

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja korjaamotekniikka

Pete Vuorela

Opinnäytetyö

SÄHKÖAUTON KONVERTOINTI JA JARRUENERGIAN TALTEEN OTTAMINEN

Opel Astra -sähköautokonversio

Työn ohjaaja Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi

Työn tilaaja Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampere 5/2010

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja korjaamotekniikka

Pete Vuorela Sähköauton konvertointi ja jarruenergian talteen ottaminen

Tutkintotyö 50 sivua

Työn ohjaaja Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi

toukokuu 2010

TIIVISTELMÄ

Kyseessä on sähköautokonversioprojekti, jossa tutkittiin onko mahdollista tehdä taloudellinen, toimintavarma ja käytännöllinen sähköauto konvertoimalla vanha polttomootoriauto sähköautoksi. Konversio on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun tutkimusprojektina.

Työn tarkoituksena oli perehtyä konvertointiin ja yhdistää projektin jäsenten tutkimustuloksia projektin eri osa-alueilta. Lisäksi tarkoituksena oli suunnitella jarruenergiaa talteenottava järjestelmä sähköautokonversioon.

Työssä vertailtiin eri voimanlähteillä toimivien ajoneuvojen ympäristöystävällisyyttä, taloudellisuutta, rakennetta ja muita ominaisuuksia. Lisäksi perehdyttiin konvertoinnin vaatimuksiin ja suunnitteluun sekä kerättiin yhteen tutkimustuloksia ja ratkaistiin niissä ilmenneitä ongelmakohtia ja ristiriitaisuuksia. Lopuksi suunniteltiin järjestelmä, jonka avulla on mahdollista kerätä jarruenergiaa talteen.

Projektin toteuttamista varten on haettua tietoa useasta eri lähteestä. Kirjallisten ja sähköisten lähteiden lisäksi on sovellettu tietoa Norjan Stavangerin sähköautokonferenssista, Sähköautot Nyt -hankkeesta sekä Metropolian ERA-projektista (Electric car Race About).

Tietojen avulla saatiin aikaan toteuttamiskelpoinen ratkaisu ja tuloksien pohjalta voidaan aloittaa auton konvertoiminen käytännössä. Lisäksi tuloksia voidaan kehittää konvertoinnin edetessä ja suunnitella uusia innovaatioita, joiden avulla voidaan lisätä esimerkiksi taloudellisuutta.

Avainsanat sähköauto, sähkömoottori, jarruenergia, akku, superkondensaattori

TAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automobile and Transport Engineering

Automobile and Off Road Vehicle Engineering

Pete Vuorela Electric car conversion and regenerative braking system

Engineering Thesis 50 pages

Thesis Supervisor Licentiate (Technology) Tauno Kulojärvi

May 2010

ABSTRACT

This is an electric car conversion project, which studies whether it is possible to make an economic, reliable and practical electric car by converting an old combustion engine car. The conversion has been performed as Tampere University of Applied Sciences research project.

The purpose of this thesis work was to learn the principles of conversion and combine the research results of the project team members. Another goal was to design a regenerative braking system.

This work compares the environmental-friendliness, economy, structure and other properties of the vehicles that use different power sources. It also learns the requirements and design of the conversion and brings together research results in order to solve the problems and conflicts in the process. In conclusion a system which stores the brake energy was designed.

Several different sources were used to implement this project. In addition to the written and electronic sources, some information has been applied from Norway, Stavanger Electric car conference, Sähköautot Nyt project and Metropolia ERA project (Electric car Race About).

By using the information collected during the project, a viable solution was achieved and through the results it is possible to start the construction of the electric car conversion in practice. By developing the results, new innovations which improve the economy may appear.

Keywords electric car, electric motor, brake-energy, battery, supercapacitor

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	5
2 SÄHKÖAUTOT	7
2.1 Sähköautotekniikka	7
2.1.1 Akustot ja lataus	8
2.1.2 Sähkömoottorit	12
2.1.3 Moottorinhajain ja elektroniikka	13
2.1.4 DC/DC-Muunnin	13
2.1.5 Oheislaitteet	14
2.2 Sähköauton ja polttomoottoriauton vertailu	14
2.2.1 Rakenne ja taloudellisuus	14
2.2.2 Ympäristöystävällisyys	15
2.2.3 Käyttö ja ominaisuudet	16
2.3 Sähköautojen kehitys	16
3 SÄHKÖAUTOKONVERSIO	18
3.1 Sähköautot – Nyt! – Hanke	18
3.2 Konvertoinnin suunnittelu ja vaativuus	19
3.3 Rakenne	20
4 TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULUN SÄHKÖAUTON KONVERTOINTI	22
4.1 Komponentit	23
4.2 Rakenne ja sijoittelu	29
4.3 Hyötysuhde	31
5 JARRUENERGIAN TALTEENOTTAMINEN	32
5.1 Energiavarastot	32
5.2 Toimintalogiikka	34
5.3 Järjestelmän ohjaus	36
5.4 Järjestelmän toiminta ja hyötysuhde	37
5.5 Energiämäärä ja painopiste	38
6 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Nykyään ajoneuvoteknologiassa ajankohtaisia asioita ovat taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys. Fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa huomattavan osan ympäristösaasteista ja sen vuoksi niiden kulutusta sekä niiden aiheuttamia päästöjä onkin ruvettu maailmanlaajuisesti rajoittamaan säädöksillä. Polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen aiheuttamia ympäristösaasteita vastaan on kehitelty erilaisia laitteita, joilla voidaan vähentää päästöjä ja noudattaa jatkuvasti kiristyviä päästörajoituksia. Tekniikan kehittyessä on saatu ajoneuvot kuluttamaan polttoainetta huomattavasti vähemmän, mikä lisää taloudellisuutta ja vähentää päästöjä. Päästövaatimukset kuitenkin kiristävät ajoneuvoteknologiaa koko ajan. Jossain vaiheessa pyritäänkin siirtymään ajoneuvoihin, jotka eivät aiheuta suoria päästöjä laisinkaan. Käytännössä on mahdollista, että sähköajoneuvot syrjäyttävät polttomoottorikäyttöiset ajoneuvot. Tällä hetkellä vallitseva hybridiajoneuvotekniikka näyttääkin olevan vain siirtymävaihe kohti kokonaan saasteettomia sähköajoneuvoja. Samalla saadaan myös moottorin melusaasteet kuriin ja vain rengasäänet jäävät varoittamaan jalankulkijoita lähestyvistä ajoneuvoista.

Sähköautojen yleistymisen esteenä on pitkään ollut akkutekniikan hidas kehitys. Viime aikoina on tapahtunut suurta edistystä tällä saralla, mikä mahdollistaa kustannustehokkaan sähköauton rakentamisen. Markkinoilla on jo osittain akkusähköllä toimivia ajoneuvoja, joissa niiden tarvitsema sähköenergia tuotetaan ajoneuvon omalla polttomoottorilla. Tällöin hyöty päästöjen ja kulutuksen kannalta on kuitenkin marginaalinen. Muutama pieni valmistaja aloittelee kokonaan sähkökäyttöisen ajoneuvon tuotantoa, mutta niiden ongelmana on erittäin kallis hinta ja sen vuoksi alhainen kysyntä. Sähköautojen hyöty ei kuitenkaan jää ainoastaan päästöjen poistumiseen, vaan se toimii energian kulutuksen kannalta huomattavasti paremmalla hyötysuhteella ja on myös rakenteeltaan yksinkertaisempi.

Tavalliselle autonkäyttäjälle sopivaa sähköautoa ei ole vielä markkinoilla, mutta niiden toteuttaminen on mahdollista muuttamalla vanhoja polttomoottorikäyttöisiä ajoneuvoja sähkökäyttöisiksi. Aihio on halpa ja kustannukset keskittyvät sähköautotekniikkaan, kun käytetään ajoneuvoa, joka on polttomoottoritekniikan osalta vaihtoiässä, mutta muutoin hyväkuntoinen.

Tämän työn tarkoituksena on Tampereen ammattikorkeakoulun sähköautokonversion suunnitelmien yhteensaattaminen ja taloudellisuuden kasvattaminen suunnittelemalla projektin ajoneuvoon soveltuva jarruenergiaa talteenottava järjestelmä. Järjestelmän tarkoituksena on kerätä ajoneuvon liike-energiaa talteen hidastettaessa ja näin kasvattaa kokonaishyötysuhdetta.

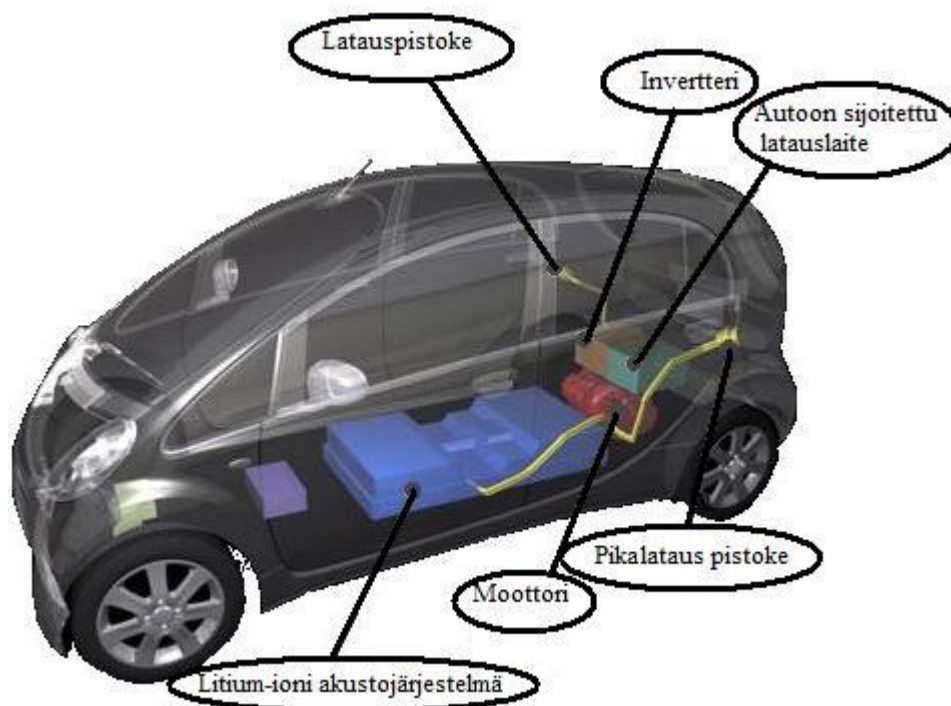
2 SÄHKÖAUTOT

Sähköauto on ajoneuvo, joka liikkuu sähköön voimalla. Käytännössä voimanlähteenä toimii sähkömoottori ja käyttövoima eli sähköenergia on varastoitu akkuihin. Sähköauton sähköenergia ladataan akkuihin yleisimmin verkkovirrasta laturin avulla. Polttomoottoriautoon verrattuna sähköauto on hyötysuhteeltaan ja taloudellisuudeltaan parempi, eikä se aiheuta välittömiä päästöjä laisinkaan. Sähköauto on myös rakenteeltaan polttomoottoriautoa yksinkertaisempi, mikä vähentää sen huollontarvetta. Lisäksi sähköauton käyttömukavuutta lisää sen hiljainen ääni. /4/

Akkutekniikan hidas kehittyminen on kuitenkin pitkään ollut esteenä sähköautojen yleistymiselle. Siksi onkin kehitetty hybridautoja, joissa on tavallisesti kaksi voimanlähdettä. Nykypäivän hybridautoissa voimanlähteinä toimivat normaalisti sähkö- ja otomoottori, mutta lähitulevaisuudessa myös diesel- ja sähkömoottorin hybridautot yleistyvät. ”Plug-in”-hybridautojen akkuja voidaan ladata verkkovirrasta laturin avulla. Jotkut hybridautot on tehty siten, että niitä ei voida ladata verkosta laisinkaan. Tällöin niiden ainoa energianlähde on bensiini tai diesel, jolloin akkuihin varastoitu energia on tuotettu polttomoottorilla. /4; 5/

2.1 Sähköautotekniikka

Polttomoottoriauton tekniikasta suurta osaa voidaan käyttää myös sähköautoissa, sillä nykyisin monet auton toimilaitteet ovat sähkökäyttöisiä, jolloin ne toimivat suoraan myös sähköautoissa. Sähköauton tekniikka eroakin polttomoottoriauton tekniikasta suurimmaksi osaksi moottorin, akuston, kontrollerin eli moottorinohjaimen sekä laturin ja muutamien pienempien osien osalta, mikä tekee konvertoinnista melko helppoa. Kuviossa 1 on esitetty sähköauton tärkeimpiä komponentteja ja niiden mahdollista sijoittelua. /20; 21/



Kuvio 1. Sähköauton osat /51/

2.1.1 Akustot ja lataus

Akku toimii energiavarastona eli se pystyy varastoimaan sähköenergiaa. Akkua voidaan ladata ulkoisesta tehonlähteestä purkausvirtaan nähden vastakkaisella virralla. Akku ottaa vastaan sähköenergiaa, jonka se varastoi kemialliseksi energiaksi. Purkautuessaan akku muuttaa kemiallisen energian takaisin sähköenergiaksi. Akut toimivat sähköparin periaatteella. Anodin ja katodin välillä tapahtuu sähkökemiallisia reaktioita elektrolyytin mahdollistamana. Elektrolyytinä toimii aine, joka pystyy tuottamaan vesiliuokseen ioneja mahdollistaen liuoksen sähköjohtavuuden. Akkujen perusominaisuuksia ovat nimellisenergia, energiatiheys, nimellisjännite, itsepurkautuvuus ja hyötysuhde sekä paino, tilavuus ja kestoikä. /27; 28; 29/

