



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

SÄHKÖ- JA HYBRIDIAUTOJEN VOIMANSIIRTOJÄR- JESTELMIEN JÄNNITETASOT

**Voltage levels in electric and hybrid electric propulsion
systems**

Miia-Marjut Tiainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Miia-Marjut Tiainen

Sähkö- ja hybridautojen voimansiirtojärjestelmien jännitetasot

Kandidaatintyö

2011

32 sivua, 8 kuvaa, 8 taulukkoa, 5 liitettä

Tarkastaja: TkT Lasse Laurila

Hakusanat: hybridautot, jännitetasot, sähköautot, voimansiirtojärjestelmä

Kasvihuonekaasu- ja hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet viimeisten vuosikymmenten aikana merkittävästi. Merkittävimpiä päästöjen lähteitä ovat liikenteessä ja energiantuotannossa käytetyt fossiiliset polttoaineet. Kaikista maailman kasvihuonepäästöistä liikenne aiheuttaa noin 13 %, josta yli 80 % on tieliikenteen aiheuttamia päästöjä. Jotta tieliikenteen aiheuttamia päästöjä saataisiin vähennettyä on tieliikenteeseen kehitettävä yhä vähäpäästöisempiä ja päästöttömiä kulkuvälineitä. Tämä on ollut yksi päätekijä sähkö- ja hybridautojen kehitykseen.

Tässä kandidaatintyössä selvitetään sähkö- ja hybridautoissa käytettyjä jännitetasoja sekä voimansiirtojärjestelmissä käytettyjä komponentteja. Työ rajoittuu ainoastaan henkilöautoihin, joista tarkastelun kohteena ovat sähkö-, hybridi- ja muunnossähköautot. Työssä tarkastellaan myös sähkö- ja hybridautojen tulevaisuuden näkymiä turvallisuuden ja standardoinnin kannalta.

Työssä esitettyjen tietojen perusteella saadaan selkeä näkemys siitä, miten käytetyt jännitetasot ja komponentit vaihtelevat eri autovalmistajien kesken. Korkeammat jännitetasot ovat energiatehokkuuden kannalta parempia, mutta aiheuttavat vaatimuksia käyttöturvallisuuden liittyvissä kysymyksissä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme in Electrical Engineering

Miia-Marjut Tiainen

Voltage levels in electric and hybrid electric propulsion system

Bachelor's Thesis

2011

32 pages, 8 pictures, 8 tables, 5 appendices

Examiner: D.Sc. Lasse Laurila

Keywords: hybrid electric vehicle, voltage levels, electric vehicle, propulsion system

Greenhouse gas emissions and CO₂ emissions has grown significantly during the last few decades. The most significant sources of emissions are the fossil fuels used in traffic and energy production. The traffic produces approximately 13 % of the world's greenhouse gas emissions, from which over 80 % is caused by road traffic. In order to reduce the emissions caused by road traffic the development of the clean-running and zero emission vehicles must continue. This has been one main reason for ongoing development of electric and hybrid electric vehicles.

The purpose of this Bachelor's thesis is to clarify voltage levels and components in electric and hybrid electric propulsion system. The thesis is outlined to focus on passenger cars in which electric vehicles, hybrid electric vehicles and conversion electric vehicles are considered. In addition, the thesis examines future views of the safety issues and standardization in electrics and hybrid electric vehicles.

