	A	L	M	I	S							
15118-1	Kaapeloinnin yleiset asiat ja toimintatilojen määrittelyt													
15118-2	Tiedonsiirtoprotokollat													?
15118-3	Kaapeloinnin ominaisuudet													?

Kuva 19. Sähköautoihin liittyvien standardien valmistumisajankohdat [41]

## 10 Yhteenveto

Sähköautojen akkulaturit perustuvat hakkuritekniikkaan. Nykyisillä lataustekniikoilla saadaan laturi ottamaan verkosta sinimuotoista virtaa käyttäen aktiivista tehokertoimen korjausta. Tekniikalla saadaan loistehonkulutus ja haitalliset yliaallot pieniksi. Sähkönlaadun näkökulmasta katsottuna on saatavana myös huonoja lataustekniikoita.

Sähköautojen standardoinnin kehittyessä huonojen lataustekniikoiden osuus luultavammin vähentyy, koska standardointi tehdään nimenomaan sähköautoille.

Latausverkostoa voidaan laajentaa esimerkiksi pysäköintihalleihin, kauppakeskuksiin, kadunvarsille ja joukkoliikenteen liityntäpysäköintipaikoille. Mikäli latauksessa olevien sähkö- tai hybridautojen verkkovaikutuksia ei tiedetä, olisi järkevää mitata sähkönlaadua kiinteistössä ajoittain. Kymmenet tai jopa sadat hitaan latauksen latauspisteet tuottavat yhtä aikaan käytettynä niin suuren huipputeho, että sillä on merkittäviä vaikutuksia kiinteistöjen sähkömitoituksiin. Mikäli suuria määriä sähköautoja halutaan ladata yhtä aikaa samasta kiinteistössä, tulee latausta ohjata vain tietyille autoille käytössä olevan sähköenergian mukaan.

Rakennettaessa uusia kiinteistöjä tulee mahdolliset latausverkot huomioida. Sähkömitoitukset tulee tehdä huomioiden latauksen huippukulutus, mikäli latausta ei aiota ohjata.

Näyttää siltä, että litium-pohjaiset akkutyypit kattavat pitkälti lähitulevaisuuden akkutarpeet henkilökuljetukseen tarkoitetuissa sähköautoissa. Akkujen hallintajärjestelmä (BMS) toimii latauksen ohjauksena toteuttaen akkujen elinikää pidentävän ja turvallisen lataamisen. BMS on monipuolinen laite, jossa on potentiaalia kehittyä.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää lataustekniikoiden eroja siltä osin, kun ne vaikuttavat sähkönlaatuun kiinteistössä. Työssä perehdyttiin sähköautojen tekniikkaan siltä osin, kun ne vaikuttavat sähköauton lataamiseen. Työssä onnistuttiin pääpiirteittäin hyvin. Korkeataajuiset sähköhäiriöt ja niihin liittyvät mittaukset jäivät tekemättä. Mittalaitteisto ei kyennyt mittaamaan korkeataajuisia häiriöitä. Tätä insinööriyötä voitaisiin jatkaa selvittämällä lisää akkujen hallintajärjestelmistä, ja miten niitä voitaisiin käyttää hyödyksi osana älykästä sähköverkkoa, tai voitaisiinko esimerkiksi akun varaus-tilanteesta informoida auton käyttäjää langattomasti esimerkiksi suoraan matkapuhelimeen.

Tätä tutkimusta voitaisiin jatkaa selvittämällä lähitulevaisuudessa myyntiin tulevien sähköautojen lataustekniikoita ja tekemällä niihin sähkönlaatumittauksia.

Korkeataajuisten sähköhäiriöiden mittauksia olisi myös syytä tehdä sekä kartoittaa niihin liittyvää tekniikkaa tarkemmin siltä osin, kun sitä käytetään sähköautojen latureissa.

Tätä työtä voi hyödyntää, mikäli haluaa tietää sähköautojen tekniikasta, joka koskee akustoa, akkujenhallinta järjestelmää sekä laturia ja siihen liittyvää tekniikkaa. Tästä työstä on hyötyä rakennuttajille, kun rakennetaan julkisia tiloja, joissa suunnitellaan olevan sähköautojen latauspisteitä tai mikäli olemassa olevaan kiinteistöön suunnitellaan latausverkostoa.

