

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma  
Auto- ja korjaamotekniikka

Tutkintotyö

Jani Joensuu

## **KATSAUS SÄHKÖAUTOJEN TEKNIikkaAN**

Työn ohjaaja  
Tampere 2009

Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja korjaamotekniikka

Joensuu, Jani Katsaus sähköautojen tekniikkaan

Tutkintotyö 36 sivua

Työn ohjaaja Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi

Joulukuu 2009

Hakusanat sähköauto, sähkömoottori, akku

## TIIVISTELMÄ

Päästörajoitusten tiukennuttua sähköauto on noussut uudelleen esiin tulevaisuuden kulkuvälineenä. Tämän työn tarkoituksena oli tutkia minkälaista tekniikkaa tämän päivän sähköautot pitävät sisällään ja minkälainen kehitys tekniikalla on ollut.

Teknisen tarkastelun alla oli eri sähkömoottorityypit ja niiden soveltuvuus käyttötarkoitukseen. Yleisesti sähköautoissa käytettävät moottorityypit ovat oikosulku- tai tasavirtamoottoreita. Myös rakenteeltaan erilainen aksiaalivuomoottori soveltuu hyvin sähköautokäyttöön. Moottorit ovat mahdollista asentaa myös suoraan pyörännapaan.

Työssä tarkasteltiin myös erilaiset akkutekniikat sekä vertailtiin niiden ominaisuudet sähköautokäytössä. Yleisimmät sähköautokäytössä olevat akut ovat lyijy-, nikkeli- ja litiumakkuja.

Lisäksi työssä käsiteltiin ohjausjärjestelmät ja invertterit. Ohjausjärjestelmä vahtii ja ohjaa koko auton sähkötekniikkaa, mutta sen päätehtävänä on säädellä akuilta tuleva jännite tilanteeseen sopivaksi moottorille.

TAMPERE POLYTECHNIC

Automobile and transport engineering

Automobile and garage engineering

Joensuu, Jani            Electric cars technology today

Engineering Thesis    36 pages

Thesis Supervisor    Tauno Kulojärvi MSc

December 2009

Keywords                electric car, electric vehicle, battery, electric motor

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to examine technical solutions inside of electric vehicle. Main parts of electric vehicle are electric motor, batteries and control system.

In this thesis different electric motors and their compatibility to electric car use are introduced. Regular electric motor types in electric car industry are DC- (direct current), AC- (alternating current), axial flow- and inside of wheel installed pole motors.

Also different battery types and their features in electric vehicle use are introduced. Main types are lead acid-, nickel- and lithium batteries.

Electric car controlling system with inverter is complex. It controls electric techniques in vehicle. Main function of it is to control input power from batteries suitable to engine.

## TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja korjaamotekniikka

Joensuu, Jani Katsaus sähköautojen tekniikkaan

Tutkintotyö 36 sivua

Työn ohjaaja Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi

Joulukuu 2009

Hakusanat sähköauto, sähkömoottori, akku

### ALKUSANAT

Työn perusteena on ollut tekijän kiinnostus uusiin tekniikoihin autoteollisuudessa. Tätä kirjoittaessa hybridimallit ovat vasta yleistymässä, mutta myös täyssähköautot ovat jo pian kenen tahansa hankittavissa. Työhön perehtyminen on aikaansaanut kirjoittajalle jopa niin suuren innostuksen asiaan, että tulevaisuuden suunnitelmissa on siirtää oma henkilökohtainen autoilu täysin sähkötoimiseksi, joko sitten valmiin tuotteen avulla tai muuntamalla itse polttomoottoriauto sähköautoksi.

Kirjoittaja haluaa kiittää työn valmiiksi saattamisesta työn ohjaajaa tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärveä.

Tampereella 10. Joulukuuta 2009

Jani Joensuu

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
ALKUSANAT .....	4
SISÄLLYSLUETTELO .....	5
1. JOHDANTO .....	6
2. SÄHKÖAUTOJEN HISTORIA .....	7
3. SÄHKÖAUTOISSA KÄYTETTÄVÄT MOOTTORITYYPIT .....	11
3.1 Oikosulkumoottorit .....	12
3.2 Tasavirtamoottorit .....	14
3.3 Aksiaalivuomoottorit .....	16
3.4 Napamoottorit .....	18
4. INVERTTERIT .....	20
5. OHJAUSJÄRJESTELMÄT .....	22
6. AKKUJÄRJESTELMÄT .....	24
6.1 Lyijyakut .....	26
6.2 Nikkeliakut .....	28
6.3 Litiumakut .....	29
7. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	31
LÄHTEET .....	33

## 1. JOHDANTO

Nykypäivän henkilöautossa voi olla jopa 60 sähkömoottoria erilaisia toimintoja, kuten tuulilasinpyyhkijöitä ja ikkunannostimia varten/10/. Silti nykyään suurin osa autoista käyttää liikkumiseen polttomoottoria. Sähköautossa ei ole lainkaan polttomoottoria, vaan auton energia on varastoitu akkuihin ja on peräisin esimerkiksi sähköverkosta ja mahdollisuuksien mukaan myös auton jarruista.

Autojen historia on alkanut sähköautoista, mutta polttomoottoreiden yleistyttyä ne on lähes unohdettu. Nyt kuitenkin sähkömoottorilla kulkeva auto on uudestaan tekemässä tuloaan. Tähän syynä ovat tiukentuneet päästömääräykset, jotka ovat pakottaneet autonvalmistajia kehittämään vähemmän saastuttavia autoja. Tämän työn tarkoituksena on tutkia sähköauton nykyaikaista tekniikkaa.