Sähköautoissa akusto toimii energiavarastona samoin kuin polttomoottoriautossa polttoainetankki. Akustot ovat varsin painavia ja vievät paljon tilaa verrattuna niiden kapasiteettiin varastoida sähköenergiaa. Esimerkiksi bensiinin energiatiheys massayksikköä kohden on noin 70 kertaa isompi kuin litium-ioni-akun. Sähköautokäytössä akkujen suhteellisen lyhyt käyttöikä ja kallis hinta kasvattavat hankinta- ja ylläpitokustannuksia huomattavasti. Myös pitkät latausajat ovat ongelmana. Tällä hetkellä sähköautoissa käy-

tetään useimmiten lyijy- ja litium-teknologiaan perustuvia akkuja. Ajoneuvokäytössä akkupaketti koostuu normaalisti useasta pienemmästä akkukennosta, joita on yhdistetty sarja- ja rinnankytkennöillä toisiinsa jännitteen ja kapasiteetin kasvattamiseksi. Litium on luonnostaan epävaka aine, jonka vuoksi litiumtekniikkaan perustuvia akkuja onkin pidetty vaarallisina. Tästä syystä litiumioniakkupaketti sähköautossa vaatii varsin kattavan akkujenhallinta järjestelmän, jonka ansiosta akustot ovat nykyään turvallisia ja vaarallisia. /4; 6; 11; 12; 13; 34/

Lyijyhappoakussa ja lyijyakussa elektrodit ovat lyijyä (Pb). Elektrolyyttinä niissä toimii rikkihappoliuos (H_2SO_4). Lyijyakku ja lyijyhappoakku ovat edullisia ja luotettavia. Niillä on suuri tehotiheys, mutta käyttöikä on lyhyt ja pakkasenkestävyys huono. Lisäksi niillä on pieni energiatiheys ja itsepurkaus on suhteellisen voimakasta verrattuna muihin akkuihin. Kuviossa 2 on esitetty kuva lyijyakusta. /24; 25; 26/



Kuvio 2. Lyijyakku /47/

Litium-ioniakku eli Li-ion-akku on kapasiteetiltaan painoon suhteutettuna muita akkuja tehokkaampi. Siksi siitä onkin tullut suosittu muun muassa matkapuhelimissa ja kannettavissa tietokoneissa. Litium on metalleista kevyin. Lisäksi sillä on suurin sähkökemiallinen jännite eli myös suurin energiatiheys. Li-ion-akuissa negatiivinen elektrodi eli anodi on valmistettu grafiitista ja positiivinen elektrodi eli katodi litiumoksidista tai jostain muusta hiilipohjaisesta aineesta. Litiumakkutekniikkaan perustuen on kehitelty useita muita akkuja, joilla on tavoiteltu parempia ominaisuuksia. 1980-luvulla kehitettiin ensimmäisiä litiumionitekniikkaan perustuvia akkuja, mutta ne olivat varsin vaaral-

lisiä. Sen jälkeen on kehitetty vakaampia ja turvallisempia akkuja, Sony toi ensimmäisenä Li-ion-akun markkinoille vuonna 1991. Li-ion-akun itsepurkaus on myös varsin alhainen. /26; 30; 24; 32/

Kuviossa 3 on kuvattu Thundersky-merkkistä akkukennoa, jossa on mukana myös kennokohtainen BMS-piiri. Sähköautokäytössä nykyajan akustot tarvitsevat akkujen hallintajärjestelmän (BMS eli Battery Management System) suojelemaan akkuja haittavaikutuksilta ja pitämään kennojen toiminta vakaana turvallisuuden takaamiseksi. Järjestelmän tarkoituksena on ladattaessa ja purettaessa estää ylivirtakuormitusta, ylijännitettä, oikosulkua ja liian korkeaa lämpötilaa. Järjestelmässä jokaista kennoa hoitaa oma mikroprosessori ja mikroprosessorit ovat yhteydessä keskenään. Ne tasaavat kennojen virta- ja jännitepiikkejä. Lisäksi ne informoivat ohjausyksiköä akkujen tilasta. BMS voi myös huolehtia akuston toimintavalmiudesta ja lisätä sen elinikää vakauttamalla sen toimintaa. /7; 37/



Kuvio 3. ThunderSky LiFePo-akkukenno BMS-järjestelmällä /48/

Kaikki akuilla varustetut sähköautot tarvitsevat latausjärjestelmän, jonka kehittämisessä pyritään mahdollisimman nopeaan lataukseen sekä latausprosessin kontrolloimiseen akkujen vaurioitumisen välttämiseksi. Latausaika on kuitenkin yleinen ongelma sähköautoissa, sillä se saattaa kestää muutamista tunneista jopa kymmeneen tuntiin. Latausajan pituus riippuu pääasiassa akuston energiamäärästä, energiatilheydestä, laturin syöttämästä jännitteestä ja virrasta sekä akuston kyvystä vastaanottaa energiaa. Pikalataus suurella virralla tai jännitteellä kuormittaa akkuja huomattavasti ja lyhentää niiden elinikää.

Käytännössä lataus onkin järkevintä suorittaa yöllä hitaammin, pienemmällä virralla tai jännitteellä.

Sähköautojen lataustekniikka kehittyi nopeasti ja odotettavissa onkin latausaikojen lyhenemistä ja sen seurauksena infrastruktuuria sähköautojen lataukseen. Laturit ovat kehittyneet 90-luvun alun muuntajapohjaisista latureista nykyisiin hakkuritoimisiin, tehokkaisiin ja tarkkoihin latureihin. Laturit säätävät tarkasti akun purkaustilan ja kunnon mukaan optimaaliseksi. Laturi voi ladata vakiojännitteellä, vakiovirralla tai niiden yhdistelmällä. Vakiojännitteellä ladattaessa laturi syöttää suurella virralla, silloin kun akku on melko tyhjä. Akun täytyessä laturi alkaa syöttämään pienempää virtaa. Vakiovirralla ladattaessa jännite kasvaa latauksen edetessä, jolloin akku on täynnä jännitteen saavuttaessa asetettu raja. Yhdistelmälatauksessa ladataan ensin korkealla vakiovirralla, kunnes jännite saavuttaa asetetun rajan. Tämän jälkeen lataus jatkuu vakiojännitteellä, kunnes akku on täynnä. /7; 14; 33; 36/

Sähköauton latausjärjestelmä voi olla autoon integroitu (Onboard), jolloin ulkopuolelta tarvitaan vain virtaa suoraan verkosta ja auton voi ladata melkein missä vain. Latausjärjestelmä voi myös olla asennettu tiettyyn paikkaan, kuten kuviossa 4 esitetty Helsingin Kampissa sijaitseva sähköauton latauspiste. Tällöin auto täytyy ladata aina kyseisessä paikassa, mutta latausjärjestelmä ei kasvata auton painoa eikä vie ylimääräistä tilaa autossa. /36/



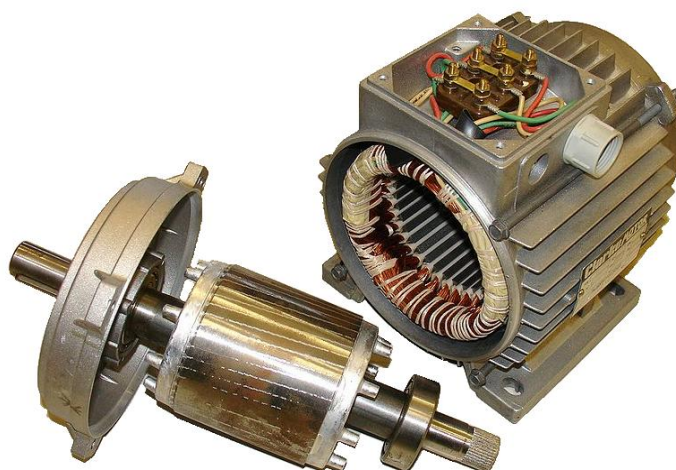
Kuvio 4. Helsingin energian sähköauton latauspiste Helsingin Kampissa /49/

2.1.2 Sähkömoottorit

Sähkömoottori muuntaa sähköisen energian mekaaniseksi energiaksi. Sähkömoottorin perusominaisuuksia ovat teho, vääntömomentti ja hyötysuhde.

Sähköauton moottoreina käytetään normaalisti tasavirta (DC)- tai vaihtovirtamoottoreita (AC). DC-moottori on ollut niistä yleisimmin käytetty, sillä sen säätäminen jännitettä ja virtaa muuttamalla on helppoa. Vaihtovirtamoottori on nykyään syrjäyttänyt tasavirtamoottorin ajoneuvokäytössä, koska sen säätötekniikka on kehittynyt nopeasti ja se on tehopaino-hyötysuhteeltaan parempi. AC-moottorin suuren vääntömomentin ja laajan tehollisen kierrosalueen vuoksi se ei tarvitse vaihteistoa lainkaan, jolloin ajoneuvon käytöstä tulee helpompaa ja vaivattomampaa. Vaihteiston sijaan saatetaan tarvita alenusvaihte, mutta vaihteiston pois jääminen yksinkertaistaa ja keventää rakennetta sekä vähentää huollon tarvetta. DC-moottori vaatii enemmän huoltoa ja erillisen puhaltimen jäähdytyksen sekä mahdollisten hiiliharjojen vuoksi. /8; 4; 17/

DC-moottorissa on kolme pääkomponenttia: kelat, roottori ja kommutaattori. Kelat luovat magneettikentän, joka tuottaa vääntömomenttia. Roottori eli ankkuri on laakeroitu kuoreen siten, että se pääsee pyörimään kentän sisällä. Kommutaattori kääntää magneettikenttää siten, että se saa roottorin pyörimään. AC-moottorissa on myös kelojen muodostama kenttä sekä roottori, mutta vaihtovirran ansiosta kommutaattori ei ole tarpeellinen. Sähkömoottoreissa on siis vain yksi liikkuva osa, jolloin rakenne on yksinkertainen ja huollontarve pieni. Kuviossa 5 on esitetty kahteen osaan purettu vaihtosähkömoottori. /17; 34; 8/



Kuvio 5. Vaihtosähkömoottori purettuna kahteen osaan /50/

2.1.3 Moottorinohjain ja elektroniikka

Sähköautoissa käytetään erillistä ohjainta ohjaamaan sähkömoottoria halutun nopeuden ja kiihtyvyyden saavuttamiseksi. Lisäksi tarvitaan erillinen esimerkiksi mikrokontrolleri-ohjattu emolevy, joka on ohjelmoitu kommunikaatioon moottorinohjaimen, akustohallintaohjaimen (BMS) ja auton oman CAN-väyläjärjestelmän välille. Moottorinohjain pystyy vaihtamaan moottorin pyörimissuuntaa, mikä tekeekin peruuttamisen helpoksi. Oikeanlaisella ohjaimella pystytään myös muuttamaan sähkömoottori generaattoriksi, mikä mahdollistaa liike-energian talteenottamisen jarrutuksien yhteydessä. /9; 17/

AC-moottorissa käytettävää moottorinohjainta kutsutaan teollisuudessa taajuusmuuttajaksi. Taajuusmuuttajalla voidaan säätää moottorin ominaisuuksia sille syötettävän vaihtojännitteen taajuutta ja geometriaa säätämällä. DC-moottoreissa ohjaimena toimii säädin, joka pilkkoo jännitettä. Moottorille syötettävää jännitettä pilkkomalla pystytään säätämään moottorin kierroslukua ja siten saavuttaa haluttuja ominaisuuksia. Vaihtovirtamoottorilla toimivissa sähköautoissa moottorinohjain tulkitsee ohjainyksikön lähettämiä komentosignaaleja ja säätelee sen mukaan moottorille menevää ja sieltä tulevaa virtaa. Kiihdyttäessä ohjain syöttää virtaa akuista moottorille ja jarrutettaessa voidaan inertia siirtää vetoakseleiden välityksellä pyörivistä renkaista laturina toimivalle AC-moottorille, josta moottorinohjain ohjaa energiaa sähkövarastoon. /15; 16; 17/

2.1.4 DC/DC-Muunnin

Sähköautokäytössä DC/DC-muunnin on pieni ja kevyt komponentti, jolla muunnetaan pääakkuihin varattua korkeajännitteistä energiaa sopivaksi pieneen 12 voltin akkuun. Tämä 12-volttinen akku toimii virtalähteenä kaikille auton perinteisille sähköä tarvitseville oheislaitteille. /18; 35/

2.1.5 Oheislaitteet

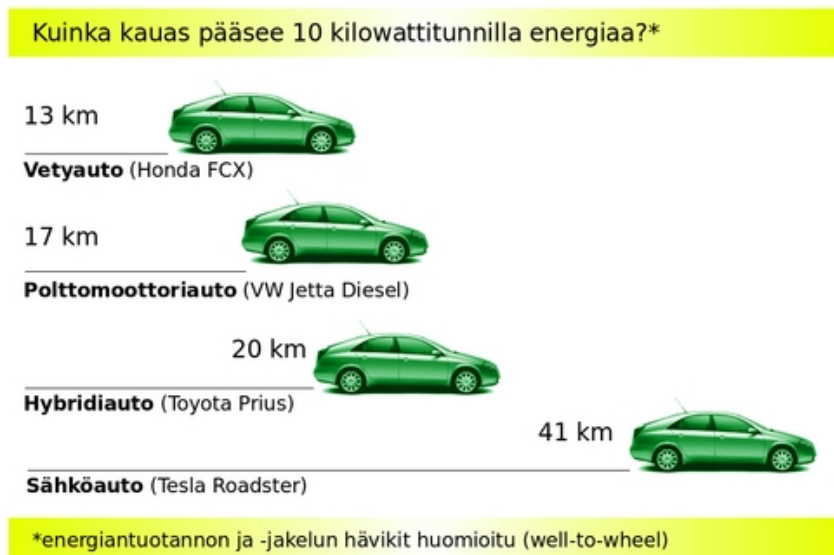
Polttomoottoriautossa alipaine saadaan imusarjasta, mutta sähköautossa tarvitaan erillinen alipainepumppu normaalien hydraulisten jarrujen tehostinta varten. Alipainepumppu voi olla hihnavetoinen, mutta yksinkertaisempi vaihtoehto olisi sähköinen ratkaisu. Sähköauto tarvitsee myös erillisen sisätilan lämmittimen, sillä sähköauton moottori ei tuota tarpeellista määrää hukkalämpöä sisätilan lämmittämistä varten. Lämmityksen voi hoitaa helposti polttoainekäyttöisellä lisälämmittimellä, mutta silloin ympäristöystävällisyys kärsii eikä auto olekaan vapaa suorista päästöistä. Myös sähkövastus olisi yksinkertainen vaihtoehto, mutta se vähentää hyötysuhdetta ja pienentää toimintasädettä. Toisaalta kuumissa ilmasto-olosuhteissa voidaan tarvita ilmastointia, mikä sekkin lisää energiankulutusta. Sähköauto tarvitsee myös ohjaustehostimen. Nykyään joissakin polttomoottoriautoissa käytetään valmiiksi sähköistä ohjaustehostinta, mutta useimmiten se on hihnakäyttöinen. Sähköautossa rakenteen yksinkertaistamisen vuoksi sähköinen ohjaustehostin olisi järkevämpi.