## Lähteet

- [1] Haikonen, Markku. Lehtori, Metropolia AMK - Auto- ja kuljetustekniikka, Helsinki. Palaveri. 24.11.2010.
- [2] Ahtee, Simo. Sähköautot tarvitsevat veroporkkanan. Verkkodokumentti. <<http://www.ts.fi/teemat/liikenne/86974.html>>. Luettu 11.1.2011
- [3] Ijäs, Jari. Lehtori, Metropolia AMK - Sähkötekniikka, Helsinki. Sähköposti. 17.01.2011.
- [4] ENSTO GREEN PARK – sähköautojen latauspylväs. Verkkodokumentti. <[http://www.ensto.com/download/18361\\_Ensto\\_Green\\_Park\\_FI\\_netti.pdf](http://www.ensto.com/download/18361_Ensto_Green_Park_FI_netti.pdf)>. Luettu 14.1.2011
- [5] Ijäs, Jari. Lehtori, Metropolia AMK - Sähkötekniikka, Helsinki. SYÖKSY - Palaveri. 15.12.2010.
- [6] Ijäs, Jari. Lehtori, Metropolia AMK - Sähkötekniikka, Helsinki. Palaveri. 25.01.2011.
- [7] Husain, Iqbal. 2003. Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. CRC Press.
- [8] Auris-esite. 2010. Verkkodokumentti <[http://www.toyota.fi/e-brochures/slot200\\_tcm304-1006832.zip/slot200/index.html?webtrendsID=FIFI](http://www.toyota.fi/e-brochures/slot200_tcm304-1006832.zip/slot200/index.html?webtrendsID=FIFI)>. Luettu 18.12.2010
- [9] Fuhs, Allem. 2009. Hybrid Vehicles and the Future Personal Transportation. CRC Press.
- [10] Akut. 2010. Verkkodokumentti. <[http://fi.wikipedia.org/wiki/Akku#Nikkeli-metallihydridi\\_.28Ni-MH.29](http://fi.wikipedia.org/wiki/Akku#Nikkeli-metallihydridi_.28Ni-MH.29)>. Luettu 18.12.2010
- [11] Haakana, Arto. 2011. Kehittämispäällikkö, Urbaani Energiategohkuus, Green Net Finland, Vantaa. Syksy-hankkeen väliseminaari. 18.01.2011.
- [12] Väyrynen, Antti. 2010. Tuotekehitysjohtava, European Batteries Oy. Sähköautojen akut ja akkujärjestelmät. Powerpoint dokumentti. 30.11.2010.
- [13] European Batteries Oy. Passatin järjestelmän johdotuskaavio [pdf.]. Sähköpostiviesti. 19.12.2010
- [14] Ev Battery Pack Testing in a Manufacturing Environment. <<http://www.dmcinfo.com/Portals/0/White%20Papers/DMC%20EV%20Battery%20Test%20White%20Paper.pdf>>. Luettu 6.1.2011
- [15] Haakana, Arto. 2010. Kehittämispäällikkö, Urbaani Energiategohkuus, Green Net Finland, Vantaa. Puhelinkeskustelu 29.11.2010.
- [16] Nissan Leaf –sähköauto bensiinikäyttöisen hinnalla. Verkkodokumentti. <<http://www.tuulilasi.fi/artikkelit/nissan-leaf-sahkoauto-bensiinikayttoisen-hinnalla>>. Luettu 23.12.2010