## 2. SÄHKÖAUTOJEN HISTORIA

Sähköauto syntyi jo 1830-luvulla ja 1900-luvun alussa nämä hiljaiset ja pakokaasuttomat ajoneuvot olivatkin suosituimpia autoja. New Yorkin ensimmäiset taksitkin 1900-luvun alussa olivat sähköautoja ja ne kävivätkin päivän aikana useita kertoja vaihtamassa akut ladattuihin. Tekniikka oli valmista vaihtoakkujärjestelmiseen ja sarjatuotanto oli valmista alkamaan, mutta näin ei silti tapahtunut. /1/

New Yorkin taksien taustalla oli yhtiö nimeltä Electric Vehicle Company. Yhtiö oli suojannut patentein akkutekniikkansa ja oli valmistautunut valtaamaan vasta alussa olevat automarkkinat puhtaalla ajoneuvollaan. Sijoittajat investoivat suuria summia yhtiöön. Yhtiöllä oli myös polttomoottoriauton patentti, jonka yhtiö oli ostanut Selden –nimiseltä mieheltä, joka taas oli hankkinut tämän lainsäädännön porsaanreikien kautta. Sen sijaan että yhtiö olisi aloittanut sähköautojen sarjavalmistuksen, se rupesikin keräämään polttomoottorivalmistuksesta saatavia lisenssimaksuja, koska tämä vaikutti olevan tehokkaampi tapa rikastua. Yhdysvaltoihin muodostui patentinomistajien ja autonvalmistajien monopoli, joka salli vain kalliiden autojen valmistuksen yläluokalle. Monopolia yrittivät rikkoa muuan autonvalmistaja Henry Ford ja keksijä Thomas Edison, joiden yhteistyöhankkeeseen kuului Fordin auto ja Edisonin akut, sekä huoltoasema- ja latausverkot. Tämä jäi kuitenkin toteutumatta, koska Fordin mielestä Edisonin akut eivät toimineen odotetulla tavalla. Tämä on jälkepäin aiheuttanut ihmetystä, koska Edisonin tekniikka on todettu toimivaksi. Lopulta Edisonin laboratoriossa riehui tulipalo ja usean vuoden työ haihtui taivaalle. Edison yritti aloittaa työtään alusta, mutta se olisi ollut liian raskasta 70-vuotiaalle miehelle. /1/

Ensimmäisen maailmansodan aikana kuorma-autoihin tarvituille suurille polttomoottoreille tuli kysyntää ja sähköautojen kysyntä heikentyi entisestään. Polttomoottorit veivät tässä kohtaa voiton, koska siihen aikaan ei maapallon saastuminen ollut monellekaan kovin tärkeä asia ja öljyäkin kuviteltiin maapallolta löytyvän loputtomasti. /1/



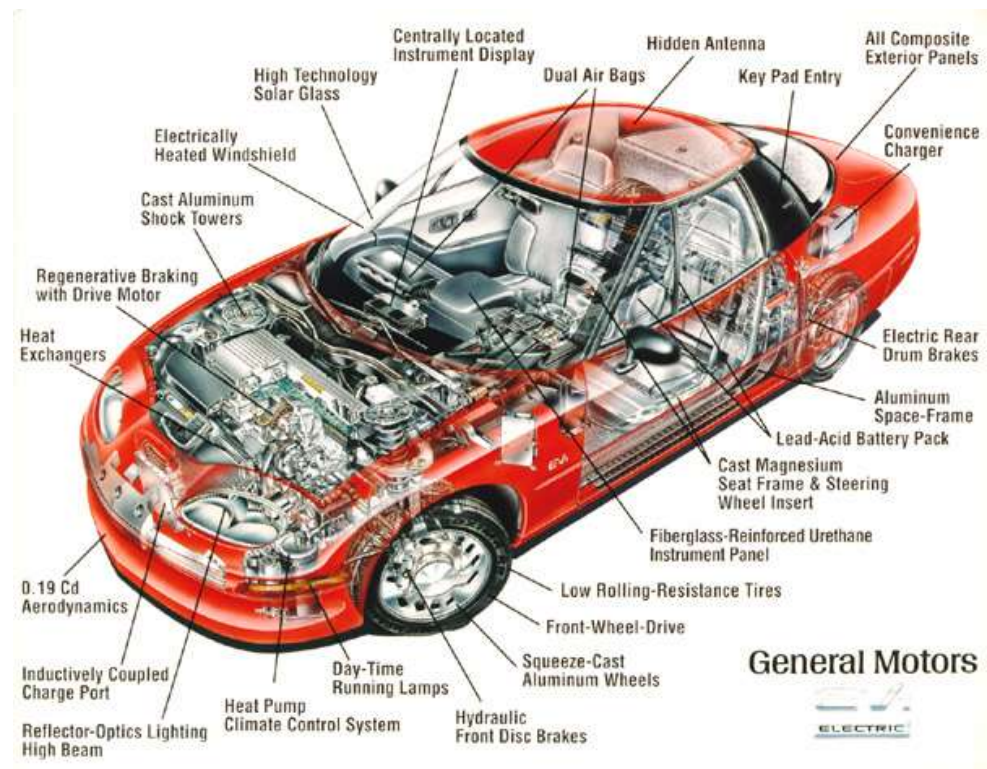
**Kuva 1. Baker Electric-sähköauto vuodelta 1909. /8/**

Vuonna 1990 syntyi General Motorsin toimesta sähköauton prototyyppi Impact, myöhemmin nimeltään EV1 (kuva 2). Auto kiihtyi nollostasataan kilometriin tunnissa jopa kahdeksassa sekunnissa ja latauksella ajomatkaa kertyi 220 km. Kalifornian ilmanlaadusta vastuussa olleet viranomaiset vakuutuivat tällöin sähköautojen puhtaudesta ja asettivat lain, joka velvoitti autonvalmistajia tuomaan myyntiin määrätyn verran ajoneuvoja, joiden päästöt olivat nolla. Autonvalmistajat kuten GM, Ford, Honda, Toyota, Nissan ja Chrysler toivat markkinoille nopeasti sähköautomalleja.



Laki määräsi nollapäästöisten autojen määrän kasvun, jolloin vuonna 2003 olisi pitänyt Kalifornian autoista jo 10 % olla saasteettomia. /1/

Autoteollisuus pelästyivät tätä, koska olihan suuri osa autoteollisuuden rahoitusta kotoisin öljy-yhtiöltä, joten lainsäädäntö kaatui lopulta valmistajien vastustukseen. Tämän jälkeen kaikki sähköautomallit vedettiin pois markkinoilta ja sähköautoja jäi liikenteeseen enää vain vähän. Valmiita sähköautoja jopa toimitettiin romutettavaksi. Kaiken huippuna vielä General Motors myi sarjavalmistetun sähköauton tarvitseman NIMH-akkutekniikan patentit öljy-yhtiö Texacolle. /5/



**Kuva 2. General Motorsin EV1 /2/.**

Tällä hetkellä kiistellään siitä kuka on tuonut ensimmäisenä sarjavalmistetun sähköauton markkinoille. Peugeot väittää tehneensä näin vuosina 1996-2003 valmistetun Peugeot 106 Electricin avulla /3/. Konseptiautoja viime vuosien aikana on riittänyt monella merkillä mutta sitä joka kuluttajan sarjavalmistetusta sähköautosta on saatu odottaa.