2.2 Sähköauton ja polttomoottoriauton vertailu

Sähköautoissa ja polttomoottoriautoissa on rakenteellisia eroja, mutta suurimmat erot ovat päästöissä ja taloudellisuudessa. Käyttämisesssä ja ominaisuuksissa on myös eroja.

2.2.1 Rakenne ja taloudellisuus

Sähköauton kokonaishyötysuhde on yli 70 %, kun taas polttomoottorikäyttöisellä autolla se jää yleensä alle 30 %. Dieselin hyötysuhde voi kuitenkin olla jopa 45 %. Sähköauton korkean hyötysuhteen ansiosta sen energiakustannukset ovat selvästi halvemmat kuin polttomoottoriauton. Sähköauton huoltokustannukset ja huollontarve ovat huomattavasti vähäisemmät sen yksinkertaisen rakenteen ansiosta. Ainoastaan akkujen suhteellisen lyhyt käyttöikä lisää kustannuksia, akustot täytyy uusia noin 1–4 vuoden välein ja niiden hinnat ovat korkealla. Sähkö on myös suhteessa bensiiniä halvempaa. Kuviossa 6 on esitetty vertailu eri käyttövoimilla toimivien ajoneuvojen energiatehokkuudesta. /2; 3; 4; 10/



Kuvio 6. Energiatehokkuusvertailu eri käyttövoimilla toimivista autoista /3/

2.2.2 Ympäristöystävällisyys

Kasvihuonekaasuista hiilidioksidi (CO₂) kuuluu pahimpien joukkoon ja maailmanlaajuisesti näistä päästöistä yli viidesosa aiheutuu tieliikenteen päästöistä. Sähköauto ei aiheuta suoria päästöjä laisinkaan. Sähköautolla voi ajaa täysin päästöttömästi, jos käyttää uusiutuvista energialähteistä tuotettua sähköä. Suomessa kuluttaja voi ostaa esimerkiksi ”norppasähköä”, joka on tuotettu uusiutuvista energialähteistä. /31; 39/

Yhdysvaltain ”National Research Councilin” raportin mukaan sähköautot eivät ole kokonaisuudessaan merkittävästi puhtaampia kuin fossiilisia polttoaineita käyttävät autot. Tutkimuksessa on otettu huomioon suorien päästöjen lisäksi energiantuotannon ja kulutuksen aiheuttamia kustannuksia terveyden ja ympäristön kannalta. Raportin mukaan energia tulisi tuottaa uusiutuvista energialähteistä, että sähköauto olisi todella polttomoottoriautoa ympäristöystävällisempi. Raportissa arvioidaan sähköauton valmistusprosessin aiheuttavan noin 20 % suuremmat ympäristö- ja terveyshaitat verrattuna perinteisiin autoihin. Sähköautojen valmistusprosessin tulisi kehittyä tehokkaammaksi ympäristöystävällisyyttä ajatellen, sillä esimerkiksi sähköautojen akkujen valmistus vaatii suhteellisen paljon energiaa. Ympäristöystävällisempää ja halvempaa onkin konvertoida polttomoottoritekniikan osalta vaihtoiässä olevia, muuten hyväkuntoisia autoja sähköautoiksi. /38/

Sähköautoilu auttaa vähentämään kaupunkien ilmansaasteita, joista suurin osa on peräisin autoista. Suurimpana ongelmana ovat pienhiukkaset, jotka aiheuttavat syöpää ja hengityselinsairauksia. Myös polttomoottoriautoissa käytettävä öljy aiheuttaa monenlaisia ongelmia, kuten sen kuljetuksen aikana tapahtuvat katastrofit, öljyvarojen ehtymisestä aiheutuvat ongelmat sekä öljysodat. Lisäksi Suomi on jatkuvasti täysin riippuvainen tuontienergiasta eli öljystä. /61/

2.2.3 Käyttö ja ominaisuudet

Sähköauton käyttömukavuus on monessa mielessä polttomoottoriautoa parempi, sillä monissa sähköautoissa ei tarvitse vaihdella vaihteita eikä moottori pidä ääntä juuri lainkaan. Sähköauton hyvä vääntömomentti heti nolla-kierrosluvusta lähtien lisää mukavuutta kaupunkiajossa huomattavasti, kun pysähdyksiä ja liikkeellelähtöjä on paljon. Sähköauton suorituskyky riippuu lähinnä moottorin tehosta ja toimintasäde akuston energiasisällöstä. Polttomoottorin kanssa samantehoinen sähkömoottori kykenee vähintään yhtä hyvään suorituskykyyn ja nykyiseen litiumtekniikkaan perustuvilla akuilla ajomatka voi olla jopa 400–500 kilometriä. Suomalaisten keskimääräinen työmatka on vain noin 16 kilometriä ja päivittäinen ajomatka noin 50 kilometriä, joten paljon pienempikin akusto olisi riittävä tavalliselle suomalaiselle autonkäyttäjälle. /4/

2.3 Sähköautojen kehitys

Sähköauto on polttomoottoriautoa vanhempi keksintö. William Morrison kehitti vuonna 1891 ensimmäisen todellisen sähköauton, joka perustui lyijyakkutekniikkaan. Vielä 1900-luvun alussa sähköautot olivat polttomoottoriautoja suositumpia. Vuonna 1908 Ford T-mallia alettiin valmistaa massatuotantona ja hinnaltaan edullisemmasta polttomoottoriautosta tuli kansan suosikki. Vuonna 1913 Cadillac kehitti starttimoottorin, joka helpotti auton käynnistämistä ja lisäsi polttomoottoriauton suosiota. Polttomoottoriautot syrjäyttivät sähköautot hiljalleen vuoteen 1930 mennessä, jolloin sähköautojen valmistus lopetettiin lähes kokonaan. /4; 19/

Polttomoottoriauton suurin etu sähköautoon nähden on se, että sen tankkiin saadaan varastoitua huomattavasti isompi energiamäärä kuin sähköauton akkuihin. Tankkaus on

myös paljon nopeampaa kuin akkujen lataus. Näiden syiden takia polttomoottoriautot ovat hallinneet markkinoita pitkään. 2000-luvulla ympäristöajattelu on saanut suuresti huomiota ja sähköautotekniikan kehitys on kiihtynyt valtavasti. Nykyään markkinoilla onkin jo jonkin verran sähköautoja ja niiden suosio kasvaa koko ajan. Tulevaisuudessa sähköautojen yleistymiseen vaikuttaa lähinnä akkuteknologian kehittyminen ja lataamisen infrastruktuurin laajentuminen. Kuviossa 7 on esitetty markkinoilla oleva Tesla Roadster -sähköauto. /4/



Kuvio 7. Markkinoilla oleva 2-paikkainen urheilusähköauto Tesla Roadster /62/

3 SÄHKÖAUTOKONVERSIO

Sähköauton konvertoinnissa perinteisestä polttomoottoriautosta korvataan polttomoottorikäytön osat sähkökäytön osilla. Autosta poistetaan normaalisti polttomoottori, laturi, käynnistinmoottori, pakoputki, polttoainetankki, mekaaniset pumput, lyijyakku sekä näihin kuuluvia johtoja, letkuja, putkia ja hihnoja. Akusto, sähkömoottori, moottorinohjain, DC/DC- muunnin/muuntimet, lämmitin, alipainepumppu, sähköinen ohjaustehostin, sähköinen alipainepumppu, sähköjohdot sekä muutama muu pienempi osa korvaavat poistetut osat. Joissakin ajoneuvoissa on valmiiksi sähköinen ohjaustehostin, jolloin sitä ei tarvitse korvata. /2/

3.1 Sähköautot – Nyt! – Hanke

Suomessa on tehty useita konversioita harrastaja piireissä, joista yksi on yhteisöllinen Sähköautot-Nyt -hanke, joka on saanut paljon julkisuutta. Hankkeen tarkoituksena on rakentaa sähköauto normaalien kansalaisten ulottuville eli käytännössä konvertoida muutaman vuoden vanha polttomoottoriauto sähköautoksi kohtuullisilla kustannuksilla. Projektissa konvertoitu e-corolla on saatu valmiiksi ja sen ominaisuuksien tutkiminen jatkuu edelleen. Sähköautot-Nyt -projektin johtohenkilöt ovat ottaneet tilauksia vastaan ja heidän tarkoituksena on konvertoida aluksi 500 sähköautoa kansalaisten käyttöön. Kuviossa 8 on Sähköautot-Nyt -hankkeen konversio. /40/



Kuvio 8. Sähköautot Nyt-hankkeen e-corolla sähköautokonversio /40/

3.2 Konvertoinnin suunnittelu ja vaativuus

Sähköautokonversiota rakennettaessa on otettava huomioon monia seikkoja. On noudatettava määräyksiä ja direktiivejä sekä täytettävä autolta vaadittavat ominaisuudet. Ajoneuvoa suunniteltaessa täytyy sen ominaisuuksille asettaa kehitykseen tähtäviä, mutta realistisia tavoitteita, jotka liittyvät esimerkiksi ajomatkan pituuteen yhdellä latauksella, ajoneuvon kantavuuteen, huippunopeuteen ja kiihtyvyyteen. /63/

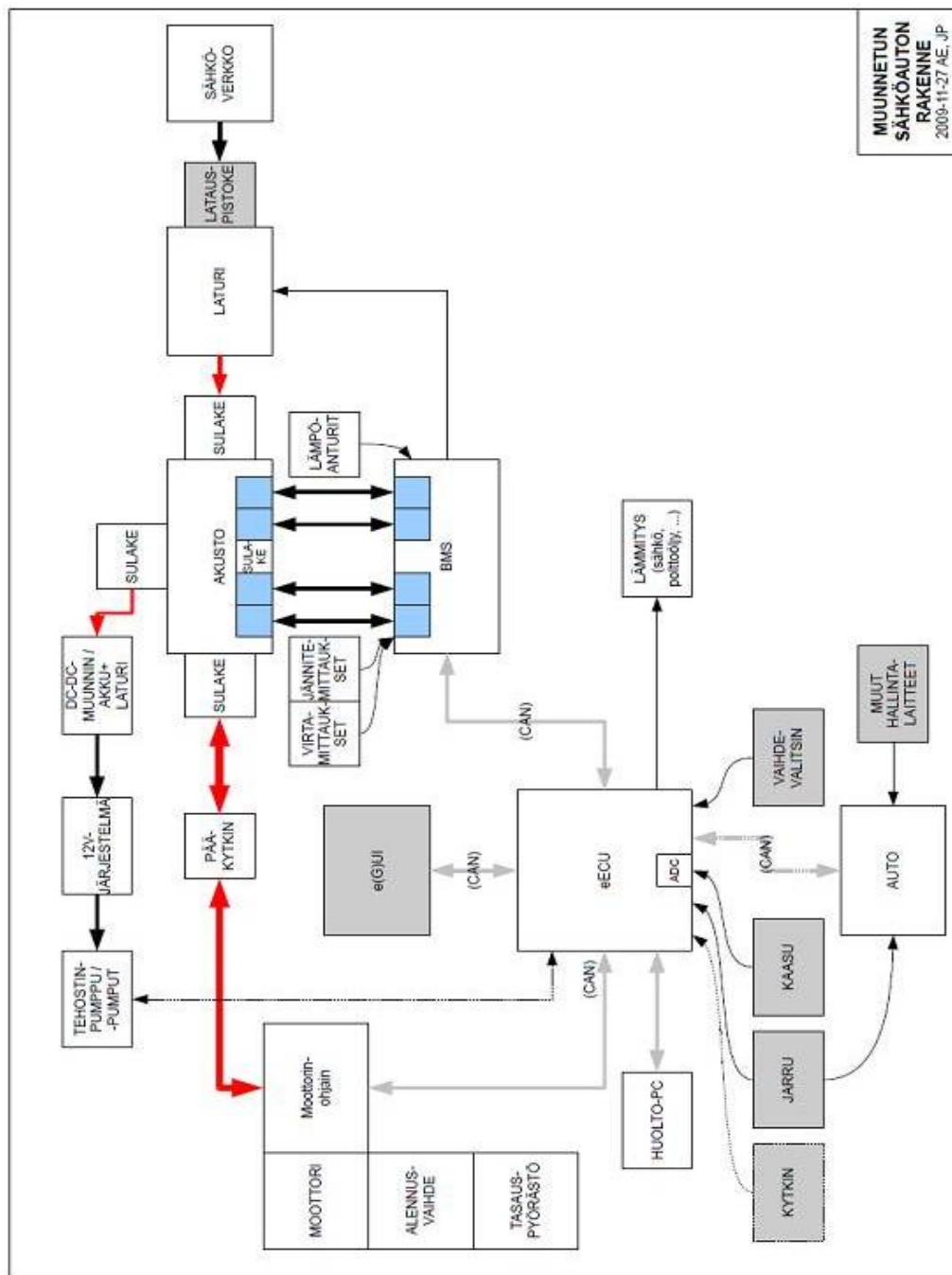
Auton rekisteröintiin liittyvissä asioissa täytyy ottaa huomioon muun muassa vaihdettujen osien määrä. Mikäli kanta-auton osista vähintään 50 % on vaihdettu, joudutaan autolle hankkimaan yksittäishyväksyntä. Jos vaihdettujen osien määrä jää alle 50 %, voidaan suorittaa muutoskatsastus. Auton sähkökomponenttien täytyy täyttää EMC (sähkömagneettinen yhteensopivuus)-vaatimukset. Konvertoinnissa on syytä huomata, että käytettävien raaka-aineiden täytyy olla hyväksytyjä EU-maissa. Esimerkiksi akkujen valmistuksessa saatetaan käyttää raaka-aineita, jotka eivät ole sallittuja EU-alueella. Sähkö-, palo- ja räjähdysturvallisuus on myös erittäin tärkeää sähköauton konvertoinnissa. Akuston ollessa erittäin vaarallinen kolaritilanteissa, sen sijoitus kannattaakin miettiä huolella ja rakentaa sille turvallinen kotelointi. /64/