From the data presented in the Thesis it can be seen how the voltage levels and components in the propulsion systems differs between car manufacturers. With higher voltage levels the energy efficiency is better, but the questions in safety must be considered.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto.....	6
2 SÄHKÖ- JA HYBRIDIAUTOJEN VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMÄT.....	8
2.1 Sähköautojen voimansiirtojärjestelmät	8
2.2 Hybridiautojen voimansiirtojärjestelmät	9
2.2.1 Sarjahybridi.....	10
2.2.2 Rinnakkaishybridi.....	10
2.2.3 Jaetun tehon hybridi.....	11
2.2.4 Plug-in hybridi.....	12
3 VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMIEN KOMPONENTIT.....	13
3.1 Energiavarastot.....	13
3.1.1 Akut	13
3.1.2 Superkondensaattorit	15
3.2 Hakkurit ja taajuusmuuttajat	15
3.3 Sähkömoottori.....	16
3.4 Sähkö- ja plug-in-hybridiautojen lataus	16
4 VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMIEN JÄNNITETASOT	18
4.1 Sähköautojen jännitetasot.....	18
4.1.1 Mitsubishi iMiEV.....	21
4.2 Muunnossähköautojen jännitetasot	22
4.2.1 eCorolla.....	23
4.3 Hybridiautojen jännitetasot.....	24
4.3.1 Hybridiautojen vertailu	26
4.3.2 Toyota Prius hybridi	26
5 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT.....	29
5.1 Turvallisuus	29
5.2 Lataus ja standardit.....	30
6 Yhteenveto.....	31
LÄHTEET.....	33
LIITTEET:	
LIITE I	SÄHKÖAUTOT
LIITE II	MUUNNOSSÄHKÖAUTOT
LIITE III	AASIALAISVALMISTAJIEN HYBRIDIAUTOT
LIITE IV	EUROOPPALAISVALMISTAJIEN HYBRIDIAUTOT
LIITE V	AMERIKKALAISVALMISTAJIEN HYBRIDIAUTOT

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT**Lyhenteet**

AKL	Autoalan keskusliitto ry
Li-ion	Litium-ioni
LiFePo ₄	Litiumrautafosfaatti
LiNiCoMn ₂	Litium-nikkeli-koboltti-mangaani
LiPo	Litiumpolymeeri
NiMH	Nikkelimetallihybridi
TUKES	Turvatekniikan keskus

Merkinnät

<i>U</i>	jännite
----------	---------

Alaindeksit

batt	akku
mot	moottori

1 JOHDANTO

Kasvihuonekaasu- ja hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet merkittävästi viimeisen neljänkymmenen vuoden aikana. Tämän seurauksena kasvihuoneilmiö voimistuu ja maapallon ilmasto muuttuu vallitsevan nykykäsityksen mukaan. Merkittävimpiä päästöjen lähteitä ovat liikenteessä ja energiantuotannossa käytettävät fossiiliset polttoaineet kuten öljy, hiili ja maakaasu. Liikenne aiheuttaa noin 13 % kaikista maailman kasvihuonepäästöistä, esimerkiksi Suomessa liikenne tuottaa noin viidenneksen Suomen kasvihuonepäästöistä. Suomessa liikenteen päästöt ovat kasvaneet, pääasiassa tieliikenteen kasvun takia, yli puolella vuoteen 1980 verrattuna. Tieliikenne aiheuttaa yli 80 % liikenteen päästöistä. Jotta tieliikenteen päästöjä saataisiin vähennettyä, kehitetään tieliikenteeseen yhä vähäpäästöisempiä ja päästöttömiä kulkuvälineitä. Tavoite vähäpäästöisemmistä ja päästöttömistä kulkuvälineistä on ollut yksi päätekijä sähkö- ja hybridautojen kehitykseen. (Ilmasto, 2010)

Sähköautoja on ollut liikenteessä jo 1800-luvun loppupuolelta asti, mutta polttomoottorien kehitys ja sähköautojen painavat lyijyakut sekä lyhyt toimintasäde johtivat energiatihedeltään parempia energialähteitä hyödyntävien polttomoottoriautojen yleistymiseen. Polttomoottoriautot syrjäyttivät sähköautot lähes kokonaan, mutta sähköautoja on kuitenkin satunnaisesti valmistettu eri valmistajien toimesta tämänkin jälkeen. Perinteisen polttomoottoriauton ja sähköauton hyviä ominaisuuksia omaavien hybridautojen kehitys 1990-luvun puolenvälin jälkeen on edesauttanut kokonaan sähköllä toimivien autojen kehitystä. Varsinaisen sähköautojen kehityksen ja tuotannon voidaan sanoa alkaneen vasta 2000-luvulla, joka on havaittavissa markkinoille tulevien sähköautojen määrästä. Varsinkin vuosi 2010 on ollut sähköautojen kannalta merkittävä vuosi, koska suuret autovalmistajat ovat tuoneet markkinoille omat sähköautonsa.