Läpimurron saattaa tehdä ensimmäisenä Mitsubishi iMiEV –autollaan (Mitsubishi intelligent Electric Vehicle), jonka sarjatuotanto on tätä kirjoittaessa alkamaisillaan (Kuva 3). /4/



**Kuva 3. Mitsubishi iMiev –sähköauto /6/**

Myös Renault-Nissan yrittää tuoda sähköauton ensimmäisenä tavallisen kuluttajan saataville esittelemällä sähköautomalleja Frankfurtissa IAA – autonäyttelyssä 2009. Muilla merkeillä kun sähköautokonseptit ovat vielä pieniä kaupunkiautoja, on Renault-Nissanilla tulossa tarjolle useita erilaisia ja erikokoisia autoja. /7/

Vähitellen 2000 -luvulla päästönormien tiukennuttua on kehitetty sähköautotekniikkaa uudestaan. Usealla merkillä on sekä sähkö- että polttomoottorilla varustettuja hybridautoja tällä hetkellä sarjavalmistuksessa. Tämä onkin askel kohti pelkällä sähkömoottorilla varustettuja autoja. Sähköautoja toki on tällä hetkellä valmistuksessa, mutta todellisesta massatuotannosta on turha vielä puhua.

### 3. SÄHKÖAUTOISSA KÄYTETTÄVÄT MOOTTORITYYPIT

Nykypäivän sähköautot kulkevat yleensä nopeakäyntisellä oikosulkumoottorilla (kuva 4) tai napamoottorilla. /10/ Oikosulkumoottorin ja tasavirtamoottorin rakenne on radiaalinen, eli staattori on keskellä olevan roottorin ulkokehällä. Aksiaalivuomoottorissa taas staattori ja roottori ovat peräkkäin akselin suuntaisesti.



**Kuva 4: Mitsubishi iMiEV:n oikosulkumoottori**



Avonapainen oikosulkumoottori on kuitenkin epätaloudellinen ja siksi on kehitetty umpinapainen moottori. Umpinapaisessa oikosulkumoottorissa staattoriin rakennetaan kolmivaiheinen käämitys. Tätä kutsutaan urakäämitykseksi. Tällöin staattorin kehällä olevat urat jaetaan sopivasti staattorin kaikille kolmelle vaihekäämille niin, että kolmivaihevirran kulkiessa staattori synnyttää taas pyörivän magneettikentän ilmapäliin. /19/

Suomalaisessa *Sähköautot – Nyt!* –hankeessa valmistunut eCorollan prototyyppi on varusteltu Azure Dynamicsin AC24LS – oikosulkumoottorilla (kuva 6) /21/. Moottorin jatkuva teho on 15 kW ja hetkellisesti moottorista saadaan 47 kW /22/.



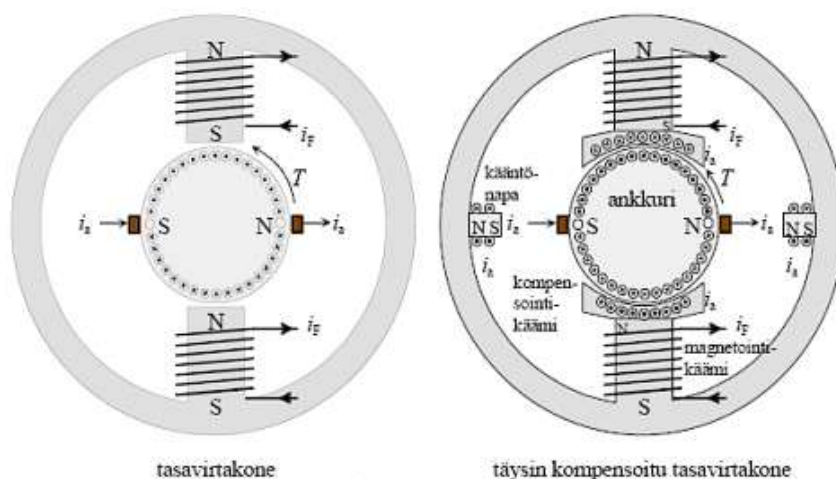
**Kuva 6: Azure Dynamics AC24LS –oikosulkumoottori /27/**

### 3.2 Tasavirtamoottorit

Tasavirtamoottorin hyötysuhde ei ole yhtä hyvä kuin oikosulkumoottorilla /9/. Se ei sovellu suurille ylikuormille eikä suurelle pyörimisnopeudelle /19/. Tasavirtamoottorissa on sarjaan kytketyt ankkuri- ja kenttäkäämit. Haluttu virran voimakkuus saavutetaan siten, että moottorille tulevaa akkujännitettä säädetään tehokatkaisimen avulla pulssein sopivalla taajuudella. /9/

Kuvassa 7 nähdään tasavirtamoottorin rakenne siten, että vasemmalla on perusmallinen tasavirtamoottori ja oikealla kompensoitu tasavirtamoottori, johon on lisätty komponentteja ongelmien poistamiseksi. /10/

Tavallisessa tasavirtamoottorissa ankkurikäänin synnyttämä magnetomotorista voimaa ns. ankkurireaktiota ei kompensoida. Tällöin summavirta aiheuttaa vuon kääntymisen pois magneettinavoilta, jolloin ongelmaksi syntyy moottorin kommutaattorin eli sähkövirran suunnan kääntäjän kipinäinti ja vääntömomentin tuoton heikkeneminen. /10/



**Kuva 7. Tasavirtamoottorin ja kompensoidun tasavirtamoottorin rakenne. Roottorilla, kompensointikäimissä ja kääntönavoilla kulkee sama virta. /11/**

Ankkurireaktiota voidaan kompensoida lisäämällä moottorin staattorinapoihin kompensointikäämit. Tällainen moottori toimii erittäin hyvin vääntömomentin pysyessä huipussaan. Täysin kompensoidun sähkömoottorin ongelmaksi muodostuu hiiliharjojen ja kommutaattorin huollon tarve sekä korkea hinta. /10/

Tasavirtamoottoreita on otettu liikennekäyttöön viimeisten vuosikymmenten aikana. Esimerkiksi suomalaisessa Elcat Cityvan - sähköautossa on 22kW tasavirtasarjamoottori /18/. Myös varhaiset sähkökäyttöiset linja-autot oli varustettu tasavirtasarjamoottoreilla, joita voitiin käyttää ilman erillistä tehoelektronista säätöä /10/.