Käyttölämpötilat, värinät, kosteus ja epäpuhtaudet saattavat myös aiheuttaa ongelmia laitteiden toiminnassa. Komponentit täytyy eristää hyvin, muistaen silti huolehtia riittävästä jäähtymisestä ja ilmanvaihdosta sekä värinän vaimennuksesta. Taloudellisuus, huollettavuus, kestävyys, luotettavuus, komponenttien sijoittelu, kantavuus ja monia muita vähäisempiä vaatimuksia täytyy suunnitella tarkasti mahdollisten ongelmien välttämiseksi. /65; 66/

Kustannuskysymyksissä myös verotus on syytä ottaa huomioon, sillä Suomen lain mukaan vain bensiiniautot ovat vapaita käyttövoimaverosta. Vanha dieselvero on muuttunut käyttövoimaveroksi ja sitä peritään myös sähköautoista. Sähköautot Nyt - hankkeen jäsenet ovat aktiivisesti vastustaneet käyttövoimaveron kantoa sähköautoissa. Mahdollisesti tulevaisuudessa se tulee poistumaan sähköautoista.

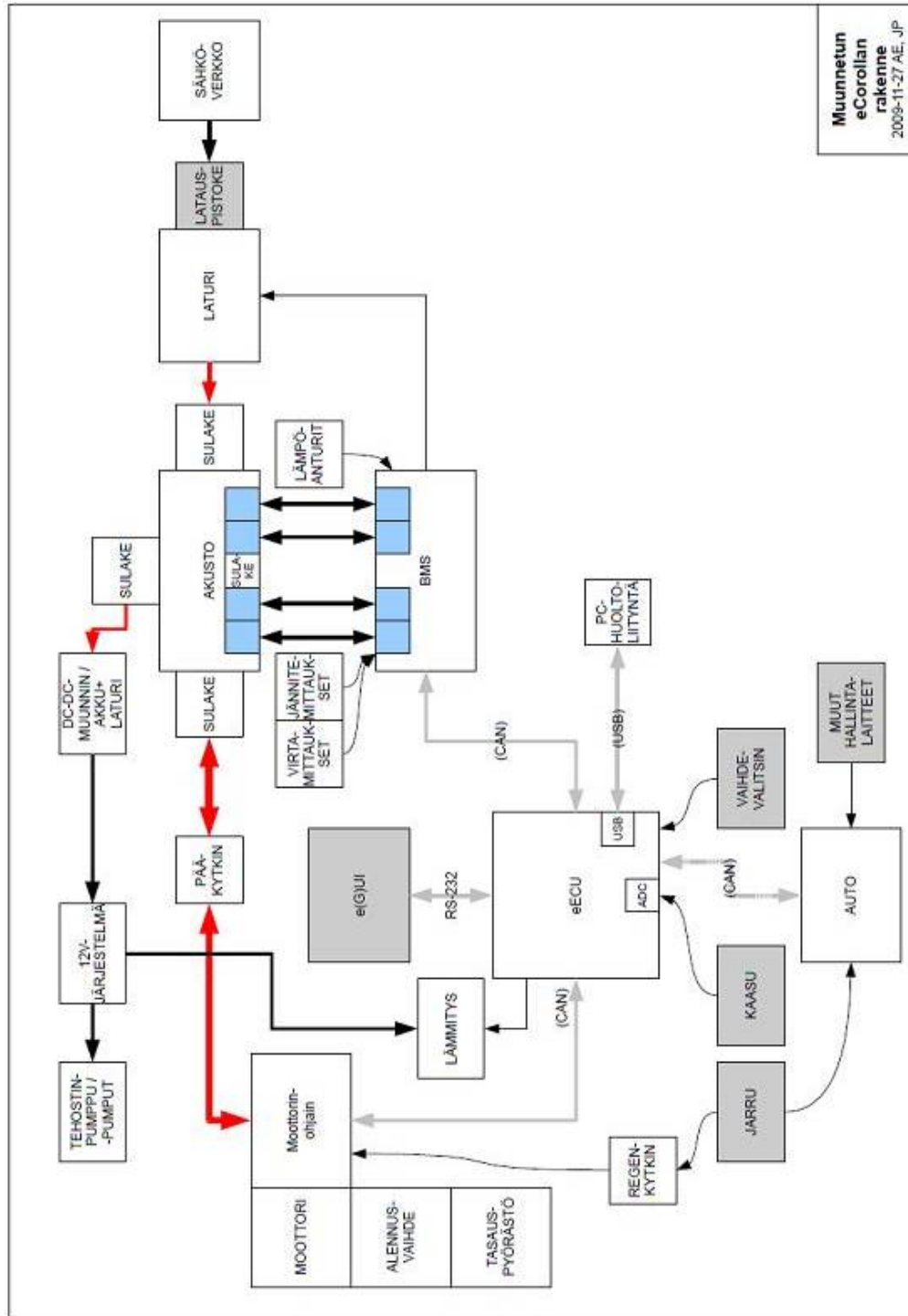
3.3 Rakenne

Konvertoinnissa on tärkeää ottaa huomioon komponenttien kytkentä ja yhteensopivuus. On järkevää valita useita komponentteja samalta valmistajalta, jolloin varmistutaan niiden yhteensopivuudesta. Kytkentä täytyy tehdä oikein ja huolellisesti, jotta vältytään ongelmilta. Kuviossa 9 on esitetty muunnetun sähköauton rakenne.



Kuvio 9. Muunnetun sähköauton rakenne /22/

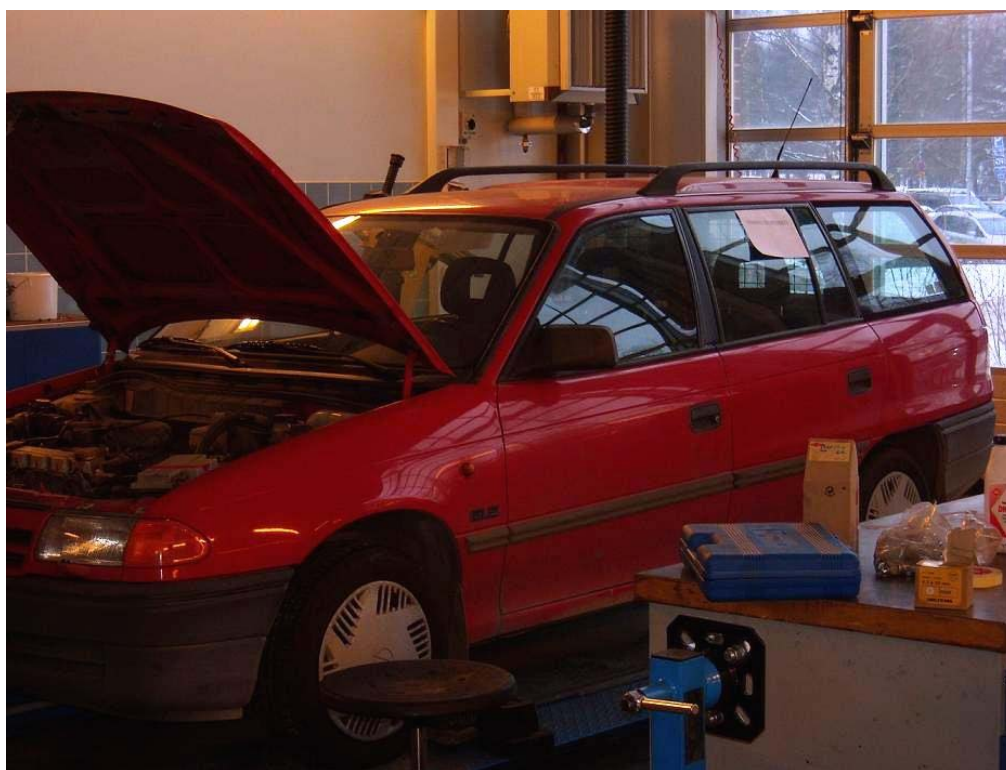
Kuviossa 10 on esitetty Sähköautot-Nyt -hankkeen muunnetun e-corollan rakenne. Siinä ei ole ollenkaan kytkintä, sillä varsinaista vaihteistoakaan ei käytetä. Lämmitys on lisätty, sillä Suomen olosuhteissa se on välttämätön. Regen-kytkin on jarruenergian talteen ottamista varten.



Kuvio 10. Muunnetun eCorollan rakenne /23/

4 TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULUN SÄHKÖ-AUTON KONVERTOINTI

Tampereen ammattikorkeakoulun sähköauton konvertointi -projektin tavoitteena on käytetyn henkilöauton konvertointi sähkökäyttöiseksi. Tarkoituksena on käyttää mahdollisimman uutta sähköautotekniikkaa kohtuullisin kustannuksin. Lisäksi on tarkoitus tutkia, onko mahdollista tehdä käytetyn auton pohjalta toimintavarma, luotettava ja taloudellinen sähköautokonversio. Projektin ympärille on perustettu yhdistys ”Electric Car Conversion Association” (ECCA), jonka tavoitteena on ohjata ja seurata projektin etenemistä. Projektin auto on koriltaan suhteellisen hyväkuntoinen Opel Astra, jonka polttomoottoritekniikka on vaihtoiässä. Autosta irrotetaan kaikki polttomoottoritekniikan komponentit ja tilalle asennetaan sähköautotekniikan komponentit. Autosta tulee niin sanottu ”Plug-in”-sähköauto eli ulkopuolisesta virtalähteestä ladattava sähköauto. Kokonaishyötysuhteen kannalta paras mahdollinen tapa onkin ladata akut ulkopuolisesta virtalähteestä eli verkosta. Kuviossa 11 on esitetty ECCA-projektin aihe. /1/



Kuvio 11. ECCA projektin aihe

4.1 Komponentit

Projektissa mukana olevat henkilöt ovat tutkineet autoon sopivia komponentteja. Kuviossa 12 oleva Thunder Sky:n litium-akusto (LiFePo) voisi olla järkevä vaihtoehto auton akuksi. Akuston ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1. Kennoja yhdistelemällä sarjan- ja rinnankytkennöillä saadaan muodostettua akustolta haluttuja ominaisuuksia.