- [17] Lataus. Verkkodokumentti <<http://www.sahkoautot.fi/wiki:lataus>>. 16.10.2009. Luettu 1.3.2011
- [18] Silvonen, Kimmo. 2009. Elektroniikka ja puolijohdekomponentit. Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto
- [19] Powerfinn PAC3200. Verkkodokumentti. <[http://www.powerfinn.fi/prod/pdf/KP010\\_00339\\_005.pdf](http://www.powerfinn.fi/prod/pdf/KP010_00339_005.pdf)>. Luettu 30.12.2010
- [20] ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Verkkodokumentti. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04\\_0\\_S%84hk%94n%20laatu.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf) Luettu 07.01.2011
- [21] EV Powercharger 3000. Verkkodokumentti. <[http://www.eltequalere.com/wip4/ev-powercharger-3000/c/detail\\_product.epl?cat=17219](http://www.eltequalere.com/wip4/ev-powercharger-3000/c/detail_product.epl?cat=17219)>. Luettu 30.12.2010
- [22] Partanen Jarmo. Open your mind. Lappeenranta University of Technology. Dokumentti. [pdf].
- [23] Rantanen Jaana. Tietoa tunnin tarkkuudella. Verkkodokumentti. <<http://www.visio2050.fi/index.php?id=2931> Luettu. 27.02.2011>
- [24] Korpinen, Leena ym. Yliaalto-opus. Verkkodokumentti. <<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>>. Luettu 1.2.2010
- [25] Männistö, Hietalahti, Seesvuori, Wilén. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- [26] ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Loistehon kompensointi ja yliaallot. Verkkodokumentti. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09\\_0\\_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf). Luettu 04.03.2011
- [27] Suomen standardoimisliitto. 2007. SFS-käsikirja 600 - Pienjännitesähköasennukset ja sähköturvallisuus. SFS, Helsinki.
- [28] Ijäs, Jari. 2008. Vaihtosähkön perusteet. Opintomateriaali. [pdf].
- [29] Linja-aho, Vesa. Lehtori Metropolia AMK - Auto- ja kuljetustekniikka, Helsinki. Sähköposti. 9.12.2010
- [30] Peltola, Pekka. Metropolia AMK, Helsinki. Puhelinkeskustelu. 30.11.2010
- [31] Syrjä, Atte. 2010. Sähköautojen lataaminen autolämmityspistorasioista. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- [32] Schramn, Ben. 2006 Powersupply. Verkkodokumentti. <<http://www.nuvation.com/corporate/news/newsletter/summer2006/powersupply.html>>. Luettu 27.12.2010

- [33] Gobbi, Alan. 2009. UNDERSTANDING POWER FACTOR AND INPUT HARMONICS IN SWITCHED MODE POWER SUPPLIES. Verkkodokumentti.  
<<http://www.ospmag.com/files/pdf/whitepaper/Power-Factor-and-Input.pdf>>. 2. 2009.  
Luettu 9.12.2010
- [34] Passive PFC. 2010. Verkkodokumentti.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Passive\\_PFC](http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_PFC)>. Luettu 27.12.2010
- [35] Kyyrä, Jorma. 1998. Teknisesti perusteltua vai standardien vaatimus? Tehokertoimen korjaus. Verkkodokumentti <<http://www.proessori.fi/es98/PDF/POWER.PDF>>.  
Luettu 29.12.2010
- [36] Power factor correction in non-linear loads. 2010. Verkkodokumentti.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_factor\\_correction#Power\\_factor\\_correction\\_in\\_non-linear\\_loads](http://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor_correction#Power_factor_correction_in_non-linear_loads)>. Luettu 26.12.2010
- [37] ABB Oy. Pehmökäynnistin opas. Verkkodokumentti.  
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ba82a14a007080c7c12577bb0025311b/\\$file/pehmokaynnistin%20opas%202007%20fi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ba82a14a007080c7c12577bb0025311b/$file/pehmokaynnistin%20opas%202007%20fi.pdf)>. Luettu 4.3.2011.
- [38] Sähkölehto. Dold – Tehoelektroniikka. Verkkodokumentti.  
<[http://www.sahkolehto.fi/tuotteet/releet/fi\\_FI/tehoelektroniikan\\_rele/\\_files/82429011088179805/default/Dold\\_tehoelektroniikka.pdf](http://www.sahkolehto.fi/tuotteet/releet/fi_FI/tehoelektroniikan_rele/_files/82429011088179805/default/Dold_tehoelektroniikka.pdf)>. Luettu 4.3.2010
- [39] Sähköautot – Nyt!. Sähköautojen standardointi. Verkkodokumentti.  
<<http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautojen-standardointi>> Luettu. 28.3.2011
- [40] SESKO. Sähköautot. Verkkodokumentti.  
<[http://www.sesko.fi/portal/fi/standardisointikomiteat/komitealista\\_ja\\_komiteasivut/sk\\_69\\_\\_sahkoautot\\_/>](http://www.sesko.fi/portal/fi/standardisointikomiteat/komitealista_ja_komiteasivut/sk_69__sahkoautot_/>) Luettu. 28.3.2011
- [41] Simo Kari. SYÖKSY-hankkeen projekti-opiskelija, Metropolia AMK. Raportti - Sähköautojen standardointi. Sähköpostiviesti. 20.03.2011