Edellä mainitun huollon tarpeen takia sähköautoja ei nykyään enää niin paljon varustella tasavirtamoottoreilla. Oikosulkumoottorit ja napamoottorit ovat syrjäyttäneet sen huoltovapaan rakenteensa johdosta. /9/

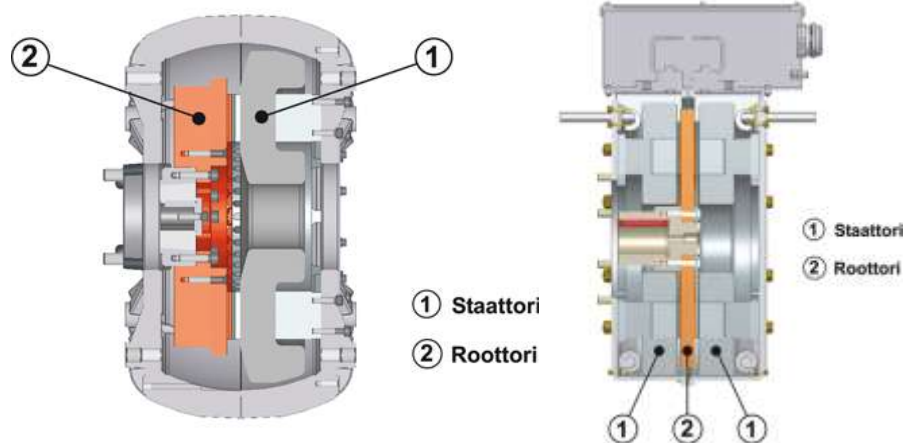
### 3.3 Aksiaalivuomoottorit

Aksiaalivuomoottori ei ole uusi keksintö. Jo ensimmäiset sähkömoottorit olivat rakenteeltaan aksiaalisia. /13/

Sähkömoottorit kuitenkin kehittyivät 1900-luvun alkuun mennessä rakenteeltaan radiaalisiksi sen aikaisten valmistusmenelmien, materiaalien ja laakereita kuluttaneen pyörimisakselin suuntaisen aksiaalivoiman vuoksi ja aksiaalivuotekniikka otettiin myöhemmin 1900-luvun loppupuolella käyttöön uudestaan. /12/

Aksiaalivuomoottorin etuna on koko ja muoto, koska moottorissa on kevytrakenteinen roottori ja lyhyt aksiaalinen pituus. Kuten kuvasta 8 voidaan havaita, moottorissa staattori ja roottori ovat peräkkäin moottorin pyörimisakselin suuntaisesti. Aksiaalivuomoottori vaatii yhden tai kaksi staattoria. Sähköautokäytössä kaksipuolinen malli sopii käyttöön paremmin, koska tällä päästään suurempiin vääntömomenteihin ja aksiaalisia voimia voidaan kompensoida paremmin. Kaksipuolinen rakenne on yksipuolista kalliimpi, koska kaksipuolisen staattorikäänissä on kaksinkertainen määrä kuparia verrattuna yksipuoliseen ja näin ollen sekä materiaali- että työkustannukset ovat suuremmat. Aksiaalivuomoottorille ominainen moottorin pyörimisakselin suuntainen voima, eli aksiaalivoima, joka aiheutuu ilmavälissä vaikuttavasta magneettisesta vetovoimasta, voidaan vaimentaa kaksipuolisella rakenteella. Tällöin moottorin laakerit eivät joudu niin suurelle rasitukselle. Aksiaalivoima on suoraan verrannollinen moottorin ilmavälin pinta-alaan. /12/





**Kuva 8: Yksi- ja kaksipuolisen aksiaalivuomootorin rakenne. /14/ /15/**

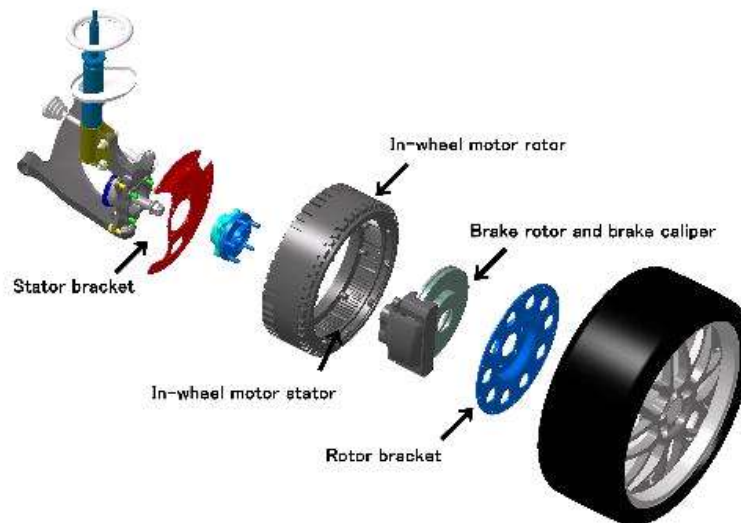
Aksiaalivuomootorin rakentaminen on aikaisemmin ollut kallista ja heikkoutena ovat olleet roottorin kestävyysominaisuudet. Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa ja Konetuote Piispanen Oy:ssä syntyneitä innovaatioita on suomessa lähtenyt kehittämään Axco-Motors Oy, joka on onnistunut tekemään aksiaalivuomootoreiden valmistuksesta kustannustehokasta ja moottoreiden suorituskyky on saatu vertailukelpoiseksi tavallisiin radiaalivuomootoreihin nähden. Näin ollen Axco-Motorsin aksiaalivuomootorit (kuva 9) sopivat myös sähkö- ja hybridiajoneuvokäyttöön.