Taulukko 1. Thunder Sky (LiFePo) akun ominaisuudet /67/

Nimellisenergia	80-120 Wh/kg
Energiatiheys	170 Wh/l
Jännite/kenno	3,425 V
Lataussyklien määrä	2000+
Itsepurkautuvuus (%/48h)	0,2 %
Energiahyötysuhde	>95 %



Kuvio 12. Thunder Sky (LiFePo) akkukennot /67/

Auton sähkömoottorina voisi toimia MES-dea 200-200 -oikosulkumoottori, joka on kuvattu kuviossa 13. Kyseisen sähkömoottorin ominaisuuksia on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. MES-DEA 200-200 sähkömoottorin ominaisuudet /41/

Nimellisteho	24 kW
Nimellisvääntömomentti	80 Nm
Nimelliskierrosnopeus	2850 rpm
Paino	53 kg
Jäähdytys	Vesi
Maksimi kierrosnopeus	9000 rpm
Hyötysuhde	>85%



Kuvio 13. MES-DEA 200-200 vaihtosähkömoottori /42/

Taajuusmuuttajaa on kuvattu kuviossa 14. Taajuusmuuttaja on DC/AC invertteri/ kontrolleri Azure Dynamics/Solectria DMOC445 ja sen ominaisuuksia on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. DC/AC Invertteri / kontrolleri Azure Dynamics/Solectria DMOC445 /52/

Paino	14,7 kg
Minimi nimellisjännite	144 V
Maksimi nimellisjännite	336 V
Minimi toimintajännite	100 V
Maksimi toimintajännite	400 V
Maksimi virta	280 A
Maksimi teho	78 kW @ 312 V
Jatkuva teho	38 kW @ 312 V
Hyötysuhde	96-98 %

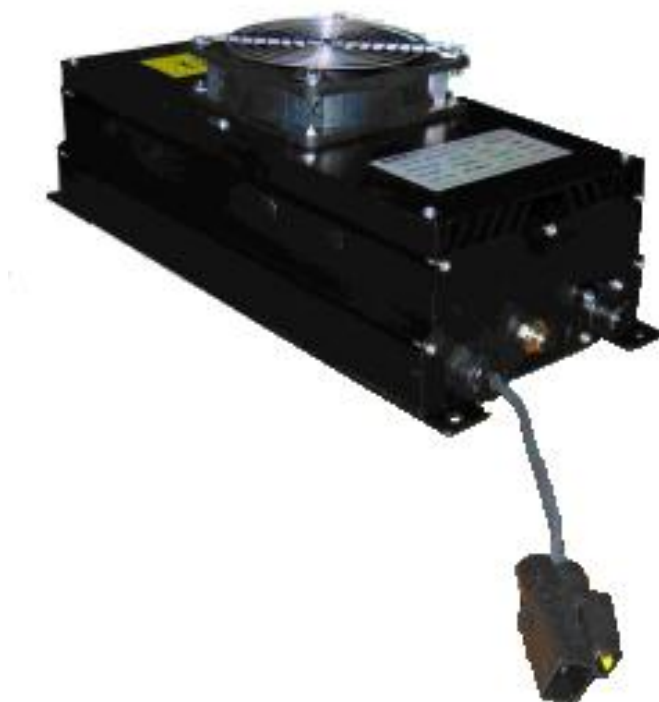


Kuvio 14. DC/AC Invertteri / kontrolleri Azure Dynamics/Solectria DMOC445 /52/

Latauslaitteistona järkevä vaihtoehto voisi olla MES-DEA:n tyyppi BC-278-Z-3-A(MES-DEA), jota on kuvattu kuviossa 15. Latauslaitteiston ominaisuuksia on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4. MES-DEA BC-278-Z-3-A(MES-DEA) Latauslaitteen tekniset tiedot /46/

Hyötysuhde / Teho	95% / 3,2 kW, 90% / 400 W
Sisääntulojännite	253 VAC, 63 Hz
Käyttölämpötila	-25 - > 40 °C
Ohjaus	Ulkoinen PWM
EMC	95 / 54 / EG
Sähkölaitteen tiiveysluokitus	IP54
DC ulostuloteho	3200 W (tai maksimissaan 26 A)
Sisääntulovirta AC	≤15,5 A
Jäähdytys	Ilma
Paino	7 Kg



Kuvio 15. MES-DEA BC-278-Z-3-A(MES-DEA) latauslaite /46/

DC/DC muuntimena voisi toimia MES-DEA 400-1000, jota on kuvattu kuviossa 16.
DC/DC muuntimen ominaisuuksia on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. DC/DC Muunnin MES-DEA 400-1000 /53/

Sisääntulo jännite	190-400 Vdc
Maksimi ominaisteho	1000 W
Hyötysuhde	>90%
Maksimi ulostulovirta	70 A
Paino	3,6 kg
Ulostulo jännite	13,3 / 14,4 V
Toimintalämpötila	-25 – 50 C
Ohjaussignaalit	Ulkoisen avulla, vika viestintä
Turvaluokitus	IP 54



Kuvio 16. DC/DC Muunnin MES-DEA 400-1000 /53/

Kuviossa 17 esitetty superkondensaattori Maxwell Technologies BMOD0063-125V voisi olla sopiva tasaamaan auton energiavirtoja sekä keräämään jarruenergiaa.

Taulukossa 6 on esitetty Maxwell -superkondensaattorin tyypillisiä ominaisuuksia. Tyypillisesti superkondensaattorin lataus-purkaus syklien hyötysuhde on yli 98% ja huonoimmillaankin kuitenkin yli 90%. /55/

Taulukko 6. Maxwell superkondensaattorin tyypillisiä ominaisuuksia /43/

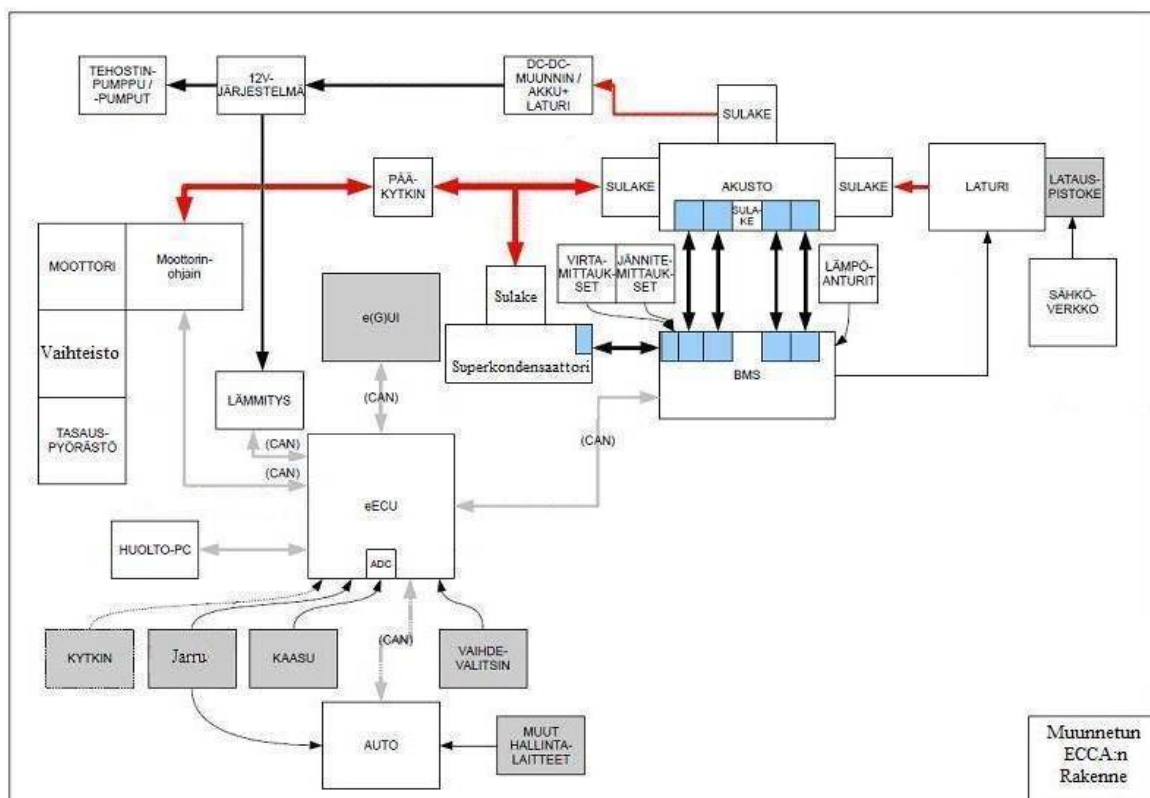
PC Family Small energy cells	BC Family Medium power cells	MC Family Large power cells
Features	Features	Features
Over 500,000 duty cycles	Over 500,000 duty cycles	Over 1 million duty cycles
2.5 volt operating voltage	2.5 volt operating voltage	2.7 volt operating voltage
10-year life capability	10-year life capability	10-year life capability
Higher energy vs. electrolytic	Higher energy vs. electrolytic	Higher energy vs. electrolytic
Higher power vs. batteries	Higher power vs. batteries	Higher power vs. batteries
	Low internal resistance	Low internal resistance
Low profile prismatic design	Round, double-ended design	Threaded terminal or weldable post versions
UL-recognized	UL-recognized	UL-recognized
RoHS compliant	RoHS compliant	RoHS compliant



Kuvio 17. Maxwell superkondensaattori /44/

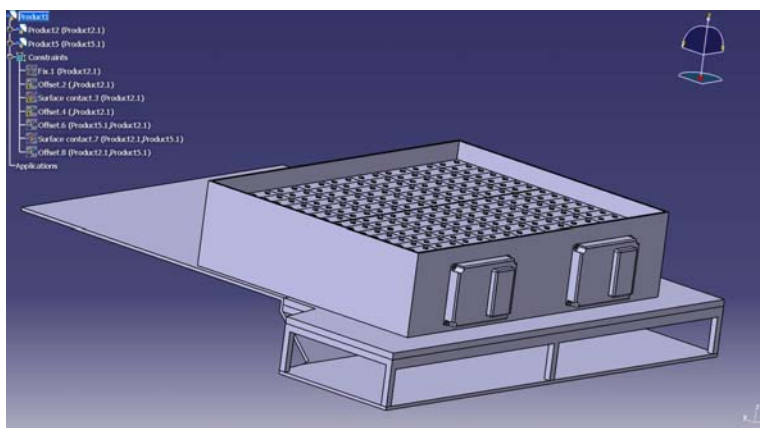
4.2 Rakenne ja sijoittelu

Latauspistoke kytketään sähköverkkoon, jolloin laturi alkaa lataamaan akustoa muuttamalla sähköverkosta tulevaa 230 voltin vaihtojännitettä akustolle sopivaksi tasajännitteeksi. Akusto varastoi sähköenergian kemialliseksi energiaksi. Ohjauselektronikka säättää laturin toimintaa tarkasti akuston hallinta järjestelmän (BMS) tarkkailemien arvojen mukaan. BMS-järjestelmä huolehtii ettei akusto ylikuumene tai ylilataudu ja pitää kennot tasapainossa. Autolla ajettaessa moottorinohjaimelle syötetään tasasähköä akustosta, jonka moottorinohjaimessa oleva invertteri muuttaa vaihtosähköksi. Taajuusmuuttaja muokkaa tämän AC-virran taajuutta ja geometriaa kaasupolkimen sekä välitystietojen mukaan haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Moottorinohjaimessa oleva taajuusmuuttaja syöttää tarkasti säädeltyä vaihtovirtaa oikosulkumoottorille, joka muuttaa sähköenergian liike-energiaksi. Liike-energia johdetaan vetoakseleiden kautta auton pyörille. ECCA-sähköauton rakenne on muutamia muutoksia lukuunottamatta samanlainen, kuin kuviossa 10 esitetty Sähköautot Nyt -projektin e-corollan rakenne. Kuviossa 18 on esitetty ECCA:n rakennekaavio. Superkondensaattori on lisätty tasaamaan sähkön kulkua ja helpottamaan jarruenergian talteenottoa.

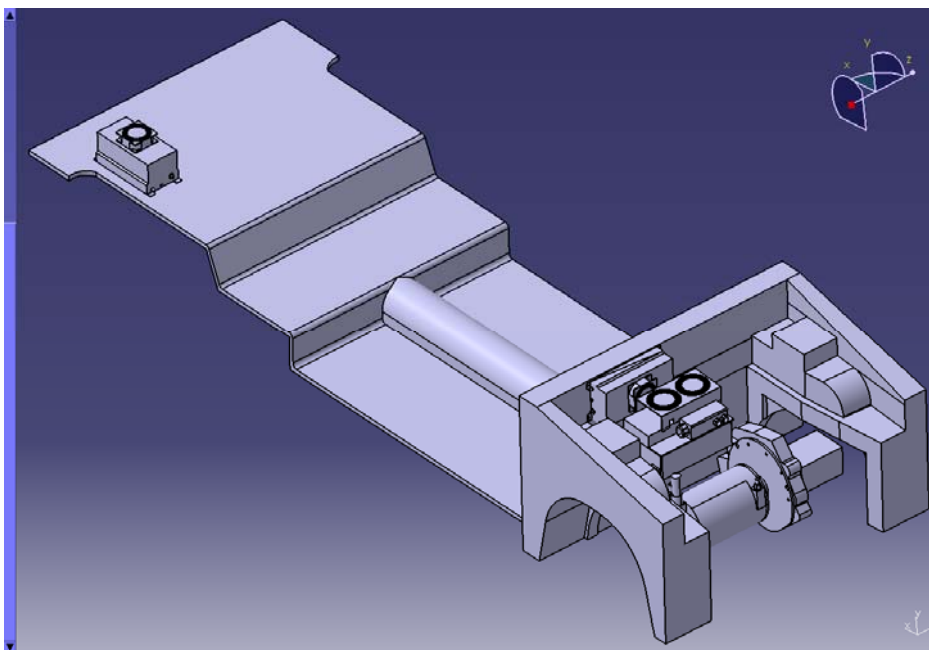


Kuvio 18. Muunnettu ECCA:n rakenne regeneratiivisella jarrutuksella varustettuna

ECCA-sähköautomuunnoksen komponenttien sijoittelu on suunniteltu käyttämällä Catia-mallinnusohjelmaa. Kuviossa 19 on esitetty akuston sijoittaminen takaistuimien tilalle ja kuviossa 20 on esitetty muiden komponenttien sijoittelu. Akusto on sijoitettu yksinkertaisuuden vuoksi takapenkkin tilalle, mutta painojakauman vuoksi olisi parempi sijoittaa ainakin osa akuston kennoista moottoritilaan. DC/DC-muunnin on sijoitettu taakse tavaratilaan ja muut komponentit on sijoitettu moottoritilaan. Sähkömoottori on kiinnitetty välilaitan avulla vaihteistoon kiinni vanhan polttomoottorin tilalle ja invertteri/taajuusmuuttaja on sijoitettu AC-moottorin yläpuolelle. Latauslaite on kiinnitetty tulpalle pystyasentoon. Moottoritilaan jäävään tyhjään tilaan saadaan sijoitettua alipainepumppu ja oheiskomponentit.