Tämän hetken tuotannossa olevien sähkö- ja hybridautojen tekniikka on vielä kehitysasteella, jonka vuoksi vakiintuneita voimansiirron jännitetasoja ei vielä ole. Jännitetasojen ollessa korkeampia, saadaan häviöitä minimoitua ja siten hyötysuhdetta kasvatettua. Kuitenkin korkeampi jännitetaso tuo turvallisuusvaatimuksia esimerkiksi onnettomuustilanteiden, käyttöturvallisuuden ja huollon kannalta. Tässä kandidaatintyössä on tavoitteena selvittää eri sähkö- ja hybridautovalmistajien käyttämät jännitetasot sekä selvittää voimansiirtojärjestelmässä käytetyt komponentit. Työ rajoittuu ainoastaan henkilöautoihin, joista tarkastelun kohteena ovat sähkö-, hybridi- ja muunnossähköautot.

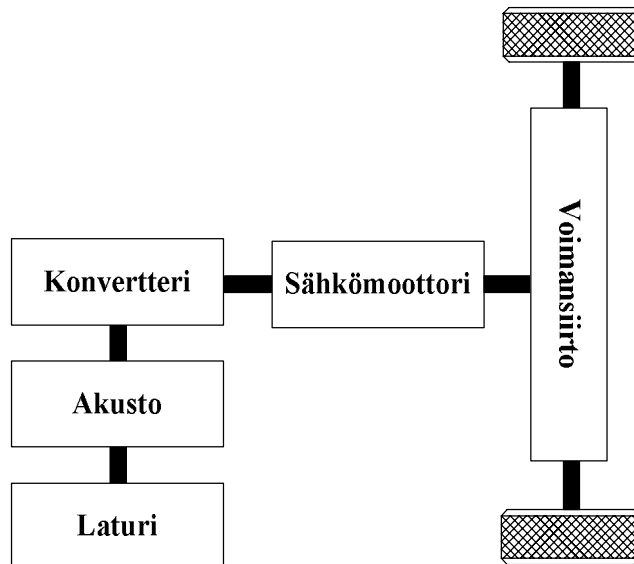
Työn alkuosuudessa esitetään yleisesti sähkö- ja hybridautojen tekniikkaa ja komponentteja luvuissa 2 ja 3. Tämän jälkeen tarkastellaan sähkö- ja hybridautoissa käytettyjä jännite-tasoja taulukoiden avulla luvussa 4. Tarkastelun kohteena ovat tehdasvalmisteiset hybridi- ja sähköautot sekä muunnos- ja konseptisähköautot. Luvussa 4 esitetään myös yksinker-taisien lohkokaavioiden avulla sähkö-, muunnossähkö- ja hybridautossa tehtäviä jännite-muunnoksia. Esimerkkitapauksena esiteltävänä sähköautona on Mitsubishi Motors:n val-mistama i MiEV, muunnossähköautona [Sähköautot – Nyt!](#)-hankkeen valmistama eCorolla ja hybridautona Toyotan valmistama Prius. Työn loppuosuudessa tarkastellaan sähkö- ja hybridautojen tulevaisuuden näkymiä useista eri näkökulmista, kuten turvallisuuden ja standardoinnin kannalta.

2 SÄHKÖ- JA HYBRIDIAUTOJEN VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMÄT

Sähköautolla tarkoitetaan ajoneuvoa, jonka voimanlähteenä toimii yksi tai useampi sähkömoottori. Sähkömoottorin tarvitsema sähköenergia saadaan energialähteinä toimivista akuista, kun vastaavasti polttomoottoriautossa energialähteenä toimii polttoaine. Verrattaessa sähkö- ja polttomoottoriauton pyörille tulevan energian suhdetta energialähteen luovuttamaan energiaan, saadaan sähköauton hyötysuhteeksi noin 70–83 % ja polttomoottoriauton hyötysuhteeksi yleensä noin 15–18 % (Biomeri, 2009). Tämän perusteella voidaan sanoa, että sähköauton hyötysuhde on noin 4–5-kertainen polttomoottoriautoon nähden. Sähköauton muita etuja polttomoottoriautoon nähden on rakenteen yksinkertaisuus, vähäinen huollon tarve ja hiljaisuus. Polttomoottorikäyttöisen auton energiatehokkuutta saadaan parannettua lisäämällä sähkömoottori ja sähköinen energiavarasto auton voimansiirtoketjuun, jolloin puhutaan hybridiautosta.