**Kuva 9: AXCO-Motors 37 – 75 kW-sarjan aksiaalivuomoottori. /16/**

### 3.4 Napamoottorit

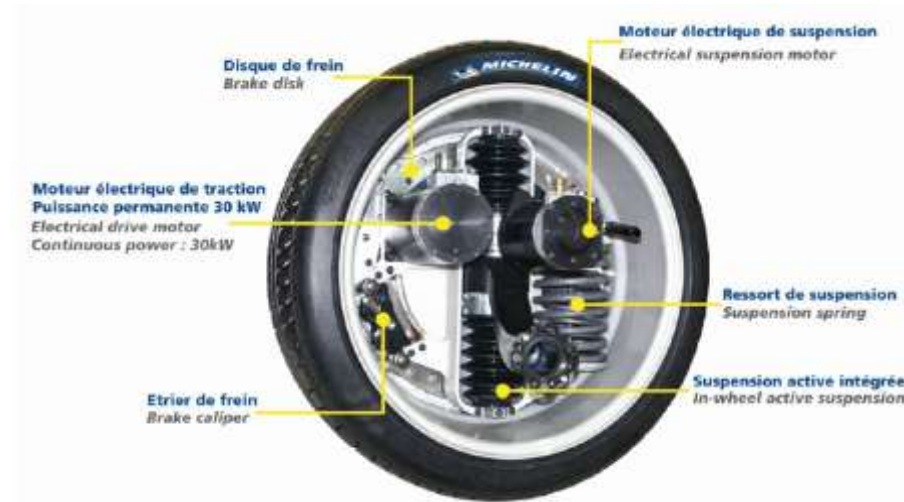
Pyörä- eli napamoottori on nimensä mukaisesti suoraan pyörässä kiinni. Tällöin ongelmana usein esiintyy liian suuri pyörän ja moottorin jousittamaton massa, mikä heikentää auton ajo-ominaisuuksia. Tämä voidaan kompensoida sillä että moottoria vedetään hieman sisäänpäin ja siitä pyörälle on lyhyt vetoakseli. Myös napamoottorin kestävyys joutuu koviille, koska järjestelmä joutuu ottamaan vastaan renkaaseen kohdistuvia iskuja. Koska napamoottoreita voi olla auton jokaisessa pyörässä, voivat yksittäisten moottoreiden tehot olla pienempiä ja näin ollen moottorit ovat suhteellisen pienikokoisia. Tällöin auton moottoritilaan jäävä käyttämätön tila voidaan täyttää esimerkiksi akkujärjestelmällä.



**Kuva 10: Shell Eco-Marathon 2006 –kilpailun Saksan joukkueen suunnittelema napamoottorikonstruktio /34;35/.**

Kuvassa 10 esitellään erään napamoottorin rakenne aina vasemmalla olevasta olka-akselista oikeassa reunassa olevaan vanteeseen saakka. Keskellä kuvaa näkyy staattori ja roottori, mikä pyörii kokonaan pyörän mukana. Kyseinen järjestelmä tuo pyörälle melkoisen määrän lisää jousittamatonta massaa, jolla on epäilemättä suuri merkitys ajo-ominaisuuksien heikentymiseen.

Michelinin ja Orangen yhteistönä kehittämässä Active Wheel – napamoottorissa on ajomoottorin ja sähköä talteenottavan, eli regeneroivan jarrujärjestelmän lisäksi aktiivijousitusjärjestelmä, jolla ajo-ominaisuuksia voidaan huomattavasti parantaa. /17/

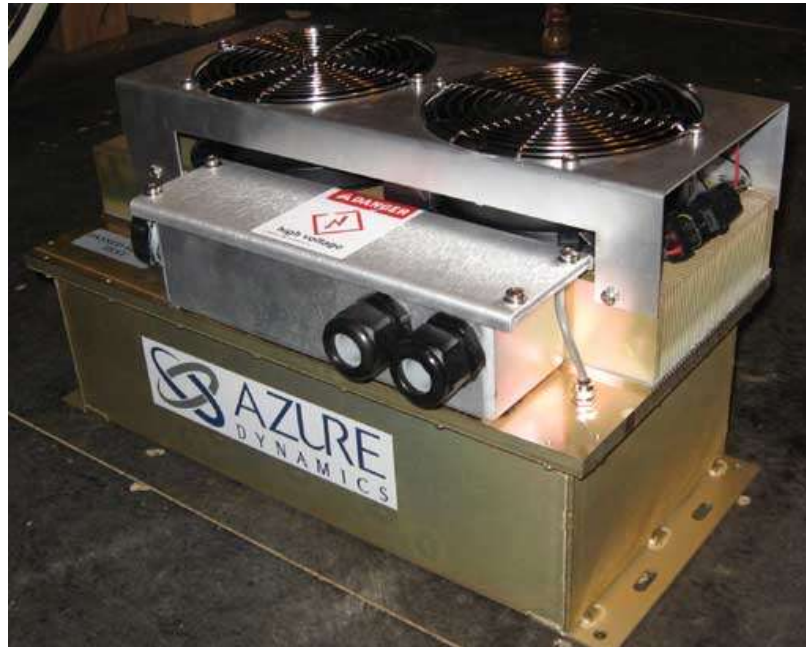


**Kuva 11: Michelin Active Wheel –napamoottori aktiivijousituksella.**  
/17/

Active Wheel –vanteen sisällä on kaksi erillistä moottoria. Kuvassa 11 näkyvä vasemmanpuoleinen moottori on auton liikkumiseen voimaa antava ajomoottori ja oikeanpuoleinen liikuttaa jousitusta ja kompensoi suurta jousittamatonta massaa. Oikeassa reunassa on perinteinen kierrejousi iskunvaimentimiseen, mutta oikeanpuoleisesta moottorista ylös ja alas lähtee moottorin liikuttama aktiivinen jousi. Vanteen kehällä näkyy jarrulevy ja vasemmassa reunassa jarrusatula. /17/

#### 4. INVERTTERIT

Sarjaan kytkettyjen akkujen jännite on yleensä huomattavasti suurempi mitä ajomoottorin käyttöjännite. Akuilta tuleva jännite muunnetaan ajomoottorille sopivaksi DC-DC muuntimen avulla. Tasajännite muunnetaan vaihtosähköä käyttäville moottoreille vaihtosuuntaajalla eli invertterillä. Invertteri pyritään sijoittamaan auton ohjausyksikköön tilan säästämiseksi ja johtojen induktanssien pienentämiseksi. /19/



**Kuva 12: Azure Dynamics DMOC445 digitaalisesti ohjattu invertteri**

Toisinaan ohjauselektronikka inverttereineen kuuluu moottorin vakiovarustukseen, kuten suomalaisessa eCorolla – sähköautomuunnoksessa. Tämän sähköauton moottorina on Azure Dynamicsin AC24LS –oikosulkumoottori /21/. Moottorin yhteydessä on DMOC445 –mallinen digitaalisesti ohjattu invertteri (kuva 12) /22/. Moottorin ohjaus tapahtuu kuljettajan antamien komentojen mukaan, jolloin ohjausjärjestelmä ohjaa invertterillä muodostettavan vaihtojännitteen taajuutta ja amplitudia, ja tällöin moottoria käytetään juuri halutulla tavalla /32/. Sopivasti mitoitettua moottoria voidaan kiihdytyksissä ja jyrkässä ylämäessä hetkellisesti ylikuormittaa jopa viisinkertaisesti riippuen akun tehosta ja invertteristä /19/.