Kuvio 19. ECCA-auton akuston sijoitus



Kuvio 20. ECCA-auton komponenttien sijoittelu

4.3 Hyötysuhde

Voimansiirron hyötysuhde moottorilta auton pyörille on arviolta 90 %. Voimansiirron hyötysuhde muodostuu kytkimen, vaihteiston ja vetonivelten hyötysuhteista. ECCA-sähköauton teoreettinen hyötysuhde sähköverkosta auton pyörille lasketaan kertomalla kaikkien komponenttien hyötysuhteet keskenään. Taulukossa 7 on esitetty eri komponenttien hyötysuhteet ja laskettu kokonaishyötysuhde.

Taulukko 7. Hyötysuhteet

Laturin hyötysuhde	95 %
Akuston hyötysuhde	95 %
Moottorinohjaimen hyötysuhde	97 %
Sähkömoottorin hyötysuhde	85 %
Voimansiirron hyötysuhde	90 %
Kokonaishyötysuhde	67 %

ECCA-sähköauton hyötysuhde on noin 67 %, mutta todellisuudessa lisää häviöitä syntyy auton toimilaitteiden käytöstä ja johtojen resistansseista. Esimerkiksi lämmitys ja auton valot lisäävät häviöitä huomattavasti.

5 JARRUENERGIAN TALTEENOTTAMINEN

Perinteisiä hydraulisia jarruja käytettäessä energiaa tuhlataan merkittävästi. Jarrutettaessa jarrupalojen ja –levyjen väliin syntyvä kitka saa aikaan lämmön nousun jarruissa, jolloin liike-energia muuttuu tätä kautta lämmöksi ja haihtuu ilmaan. Jarruenergiaa on mahdollista kerätä talteen erilaisilla järjestelmillä eri energiavarastoihin kuten akkuun, superkondensaattoriin, hydraulisäiliöön tai vauhtipyörään. Pelkästään fossiilisilla polttoaineilla toimivissa ajoneuvossa tätä energiaa on vaikea hyödyntää, mutta sähkö- ja hybridiajoneuvoissa se on helpompaa.

5.1 Energiavarastot

Erilaiset jarruenergian varastointitavat soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. Hydraulisessa jarruenergian talteenotossa vetoakseleiden pyörimistä vastustetaan hydraulinessteellä, jota pyörimisliike työntää hydraulisäiliöön. Tällöin hydraulisäiliössä paine kasvaa ja ajoneuvon vauhti hidastuu. Purettaessa hydraulisäiliön paineistettu neste työntää vetoakseleita pyörivään liikkeeseen. Hydraulinen järjestelmä on äänekäs, vie tilaa ja on suhteellisen painava. Hydraulinen järjestelmä soveltuu parhaiten raskaisiin ajoneuvoihin.

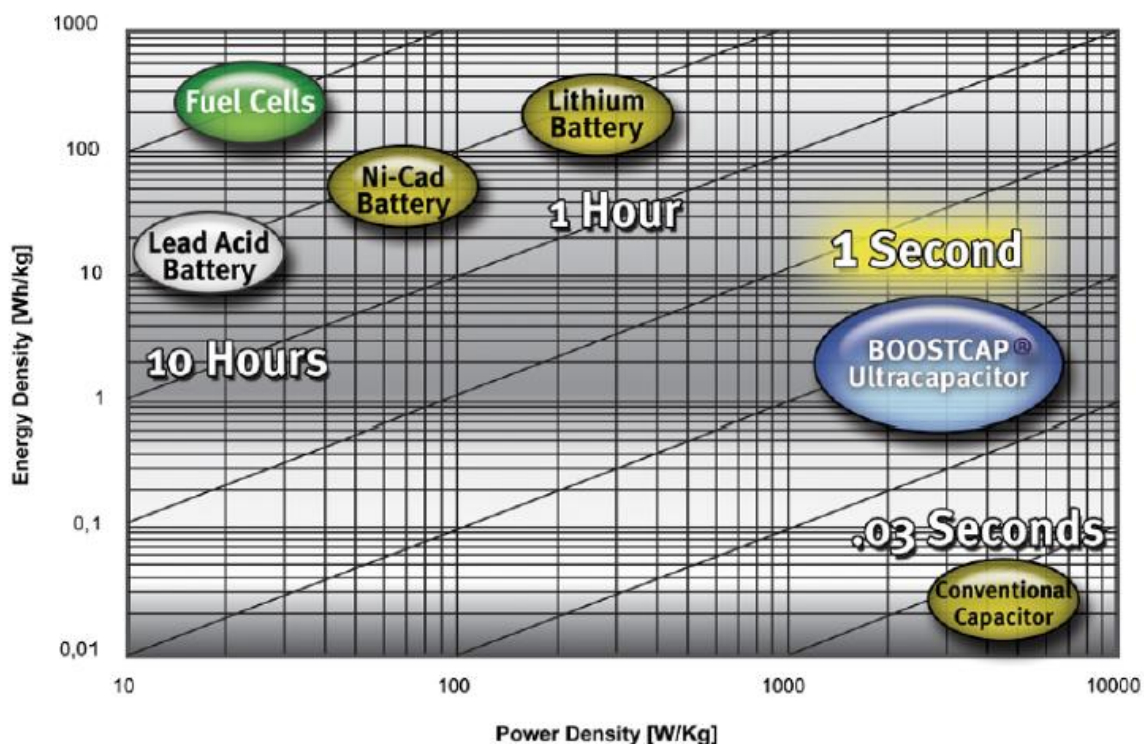
Inertia on mahdollista johtaa pyörivään vauhtipyörään, jolloin energia varastoidaan liike-energiana. Vauhtipyörällä on myös gyroskooppisia ominaisuuksia, mutta se on painonsa puolesta huono vaihtoehto sähköautoon.

Akun virran tai jännitteen vastaanottokyky rajoittaa jarruenergian talteenottamista, sillä ylimääräinen energia saatetaan joutua syöttämään vastuksiin akuston ylikuumenemisaaran vuoksi, jolloin hyötysuhde kärsii. Kuvion 19 mukaan superkondensaattorilla on kyky ottaa vastaan varsin suuria energiamääriä nopeasti, eli sillä on hyvä energia- ja tehotehiheys. Superkondensaattoreihin ei kuitenkaan pysty varastoimaan suuria määriä energiaa. Jarruenergia voidaan toisaalta ohjata superkondensaattorin välityksellä akkuun, jolloin energiaa saadaan paljon ja nopeasti talteen. Kondensaattori myös tasaa energian kulkua, joten sen avulla saadaan regeneratiivinen jarrutus pysymään muuttu-

mattomana koko ajan. Muutoin regeneratiivisen jarrituksen ominaisuudet olisivat akun varaustilasta riippuvaisia.

Kaikissa AC-moottorilla varustetuissa sähköautoissa on vakiona regeneratiivinen jarrutusominaisuus. Vaihtosähkömoottori pystytään muuttamaan generaattoriksi, jolloin liike-energiaa voidaan varastoida sähkövarastoon. Sähköautossa järkevintä ja helpointa on ottaa liike-energia talteen sähkövarastoon. Ajoneuvoon on valittu oikosulkumoottori eli se sopii täydellisesti jarruenergian talteen ottamiseen, koska se toimii generaattorina ilman muutoksia. Jarruenergiaa talteenottavan järjestelmän mahdollisuutena on saavuttaa arviolta jopa 20-30 % taloudellinen hyöty eli käytännössä se ilmenee auton toimintasäteen kasvuna. Regeneroiva jarrujärjestelmä on parhaimmillaan kaupunkiajossa, jossa ilmenee toistuvia kiihdytyksiä ja jarrutuksia. /34; 60/

Kuviossa 21 on esitetty erilaisten sähkövarastojen ominaisuuksia. Sähkövarastoista järkevintä on ladata jarruenergia superkondensaattorin välityksellä akustoon. Superkondensaattori kykenee vastaanottamaan energiaa hyvin nopeasti ja se tasaa energian kulua akustoon. Superkondensaattori kestää yli miljoona lataus-purkaus-sykliä, joten sen käyttöikä on suhteellisen pitkä. Akun suuren koon vuoksi sinne voi ladata energiaa varsin paljon.



Kuvio 21. Sähkövarastojen ominaisuuksia /68/

5.2 Toimintalogiikka

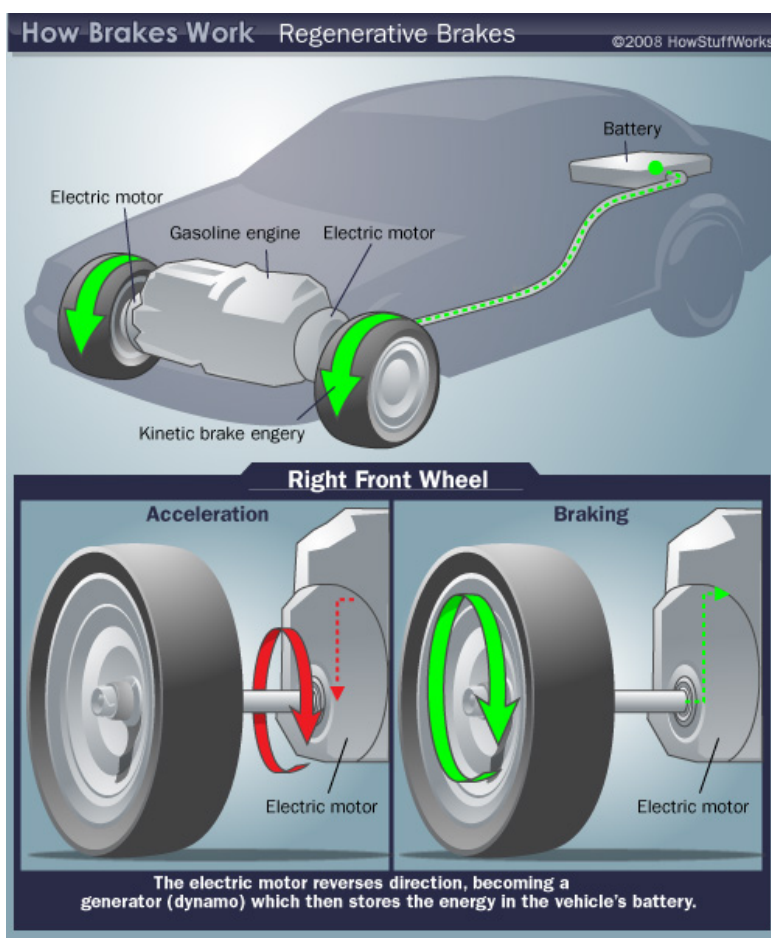
Liike-energiaa takaisin sähköksi muuttavan jarrutusjärjestelmän toimintalogiikkoja on monenlaisia. Niin sanottu ranskalainen malli toimii moottorijarrutuksen tavoin heti, kun jalka nostetaan kaasupolkimelta, ja lisääntyy jarrua painettaessa. Se voi myös käynnistyä vasta jarrupoljinta painettaessa, kuten Elcat-sähköautossa on tehty. Yksi mahdollisuus on asentaa esimerkiksi ”joystick” vaihdekepin lähelle tai sen tilalle, jolloin regeneratiivista jarrutusta voi käyttää täysin erillään hydraulisista jarruista. Jarruenergian talteen ottaminen hyödyttää eniten kaupunkiajossa. Tämä tarkoittaa sitä, että sähköauton kulutusero ei ole maantieajon ja kaupunkiajon välillä läheskään yhtä suuri, kuin perinteisellä autolla. /34; 2/

Sähköajoneuvoissa on yleensä suhteellisen isot sähkövarastot, koska voimanlähteenä käytetään joko osittain tai kokonaan sähköä. Sähköautolla kiihdytettäessä energia tulee sähkövarastosta sähkömoottorille, joka muuntaa sen pyöriväksi liike-energiaksi, mikä johdetaan voimansiirron välityksellä auton pyörille. Jarruenergiaa talteen otettaessa toiminto tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä. Jarruenergiaa kerätessä sähkömoottorille syötetään magnetointivirtaa, jolloin se toimii käänteisesti. Sähkömoottorin toimissa käänteisesti se toimii generaattorina ja muuntaa pyöriltä voimansiirron välityksellä tulevan pyörivän liike-energian sähköenergiaksi, joka johdetaan sähkövarastoon. Ajoneuvon liikemäärää siis käytetään hyödyksi mekaanisena energiana, jolloin generaattori vastustaa ajoneuvon renkaiden pyörimistä ja nopeus hidastuu samalla, kun se kerää energiaa talteen. Näissä ajoneuvoissa on kuitenkin syytä käyttää varmuuden vuoksi myös perinteisiä jarruja siltä varalta, että järjestelmä ei kykene hidastamaan ajoneuvon nopeutta riittävästi tai se ei toimi oikealla tavalla. /56; 57/

Jarruenergian talteen ottaminen on hyödyllistä, koska sillä saadaan muuten hydraulisten jarrujen kautta lämpönä ilmaan haihtuvaa liike-energiaa talteen. Aina, kun energiaa virtaa akkuun tai moottorille päin, syntyy häviöitä. Ideaalitulanteessa autolla ajo on taloudellisinta, kun ei jarruteta laisinkaan vaan käytetään kaikki energia liikkumiseen, mutta normaalissa liikenteessä tämä on lähes mahdotonta. Ennakoimalla voi kuitenkin vähentää jarruttelua ja lisätä rullaamista, jolloin kulutus pienenee. Pidänkin ranskalaista mallia huonona vaihtoehtona, sillä se vaikeuttaa auton rullaamisen hallintaa. Järjestelmä saattaa turhaan jarruttaa ja kerää energiaa talteen, jolloin hyötysuhde huononee. Jarruener-

gian talteen ottaminen ei myöskään ole taloudellista hitaassa vauhdissa, sillä jännite pyrkii pieneneään pyörimisnopeuden laskiessa ja sitä täytyy kompensoida syöttämällä moottorille suurempaa magnetointivirtaa, mikä saattaa syödä saavutetun hyödyn. Näin ollen energian talteen ottaminen tuleekin suorittaa vain silloin, kun tiedetään, että energiaa on tulossa tarpeeksi voittamaan häviöt. Tästä syystä ”joystick”-mallissa kuljettajan tulisi itse käyttää regeneratiivista jarrutusta oikeaan aikaan, mikä mielestäni vähentää käyttömukavuutta ja lisää kulutusta kuljettajan tekemien virhearviointien vuoksi.