## 5. OHJAUSJÄRJESTELMÄT

Ohjausyksikkö vastaa auton sähkötekniikan toiminnasta. Lyhytaikaisessa ajossa ohjausyksikkö voi käyttää moottorin maksimitehoa valvoen tarkasti moottorin lämpötilaa ja moottoriin syötettävää virtaa ja sen kestoaikaa. Moottoria on mahdollista hetkellisesti kiihdytyksessä ylikuormittaa jopa viisinkertaisesti riippuen akun tehosta ja invertteristä. /19/

Pidemmässä ajossa ohjausjärjestelmä valvoo moottorin lämpötilaa ja virrankulutusta, eikä tehonsäädin ei anna moottorin käyttää maksimitehoa moottorin lämpötilan liiallisen nousun ja akkujen pitemmän toiminta-ajan vuoksi. /9/



**Kuva 13: Elcat Cityvan 202 –elektroniikkalaatikko /29/**

Kuvassa 13 esiintyy Elcat Cityvan 202 –sähköauton elektroniikkalaatikko. Ohjausjärjestelmän lisäksi laatikkoon on integroitu sähkömekaanisia kytkimiä, eli kontaktoreita sekä ajoakkujen ja pienen 12 voltin akun varaajat. Auton kaasupolkimelta tulee vaijeri hakkurityyppiselle jännitteensäätäjälle. Tämä kontrolloi tasavirtamoottorille menevää jännitettä (0V - 72V). /18/

## 6. AKKUJÄRJESTELMÄT

Sähköautoissa käytettävät akut ovat tyypiltään pääasiassa nikkeli- tai litiumakkuja. Vanhemmissa sähköautoissa sekä sisäajoneuvoissa on totuttu käyttämään myös lyijyakkua. Eri akkutyypin ominaisuuksien takia niitä tarvitsee käytössä joko jäädyttää tai lämmittää. /9/



**Kuva 14: Sähköauton akustoa. /20/**

Akustolle kuuluu oma hallintajärjestelmänsä (kuva 15).

Hallintajärjestelmän pitää maksimoida akkujen käyttöikä ja optimoida akun purkamiset ja lataukset. Käytännössä se valvoo akkujen varausta ja lämpötilaa, sekä varauksen laskiessa säästää akkuja käyttämällä vähemmän moottorin tehoa. Lataustapoja on usein kaksi, sekä pikalataus, että hidas vakiolataus. Pikalatauksella akut saadaan nopeasti käyttökuntoon, mutta tämä on akkuja kuluttava toimenpide ja vaatii pikalatausaseman, koska normaali 16A pistorasiasta tuleva virta ei riitä siihen. Parhaaseen tulokseen päästään normaalilla vakiolatauksella, jossa akusto ladataan hitaasti ja siihen riittää tavallisen pistorasian antama virta. Tällöin akut kestävät joka ajolla pidempään ja niiden vaihtotarve harvenee. /23/





**Kuva 15: Lithium Balance BMS –akustonhallintajärjestelmä /23/**

## 6.1 Lyijyakut

Lyijyakku on tuttu bensiini- ja dieselautojen käynnistysakuista. Sähköautossa käytetään yleensä 3- tai 6-kennoista rakennetta, koska tällöin saavutetaan suurempi ominaisteho, kuin yksittäisillä kennoilla. Yhden kennon jännite on 2 V, joten kuudella kennolla saadaan aikaan 12 V akku. Sähköautoissa ei juuri ole käytetty tavallista nestemäistä elektrolyyttiä, koska tämä vaatii säännöllistä tislattua veden täyttöä kennoihin. Kiinteäelektrolyyttinen hyytelöakku on tällöin järkevämpi vaihtoehto. /9/

Lyijyakut ovat kuitenkin sähköautokäytössä hieman vaatimattomia. Toimintasäteet vaihtelevat vain sadan kilometrin molemmin puolin. Lämpötilan laskiessa lyijyakuista purettavissa oleva energiamäärä pienenee, joten varsinkin talviolosuhteissa akkuja joudutaan lämmittämään. Latausvaiheessa yleensä lataussähköstä saatava energia lämmittää akkua tarpeeksi. Lyijyakkujen kestoiksi on saavutettu sähköautokäytössä noin viiden vuoden tai 700 latauskerran käyttöikä. /9/

Lyijyakut sähköautokäytössä ovat yleensä syväpurkaustyyppisiä. Tavallista polttomoottoriauton käynnistysakkua saa vahingoittamatta purkaa noin 50%, mutta syväpurkausakkua voidaan purkaa huomattavasti enemmän, noin 80%. Syväpurkausakku onkin tästä syystä huomattavasti kalliimpi. Lyijyakun ongelmana on kuitenkin kapasiteetin romahtaminen suurella purkausvirralla. /26/



**Kuva 16: Elcat Cityvan 202 –sähköauton lyijylevyakusto /25/**

Suomalaisessa Elcat Cityvan 202 –sähköautossa (kuva 16) käytetään lyijyakkuja. Elcat on pieni pakettiauto, jossa tavaratilan lattiassa on 13 kpl lyijyakkuja. Koska lyijyakku kuitenkin on ominaisuuksiltaan melko vaatimaton, pitää edes 100 km toimintasäteen turvaamiseksi akuston olla massiivinen. Elcat:n akkujen kokonaisuudessa onkin jopa 416 kg, mikä on lähes kolmannes ajoneuvon omamassasta. Akkuvalinta on kuitenkin aina kompromissi hinnan ja ominaisuuksien kesken ja tässä autossa valinta on tehty hintaa silmälläpitäen. Tämä kuitenkin poistaa tavaratilasta suuren osan kuljetustilaa ja painavat akut myös auton massan ollessa suuri heikentävät auton suorituskykyä ja toimintasädettä. /18/

## 6.2 Nikkeliakut

Nikkeli-kadmium (NiCd) ja nikkeli-metallihybridi (NiMH) –akkuja käytetään yleisesti sähköautoissa. Koska kadmium on ympäristölle vaarallinen kemikaali, on akkukäytössäkin pyritty siirtymään NiMH-akkuihin (kuva 17), joissa kadmium on korvattu vedyllä. NiCd-akut ovat yleensä rakenteeltaan avoimia, jolloin ne vaativat nesteen lisäystä, kuten lyijyakut. NiMH-akut taas ovat aina suljettuja järjestelmiä ja siten täysin huoltovapaita. Nikkeliakkujen kennon jännite on vain 1,2 V, joten kennojen määrä on suurempi, mitä lyijyakulla. /9/