Elcat-sähköautossa käytetty malli vaikuttaa parhaalta vaihtoehdolta ECCA-sähköautoon. Regeneratiivinen jarrutus käynnistyy painettaessa jarrua ja ohjelmoinnin avulla voidaan säätää auto jarruttamaan regeneratiivisesti vain silloin, kun se on hyödyllistä. Näin taloudellisuus saadaan maksimoitua ja auton käyttö ei muutu perinteisestä, totutusta tavasta. Kuviossa 22 on yksinkertaisesti esitetty energian siirtyminen kiihdytyksessä ja jarrutuksessa regeneratiivista jarrutusta käytettäessä.

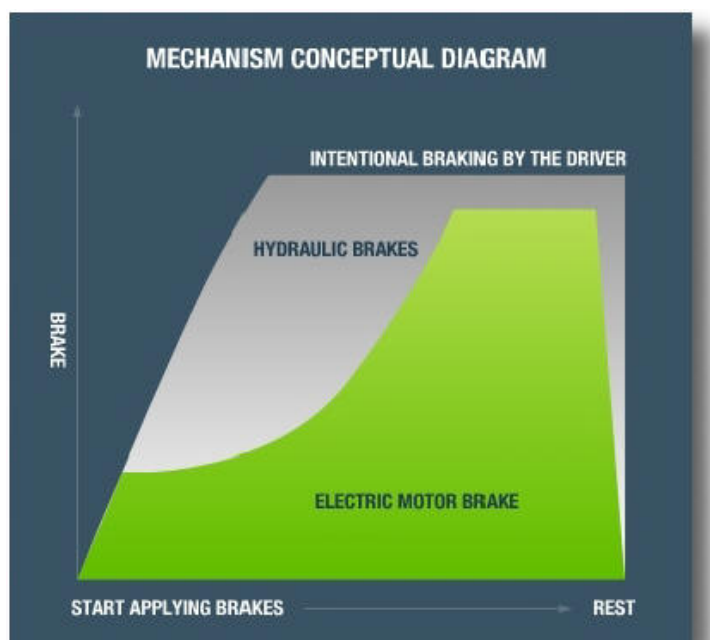


Kuvio 22. Yksinkertaistettu esitys jarruenergian talteenottamisesta hybridiautossa /58/

5.3 Järjestelmän ohjaus

Älykäs järjestelmä ohjaa virran kulkua virtapiireissä oikeaan suuntaan eli kiihdytettäessä sähkövarastosta sähkömoottorille ja jarrutettaessa päinvastaiseen suuntaan. Ajoneuvon elektroniikka päättää myös missä tilanteessa on järkevää ja turvallista kerätä jarruenergiaa talteen ja milloin on parempi käyttää perinteisiä jarruja. Järjestelmän ohjaus onkin erittäin tärkeässä roolissa, sillä se päättää kaiken jarrutuksesta.

Hyötyjarrutus toteutetaan yhdessä lukkiutumattoman jarrujärjestelmän (ABS) kanssa. Jarruenergiaa talteen ottavan järjestelmän ohjain on samankaltainen ABS-ohjaimen kanssa eli se tarkkailee pyörien pyörimisnopeutta ja pyörimisnopeuksien eroja. Se myös laskee koko ajan, kuinka paljon energiaa on mahdollista kerätä talteen kullakin hetkellä sekä varmistaa ettei energiaa kerätä talteen enempää kuin sähkövarastoon on mahdollista kerätä. Mikäli energiaa on tulossa enemmän kuin on mahdollista kerätä varastoon, jarruohjain jättää lopun jarrutuksen hydraulisten jarrujen hoidettavaksi. Kuviossa 23 on esitetty Toyota Priuksen jarruvoimien jakautuminen regeneratiivisen- ja hydraulisen jarrutuksen välillä. /59/



Kuvio 23. Jarruvoimien jakautuminen regeneratiivisen- ja hydraulisen jarrutuksen välillä Toyota Prius hybridissa /54/

5.4 Järjestelmän toiminta ja hyötysuhde

Regeneratiivista jarrutusta käytettäessä moottorinohjain saa jarrupolkimen asentotiedon keskusyksiköltä ja muuttaa sähkömoottorin generaattoriksi syöttämällä sille magnetointivirtaa. Generaattori alkaa lataamaan ja auton vauhti hidastuu. Generaattorin syöttämä sähköenergia ohjataan superkondensaattorin välityksellä talteen akustoon. Osa energiasta voidaan käyttää seuraavassa kiihdytyksessä suoraan superkondensaattorista, jolloin sen kapasiteetti vapautuu jälleen jarruenergian talteenottamista varten.

Inertian talteen ottamisessa teoreettinen hyötysuhde lasketaan kertomalla jarruenergian kulkureitillä olevien komponenttien hyötysuhteet keskenään. Laskennassa täytyy huomioida, että energia kulkee joidenkin komponenttien kautta kahteen eri suuntaan. Laskenta käsittää määrän, jonka verran jarrutuksen jälkeistä inertiaa saadaan muutettua takaisin liike-energiaksi. Taulukossa 8 on esitetty komponenttien hyötysuhteet ja laskennallinen kokonaishyötysuhde. Regeneratiivisen järjestelmän mahdollisuutena on hyödyntää noin 54 % jarruenergiasta, mikäli se käytetään hyödyksi superkondensaattorista. Akustoon ladatun energian hyötysuhde on 46 %. Tämä energia menisi hukkaan perinteisiä hydraulisia jarruja käytettäessä. Näin ollen auton kokonaishyötysuhde kasvaa huomattavasti.

Taulukko 8. Komponenttien hyötysuhteet ja laskennallinen kokonaishyötysuhde

Voimansiirron hyötysuhde	90 %
Generaattorin/sähkömoottorin hyötysuhde	85 %
moottorinohjaimen hyötysuhde	97 %
kondensaattorin hyötysuhde	98 %
Akuston hyötysuhde	> 85 %
jarruenergian talteenottamisen hyötysuhde auton renkailta kondensaattorille/akustoon	73 % / 62 %
jarruenergian talteenottamisen kokonaishyötysuhde, kun energia käytetään superkondensaattorista	54 %
jarruenergian talteenottamisen kokonaishyötysuhde, energian osalta joka ladataan akustoon	46 %

5.5 Energiäärä ja painopiste

Määritettäessä energiäärää, joka on mahdollista kerätä jarrutettaessa talteen, täytyy ensin määrittää konvertoidun auton akselimassat. Auton akseleiden massat mitattiin ammattikorkeakoululla Boschin testauslaitteella. Ennen polttomoottoritekniikan komponenttien poistamista akselimassa etuakselilla oli 590 kg ja taka-akselilla 479 kg. Taulukossa 9 on esitetty polttomoottori-tekniikan komponenttien poistamisen vaikutus akselimassoihin.

Taulukko 9. Polttomoottoritekniikan komponenttien poistamisen vaikutus auton akselimassoihin

	Etuakseli (kg)	Taka-akseli (kg)
Moottori ja apulaitteet	137	-7
Polttoainetankki	3	67
Takapenkit	23	2
Pakoputki	11	10
Varapyörä	-2	22
Jäähdytin + tuuletin	5	-1
Ilmanotto	2	0

Polttomoottoritekniikan komponenttien poiston jälkeen akselimassat olivat etuakselilla 411 kg ja taka-akselilla 380 kg. Taulukossa 10 on esitetty sähköauto-tekniikan komponenttien lisäämisen vaikutus akselimassoihin.

Taulukko 10. Uusien sähköautotekniikan osien vaikutus auton akselimassoihin

	Etuakseli (kg)	Taka-akseli (kg)
Akusto	151	284
Sähkömoottori	57	-4
Taajuusmuuttaja/Invertteri	15	0
DC/DC-muunnin	-1	5
Latauslaitteisto	6	1

Taulukoiden 9 ja 10 arvot on laskettu yhtälöillä 1 ja 2.

$$m_{ea} = \frac{m_k * (l - x)}{l}, \quad (1)$$

jossa m_{ea} = etuakselin akselimassa

m_k = komponentin massa

l = akseliväli

x = komponentin painopisteen etäisyys etuakselista taaksepäin

$$m_{ta} = \frac{m_k * x}{l}, \quad (2)$$

jossa m_{ta} = taka-akselin akselimassa

Sähköauton komponenttien lisäämisen jälkeen akselimassat ovat etuakselilla 639 kg ja taka-akselilla 666 kg. Taulukossa 11 on esitetty akselimassojen muuttuminen konvertoinnin eri vaiheissa.

Taulukko 11. Auton akselimassat ennen polttomoottoritekniikan osien poistoa, sen jälkeen ja sähköautotekniikan komponenttien asentamisen jälkeen

Akselimassat	Etuakseli (kg)	Taka-akseli (kg)
Ennen polttomoottori-tekniikan komponenttien poistamista	590	479
Polttomoottori-tekniikan komponenttien poistamisen jälkeen	411	380
Sähköauto-tekniikan komponenttien asentamisen jälkeen	639	666

Akselimassojen muuttuessa muuttuu myös auton painopiste. Painopisteen muuttuminen konvertoinnin eri vaiheissa on esitetty taulukossa 12. Taulukosta 12 näemme, että painopiste on muuttunut alkutilanteen ja lopputilanteen välillä 212 millimetriä. Auton kokonaispituus on 4278 millimetriä, josta voimme laskea, että painopiste on siirtynyt

noin 5 % taaksepäin alkuperäisestä painopisteen paikasta. Se vaikuttaa ajettavuuteen hieman, mutta ei merkittävästi.

Taulukko 12. Auton painopisteen etäisyys etuakselista taaksepäin

	Painopisteen etäisyys etuakselista (mm)
Ennen polttomoottori-tekniikan komponenttien poistamista	1532
Polttomoottori-tekniikan komponenttien poistamisen jälkeen	1642
Sähköauto-tekniikan komponenttien asentamisen jälkeen	1744

Taulukon 12 arvot on laskettu kaavalla 3.

$$x_{ap} = \frac{m_{ta} * l}{m_{kok}}, \quad (3)$$

jossa x_{ap} = auton painopisteen etäisyys etuakselista taaksepäin
 m_{kok} = auton massa punnittujen/laskettujen akselimassojen summan mukaan

ECCA:n kokonaismassa voidaan laskea taulukon 10 arvoista. Kun laskennoissa otetaan lisäksi huomioon kahden matkustajan (75 kg/hlö) massat, kokonaismassaksi saadaan 1455 kg. Ajoneuvon liike-energia lasketaan kaavalla 4, jolloin 100 kilometrin tunti-vauhdilla energiamääräksi saadaan 561343 Joulea.

$$E_k = \frac{1}{2} m_{kok} * v^2 \quad (4)$$

jossa E_k = Kineettinen energia
 m_{kok} = Auton kokonaismassa
 v = Ajoneuvon nopeus

Joulet saadaan muutettua kilowattitunneiksi. 3600000 Joulea on 1 kWh eli $561343/360000 = 0,156$ kWh.

Jarruenergia voidaan kerätä talteen vain etu-akselilta, sillä sähkömoottori on vetoakselien välityksellä yhteydessä vain etupyöriin. Jos jarrutettaessa ei käytetä lainkaan hydraulisia jarruja, on mahdollisuus kerätä talteen kaikki tämä energia. Taulukon 7 mukaan kondensaattoriin on mahdollista ladata 73 % pyöriltä tulevasta energiasta. Osa energiasta ladataan akkuihin kondensaattorin välityksellä, jolloin hyötysuhde on 62 % pyöriltä tulevasta energiasta. Tällöin 100 kilometrin tuntivauhdista voimme ladata joko superkondensaattoriin $0,156 \text{ kWh} * 0,73 = 0,115 \text{ kWh}$ tai akustoon $0,156 \text{ kWh} * 0,62 = 0,097 \text{ kWh}$.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä perehdyttiin sähköautoihin, sovittiin yhteen ECCA-sähköautokonversioprojektin suunnitelmat ja suunniteltiin jarruenergiaa talteen ottava järjestelmä. Aluksi perehdyttiin sähköautotekniikan komponentteihin, jonka jälkeen vertailtiin sähköautoa ja polttomoottoriautoa. Lisäksi perehdyttiin hieman sähköautojen kehitykseen. Työn aihe oli mielenkiintoinen ja projektin edetessä tehdyt opintomatkat olivat hyödyllisiä.