Nikkeliakun kestoikäsi on saavutettu jopa 10 vuotta tai 2000 latauskertaa, mikä on kestoalta huomattavasti parempi, kuin lyijyakulla. Vaikka nikkeliakun materiaalit ja valmistus tulevatkin kalliimmaksi mitä lyijyakulla, tarvitsee nikkeliakkuja uusia huomattavasti harvemmin. Nikkeliakut vaativat sähköautokäytössä jäähdytystä. Lämmitys on tarpeen erittäin kylmissä olosuhteissa, kuitenkin vasta lämpötilan laskiessa  $-20\text{ °C}$  alapuolelle. /9/



**Kuva 17: Vartan NiMH –sähköautoakku. /30/**

### 6.3 Litiumakut

Litiumakun kennossa on muita kennoja korkeampi n. 4 V jännite. Litiumakut ovat lyijy- ja nikkeliakkuja kalliimpia. Kustannuksia lisää entisestään jokaisen kennon varausta vahtiva elektroniikka, koska akkuja ei saa yliladata, eikä myöskään syväpurkaa. Huoltovapaalla, eli täysin suljetun rakenteen omaavalla litiumakulla on päästy erittäin hyviin tuloksiin niin kestoiän kuin hyötysuhteenkin puitteissa. Litiumakun purkausteho voi olla jopa 5 kertaa suurempi mitä samanpainoisella lyijyakulla, vaikka akkujen nimelliskapasiteetti olisikin lähes sama. Litiumakku on kallis, mutta suorituskykyinen ja kestävä vaihtoehto. Litiumakun käyttölämpötila on noin -10 °C - 50 °C, joten kylmällä säällä akkua joutuu lämmittämään ja ylikuumentuminen pitää estää jäähtytyksellä. /9/

Litiumioniakussa voidaan käyttää erilaisia anodirakenneyhdistelmiä. Li-ion (kuva 18) akut ovat ajoneuvokäytössä yleensä tyypeiltään litium-rautafosfaattiakkuja (LiFePO<sub>4</sub>). Uusia anodirakenneyhdistelmiä kehitetään koko ajan. Litiumioniakut eivät juuri purkaannu käyttämättömänä, mutta vuoden seisonnan jälkeen varaus on syytä tarkistaa ennen ajoonlähtöä. Litiumioniakkuja pidetään erittäin kestävinä, koska testien perusteella Li-Ion akuilla voi ajaa ainakin 200 000 kilometriä./9/



**Kuva 18: Vartan litium-ioni –sähköautoakku /31/**

Kotimaisen *Sähköautot – Nyt!* –hankkeen valmistava eCorollan prototyyppi käyttää litiumrautafosfaatti -akustoa. Autossa on 105 kpl 90 Ah  $\text{LiFePO}_4$ -akkuja joilla akuston kapasiteetiksi saadaan 30 kWh. /21/

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Auton kirjava historia siis on palaamassa vähitellen juurilleen, eli sähköautoista siirryttiin 1900-luvun alkupuolella polttomoottoriautoihin ja nyt lähes 100 vuotta myöhemmin ollaan palaamassa sähkökäyttöisiin autoihin.

Sähköautojen moottorivaihtoehdoissa on kaikissa hyviä ja huonoja puolia. Oikosulkumoottori on edullinen, kestävä ja yksinkertainen, mutta vääntömomentti ei ole yhtä hyvä mitä tasavirtamoottorilla, jossa taas ongelmalliseksi muodostuu huollon tarve ja kalliimpi rakenne. Aksiaalivuomoottori on rakenteeltaan kompakti ja siten soveltuu erittäin hyvin sähköautokäyttöön. Tämän moottorin hinta kuitenkin on vielä suurempi mitä oikosulkumoottorilla. Moottorityypistä riippumatta moottori voidaan asentaa joko perinteisesti moottoritilaan, mistä voimansiirto siirtää tehon pyörille tai suoraan pyörännapaan. Pyörännapaan suoraan asennettuja moottoreita voikin olla siten vaikka 4 kappaletta autossa, jolloin ne voivat olla koolta pieniä. Tällöin moottoritilaa voidaan käyttää vaikkapa akkujen säilytyspaikkana. Jokaisessa moottorityypissä on siis omat puolensa ja moottorivalinta on usein kompromissi esim. ominaisuuksien, muodon, koon ja hinnan kesken.

Akkutyypeistä lyijyakku on edullisin akkutyyppeistä. Lyijyakkuja käytettäessä usein joudutaan siirtymään niin suureen kapasiteettiin, että akkujen suuri paino ja tarvitsema tila ei ole autokäytössä käytännöllinen. Nikkeliakun kestoiksi on saavutettu huomattavasti parempia tuloksia, kuin lyijyakulla. Vaikka nikkeliakun materiaalit ja valmistus tulevatkin kalliimmaksi mitä lyijyakulla, tarvitsee nikkeliakkuja uusia huomattavasti harvemmin. Litiumakku on suorituskyvyltään, kestoaltaan ja purkausteholtaan paras akkutyyppeistä. Litiumakun kallis tekniikka kuitenkin nostaa auton kustannuksia huomattavasti.

Ohjausjärjestelmä on kuvainnollisesti määritellen auton aivot. Se säätelee akuilta tulevaa jännitettä moottorille kuhunkin tilanteeseen sopivaksi. Se myös valvoo moottorin ja akuston lämpötiloja sekä akkujen varausta ja näiden tietojen mukaan säätelee moottorin tehoa ja muuta auton toimintaa, kuten akkujen jäähdytysjärjestelmää.

Tämän työn tavoitteena oli tutkia sähköautojen pääkomponentit tällä hetkellä ja vertailla erilaisia ratkaisuja sähköautossa. Rajaus nykyaikaan tehtiin siksi, että kaikkia muutaman vuoden sisällä tulevia ratkaisuja ei ole esitelty kyllin laajasti ja niistä ei ole tarpeeksi tietoa saatavilla.

Tulevaisuudessa työtä on mahdollista jatkaa päivittämällä työhön uusia tulevia teknisiä ratkaisuja.



## LÄHTEET

1. Sähköauton historiaa. [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.sahkoautot.fi/wiki:historia>
2. General Motorsin EV1. [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.z-car.com/blog/wp-content/uploads/2008/07/ev1dwg1a1.jpg>
3. Uutinen sähköautojen sarjavalmistuksesta. [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: [http://auto.fi.msn.com/page.php?page\\_id=55&news\\_id=200903251](http://auto.fi.msn.com/page.php?page_id=55&news_id=200903251)
4. Sähköauto 1996-2003, Santeri Lanér. [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.voima.fi/content/view/full/1949>
5. Mitsubishi iMiEV –sähköauto pyrkii markkinoille, Reino Laukkanen [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.automerkit.fi/uutiset-trendit/uutiset/artikkelit/mitsubishi-i-miev-saehkoeauto-pyrkii-markkinoille.html>
6. Kuva Mitsubishi iMiEV:stä [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.automerkit.fi/typo3temp/pics/e41bbaf6a7.jpg>
7. Sähköautot tulossa, Timo Nurmela [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.automerkit.fi/uutiset-trendit/uutiset/artikkelit/saehkoeautot-tulossa-ympaeristoeystaevaellisyys-vahvasti-esillae-frankfurtin-autonaeyttelyssae.html>
8. Kuva Baker Electric –sähköautosta [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Baker\\_Electric\\_Coupe\\_1908.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Baker_Electric_Coupe_1908.jpg)
9. Robert Bosch GmbH, Autoteknillinen taskukirja. 6. painos, 2002. S. 640 - 641

10. Sähkömoottori, Lappeenrannan teknillinen yliopisto [www-sivu].  
[viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
[http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical\\_engineering/articles/electrical\\_motor/Sivut/Default.aspx](http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/articles/electrical_motor/Sivut/Default.aspx)
11. Kuva tasavirtamoottorin rakenteesta [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009].  
Saatavissa:  
[http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical\\_engineering/articles/electrical\\_motor/PublishingImages/tasavirtakone2.jpg](http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/articles/electrical_motor/PublishingImages/tasavirtakone2.jpg)
12. Aksiaalivuotekniikka [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://www.axcomotors.com/aksiaalivuomoottori/aksiaalivuotekniikka.html>
13. Axco-Motors integroi moottorin suoraan laitteeseen [www-sivu].  
[viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/metallitekniikka/article142359.ee>
14. Kuva yksipuolisen aksiaalivuomoottorin rakenteesta [www-sivu].  
[viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://www.axcomotors.com/kuvat/kestomagneettimoottori.gif>
15. Kuva kaksipuolisen aksiaalivuomoottorin rakenteesta [www-sivu].  
[viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://www.axcomotors.com/kuvat/kestomagneettitahtikone.gif>
16. Kuva AXCO-Motors 37 – 75 kW-sarjan aksiaalivuomoottorista [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
[http://www.axcomotors.com/kuvat/aksiaalivuo\\_moottori.jpg](http://www.axcomotors.com/kuvat/aksiaalivuo_moottori.jpg)
17. Michelin Active Wheel Press Kit [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009].  
Saatavissa:  
<http://www.michelin.com/corporate/actualites/en/document.DocumentRepositoryServlet?codeDocument=7735&codeRepository=MICHCORP&codeRubrique=salonauto2008>

18. Elcat –sähköautot [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://www.elcat.fi/cityvan.php>
19. Induktiokone ajoneuvossa [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009].  
Saatavissa:  
[http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2721200/IK\\_ajoneuvossa\\_MValjus.pdf](http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2721200/IK_ajoneuvossa_MValjus.pdf)
20. Kuva sähköauton akustosta [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009].  
Saatavissa:  
[http://www.tekniikkatalous.fi/multimedia/archive/00056/Akkuautoakku\\_56700a.jpg](http://www.tekniikkatalous.fi/multimedia/archive/00056/Akkuautoakku_56700a.jpg)
21. Sähköautot – Nyt!: eCorolla [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009].  
Saatavissa: <http://www.sahkoautot.fi/autot:sahkoeinen-toyota-corolla>
22. AC24LS Motor [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
[http://www.azuredynamics.com/products/force-drive/documents/AC24LS\\_DMOC445ProductSheet.pdf](http://www.azuredynamics.com/products/force-drive/documents/AC24LS_DMOC445ProductSheet.pdf)
23. Lithium Balance [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://www.lithiumbalance.com/technology.html>
24. Sähköautot – Nyt!: Usein kysytyjä kysymyksiä [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.sahkoautot.fi/faq>
25. Kuva Elcat Cityvan 202 -akustosta [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009].  
Saatavissa: <http://sites.google.com/site/reinourala/ElcatAkusto1.jpg>
26. Sähkövenemoottorit [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://sites.google.com/site/reinourala/sahkovenemoottorit>
27. Kuva Azure Dynamics AC24LS –oikosulkumoottorista [www-sivu].  
[viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://evalbum.com/img/2315/2315e.jpg>
28. Kuva Mitsubishi iMiEV:n moottorista [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://auto.pege.org/2007-iaa-2/permanentmagnet-synchronmotor.jpg>

29. Kuva Elcat Cityvan 202 –sähköauton elektroniikkalaaatikosta [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://yyrtti.com/evehicle/Image5.jpg>
30. Kuva Vartan NiMH –sähköautoakusta [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://the-grayline.com/wp-content/uploads/2008/11/nimh-battery.jpg>
31. Kuva Vartan Li-Ion –sähköautoakusta [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.metaefficient.com/wp-content/uploads/lithium-ion-accumulator-battery.jpg>
32. Tehoelektroniikka [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/99ad595c32e0c2d9c12566e1000a4540/c46d5509d325d21ac225695b002fb07b/\\$FILE/160\\_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/99ad595c32e0c2d9c12566e1000a4540/c46d5509d325d21ac225695b002fb07b/$FILE/160_0007.pdf)
33. Kuva Azure Dynamics DMOC445 –ohjausyksiköstä [www-sivu]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa:  
<http://www.zuglet.com/ev/saturn/images/controller.jpg>
34. Kuva napamoottorin rakenteesta [www-sivu] [viitattu 10.11.2009]  
Saatavissa: [http://jcwinnie.biz/wordpress/imageSnag/lancer\\_miev.PNG](http://jcwinnie.biz/wordpress/imageSnag/lancer_miev.PNG)
35. Kuva napamoottorista [www-sivu] [viitattu 10.11.2009] Saatavissa:  
[http://www.speedsportlife.com/photopost/data/675/thumbs/3833b\\_1.jpg](http://www.speedsportlife.com/photopost/data/675/thumbs/3833b_1.jpg)