Konvertoinnin osalta työssä perehdyttiin Sähköautot-Nyt! -hankkeeseen, konvertoinnin vaativuuteen sekä konversion rakenteeseen. Tampereen ammattikorkeakoulun ECCA-projektin jäsenten suunnitelmat kerättiin yhteen ja ratkaistiin muutamia niissä ilmenneitä ongelmakohtia osien valinnan ja sijoittamisen suhteen. Lisäksi suunniteltiin konversion rakenne ja laskettiin hyötysuhteita.

Lopuksi suunniteltiin jarruenergiaa talteen ottava järjestelmä, jossa vaihtosähkömoottori toimii generaattorina jarrutettaessa. Työssä päädyttiin valitsemaan Elcat-mallinen toimintalogiikka, jossa sähkömoottori toimii generaattorina vain jarrua painettaessa. Järjestelmässä talteen otettava jarruenergia viedään superkondensaattoriin ja sitä kautta akustoon, joista se voidaan ottaa uudelleen käyttöön. Työ oli haastava, mutta lopputuloksena saatiin aikaan toteuttamiskelpoinen ratkaisu.

Jatkossa projektin autoa voisi kehittää taloudellisemmaksi esimerkiksi käyttämällä led-tekniikkaan perustuvia ajovaloja. Lisäksi voisi keksiä muita keinoja lisäenergian hankkimiseksi. Esimerkiksi tärinästä aiheutuva iskunvaimentimien lämpeneminen ja tuon lämmön hyödyntäminen voisi olla tutkimisen arvoinen asia. Stirling-tyyppistä moottoria voisi mahdollisesti hyödyntää akkujen lataukseen. Aurinkokennot ovat luonnollisesti myös yksi mahdollisuus lisäenergian hankkimiseksi, jolloin autoa voisi ladata silloin, kun se seisoo auringonpaisteessa tai vaikka katulampun alla. Myös tuulienergialla voisi ladata akkuja. Auton ollessa tuulisella paikalla, siihen sijoitettu propelli pyörisi tuulen voimasta ja lataisi sen avulla akkuja.

LÄHTEET

1. Kaakinen, Pekka 2008. Projektisuunnitelma. Tampereen ammattikorkeakoulu, tuotekehityksen laboratorio.
2. Sähköautot Nyt. Usein kysytyt kysymykset. [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/faq>
3. Sähköautot Nyt. Miksi sähköauto? – energiaihme. [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/miksi:energiaihme>
4. Fortum. Faktaa sähköautoista. [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.fortum.fi/sahkoauto/#/fin/faktaasahkoautosta>
5. Neff, John 2006. Autoblog. Toyota to sell diesel hybrid by 2010 thanks to Isuzu [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.autoblog.com/2006/11/21/toyota-to-sell-diesel-hybrid-by-2010-thanks-to-isuzu/>
6. Sähköautot Nyt. SähköautoWiki – 3. Tekniikka – Akut [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:akut>
7. Lithium Balance. Frequently asked questions. [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.lithiumbalance.com/FAQ.html> -
<http://www.lithiumbalance.com/FAQ6.html>
8. Sähköautot Nyt. Sähköautowiki – 3. Tekniikka – Moottori. [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:moottori>
9. Sähköautot Nyt. eKomponentit [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/ekomponentit:start>

10. Idaho National Laboratory. Comparing Energy Costs per mile for Electric and Gasoline-Fueled vehicles. [online] [viitattu 12/2009]
<http://avt.inel.gov/pdf/fsev/costs.pdf>
11. Google dokumentit. Polttomoottoriauton energiatehokkuus taulukko. [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://spreadsheets.google.com/pub?key=pyhrpO9L3eJOznnX8nurlTQ>
12. Tiede. Arkisto – Sähköautoissa kinkkisin on akku, 2008. [www-sivu] [viitattu 12/2009] <http://www.tiede.fi/arkisto/artikkeli.php?id=1045&vl=2008>
13. Idaho National Laboratory. Electric Vehicle Batteries. [online] [viitattu 12/2009]
<http://avt.inel.gov/pdf/fsev/batteries.pdf>
14. Idaho National Laboratory. Battery Chargers. [online] [viitattu 12/2009]
<http://avt.inel.gov/pdf/fsevchargers.pdf>
15. Sähköautot Nyt – Sähköautowiki – 3. Tekniikka – Ohjain [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:kontrolleri>
16. Energetique. Motor Controller. [www-sivu] [viitattu 12/2009]
<http://www.evme.com.au/features/how-it-works/motor-controller.php>
17. Idaho National Laboratory. EV Power Systems (Motors and controllers). [online] [viitattu 1/2009]
<http://avt.inel.gov/pdf/fsev/power.pdf>
18. Energetique. DC/DC Converter. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.evme.com.au/features/how-it-works/dc-dc.php>
19. Raivio, Jyri 2008. Helsingin sanomat. Kuka tappoi sähköautot. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.hs.fi/autot/artikkeli/Kuka+tappoi+s%C3%A4hk%C3%B6auton/1135236449603>

20. Sähköautot Nyt. Sähköautowiki – 3. Tekniikka – Yleistä tekniikasta. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:yleistae-tekniikasta>
21. Sähköautot Nyt. Sähköautot Nyt – Esittely. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/hanke:esittely>
22. Sähköautot Nyt. Muunnetun sähköauton rakenne, 2009. [online] [viitattu 1/2009]
http://evx.wdfiles.com/local--files/wiki:saehkoehenkiloeautokonversion-vaatimukset/Sahkoauto_Blocks3.pdf
23. Sähköautot Nyt. Muunnetun eCorollan rakenne, 2009. [online] [viitattu 1/2009]
http://evx.wdfiles.com/local--files/wiki:saehkoehenkiloeautokonversion-vaatimukset/eCorolla_Blocks.pdf
24. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus. Akut. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
http://www.sahkoturva.info/oikopolut/sahkoa_monessa_muodossa/fi_FI/akut/
25. Teknisten alojen ammattilaisten toimialakohtainen informaatiokanava. Sanakirja lyijy-happoakku. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.tekniikka.info/?page=selite&word=60853&criteria=1&ID=pkcwaalks>
26. Teknisten alojen ammattilaisten toimialakohtainen informaatiokanava. Sanakirja – itsepurkaus. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.tekniikka.info/?page=selite&word=60840&criteria=1&keyword=&ID=pkcwaalks>
27. Teknisten alojen ammattilaisten toimialakohtainen informaatiokanava. Sanakirja – akku. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.tekniikka.info/?page=selite&word=19654&criteria=1&ID=pkcwaalks>

28. Teknisten alojen ammattilaisten toimialakohtainen informaatiokanava. Sanakirja – elektrolyytti. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.tekniikka.info/?page=selite&word=32357&criteria=1&ID=pkcwaalks>
29. Teknisten alojen ammattilaisten toimialakohtainen informaatiokanava. Sanakirja – sähköpari. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.tekniikka.info/?page=selite&word=60816&criteria=1&ID=pkcwaalks>
30. E-articles.info. Lithium ion battery. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://e-articles.info/e/a/title/The-Lithium-Ion-Battery/>
31. Sähköautot Nyt. Miksi sähköauto? – Apu ilmastonmuutokseen. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/miksi:apu-ilmastonmuutokseen>
32. Wapedia. Akku. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://wapedia.mobi/fi/Akku#4>
33. Sähköautot Nyt. Sähköautowiki – 3. Tekniikka – Lataus. [www-sivu] [viitattu 1/2009]
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:lataus>
34. How stuff works. How electric cars works. [www-sivu] [viitattu 2/2009]
<http://auto.howstuffworks.com/electric-car3.htm>
35. How stuff works. How electric cars works. [www-sivu] [viitattu 2/2009]
<http://auto.howstuffworks.com/electric-car4.htm>
36. How stuff works. How electric cars works. [www-sivu] [viitattu 2/2009]
<http://auto.howstuffworks.com/electric-car5.htm>
37. Electropaedia. Battery Management System. [www-sivu] [viitattu 2/2009]
<http://www.mpoweruk.com/bms.htm>

38. Sarah Frueh, Media Relations Officer, Alison Burnette, Media Relations Assistant 2009. Office of news and public information. [www-sivu] [viitattu 2/2009] <http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=12794>
39. Ilmasto.org. Uusiutuvat energianlähteet. [www-sivu] [viitattu 2/2009] http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/torjuminen/paastojen_vahentaminen_suomessa/uusiutuva_energia.html
40. Sähköauto Nyt. Electric Cars – Now! in English. [www-sivu] [viitattu 3/2010] <http://www.sahkoautot.fi/eng>
41. MES-DEA. AC Induction Motor. [online] [viitattu 2/2009] http://cebinew.kicms.de/cebi/easyCMS/FileManager/Files/MES-DEA/components/AC_Induction_motors_200_series.pdf
42. Metric Mind. MES-DEA 200-200 nominal power. [online] [viitattu 2/2009] http://www.metricmind.com/images/mes_200-200_nominal_power.jpg
43. Maxwell. Ultracapacitors - Overview. [www-sivu] [viitattu 2/2009] <http://www.maxwell.com/ultracapacitors/index.asp>
44. Maxwell. Ultracapacitors – Products – Modules 125V. [www-sivu] [viitattu 2/2009] <http://www.maxwell.com/ultracapacitors/products/modules/bmod0063-125v.asp>
45. MES-DEA. AC Motor Drive. Type TIM 300W-400W-600W. [online] [viitattu 2/2009] <http://cebinew.kicms.de/cebi/easyCMS/FileManager/Files/MES-DEA/components/Tim.pdf>
46. MES-DEA. Battery Charger E.F. [online] [viitattu 2/2009] http://cebinew.kicms.de/cebi/easyCMS/FileManager/Files/MES-DEA/components/Battery_Charger.pdf

47. Lynkos. Exide. [online] [viitattu 2/2009]
http://www.lynkos.cz/images/exide_excell_1.jpg
48. Black Sheep Technology. LIFEPo. [online] [viitattu 2/2010]
http://www.black-sheep.us/images/LIFEPo_90_sm.jpg
49. Tekniikan Maailma. Ensimmäinen sähköautojen katulatauspiste käyttöön Helsingissä. [www-sivu] [viitattu 2/2010]
<http://www.tekniikanmaailma.fi/uutiset/ensimmainen-sahkoautojen-katulatauspiste-kayttoon-helsingissa>
50. Wikipedia. Vaihtosähkömoottori. [www-sivu] [viitattu 2/2010]
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Vaihtos%C3%A4hk%C3%B6moottori>
51. Suomen Akatemia. Sähköautossa on tulevaisuus. [www-sivu] [viitattu 2/2010]
<http://www.aka.fi/fi/A/Suomen-Akatemia/Tama-on-Akatemia/Ajankohtaista/Sahkoautossa-on-tulevaisuus/>
52. Electro automotive. AC Control System. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://www.electroauto.com/catalog/accontrol.shtml>
53. MES-DEA. DC/DC Converter. [online] [viitattu 3/2010]
<http://www.atea.it/pdf/Dcdc-Converter-1-2-kW.pdf>
54. Privatenerg. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://privatenerg.com>
55. Maxwell. Design considerations for ultracapacitors. [online] [viitattu 3/2010]
http://www.maxwell.com/pdf/uc/Design_in_Guide.pdf
56. How stuff works. How Regenerative Braking works. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking1.htm>

57. How stuff works. How Regenerative Braking works. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking.htm>
58. How stuff works. How Regenerative Braking works. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking6.htm>
59. How stuff works. How Regenerative Braking works. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking2.htm>
60. How stuff works. How Regenerative Braking works. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking5.htm>
61. Sähköautot Nyt. Miksi sähköauto? – Ratkaisu moneen. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://www.sahkoautot.fi/miksi:ratkaisu-moneen>
62. Tesla Motors. Design. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://www.teslamotors.com/design/gallery-body.php>
63. Sähköautot Nyt. Sähköautokonversion kaupalliset ja projektilliset vaatimukset. [www-sivu] [viitattu 3/2010]
<http://www.sahkoautot.fi/wiki:sahkoeautokonversion-kaup-ja-proj-vaatimukset>
64. Sähköautot Nyt. Sähköautomuunnoksen viranomaisvaatimukset. [www-sivu] [viitattu 3/2010] <http://www.sahkoautot.fi/wiki:sahkoeautokonversion-viranomaisvaatimukset>

65. Sähköautot Nyt. Sähköautomuunnoksen olosuhdevaatimukset. [www-sivu] [viitattu 3/2010] <http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautokonversion-olosuhdevaatimukset>

66. Sähköautot Nyt. Sähköautomuunnoksen yleisiä vaatimuksia. [www-sivu] [viitattu 3/2010] <http://www.sahkoautot.fi/wiki:saehkoeautokonversion-yleisiae-vaatimuksia>

67. Thunder Sky Energy Group Limited, 2007. [online] [Viitattu 3/2010] <http://www.thunder-sky.com/pdf/TS-LFP60.pdf>

68. Hietalahti, Lauri 2008. Hybridimateriaali, Hybridi-2008-05.pdf. Tampereen ammattikorkeakoulu