2.1 Sähköautojen voimansiirtojärjestelmät

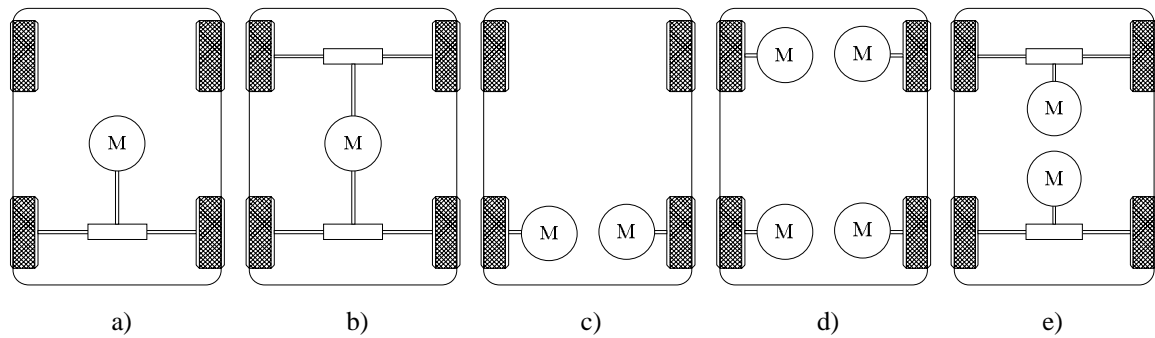
Sähköauton voimansiirtojärjestelmä muodostuu pääasiallisesti yhdestä tai useammasta sähkömoottorista, konvertterista ja akustosta. Kuvassa 2.1 on esitetty sähköauton voimansiirtojärjestelmän periaatteellinen lohkokaavio.



Kuva 2.1 Sähköauton voimansiirtojärjestelmän periaatteellinen lohkokaavio.

Tyypillisesti sähköautoissa, joissa voimanlähteenä on yksi sähkömoottori, voimansiirtojärjestelmä on kuvan 2.1 mukainen tai toteutettu siten, että moottori toimii sekä etu- että taka-

renkaiden voimanlähteenä samanaikaisesti. Käytettäessä useampia sähkömoottoreita voimanlähteenä, moottorit kytketään suoraan renkaisiin. Uutena ratkaisuna on kahden sähkömoottorin voimansiirtojärjestelmä, jossa vetävät akselit eivät ole mekaanisesti kytkettynä toisiinsa. (Mutoh, 2009) Kuvassa 2.2 on esitetty sähköauton voimansiirtojärjestelmän rakenteen eri toteutustapoja.



Kuva 2.2 Sähköauton voimansiirtojärjestelmän rakenteen eri toteutustavat: a) yksi vetävä akseli yhdellä moottorilla, b) neliveto yhdellä moottorilla, c) voimansiirto kahdella moottorilla ilman vetävää akselia, d) voimansiirto neljällä moottorilla ilman vetäviä akseleita ja e) voimansiirto kahdella vetävällä akselilla ja moottorilla. (Mutoh, 2009)

Kuvassa 2.2 esitetyistä voimansiirron rakenteen toteutustavoista a)-, b)- ja e)-kohdat sisältävät voimansiirron akselin. Vastaavasti kohdissa c) ja d) voimansiirto on toteutettu kytkemällä moottori suoraan renkaaseen kiinni, jolloin voimansiirrossa tapahtuvat mekaaniset häviöt pienenevät. Lisäksi sähköauton voimansiirtojärjestelmä voidaan toteuttaa siten, että sähkömoottori on sijoitettu renkaan vanteen sisäpuolelle, jolloin puhutaan niin sanotuista napamoottoreista.

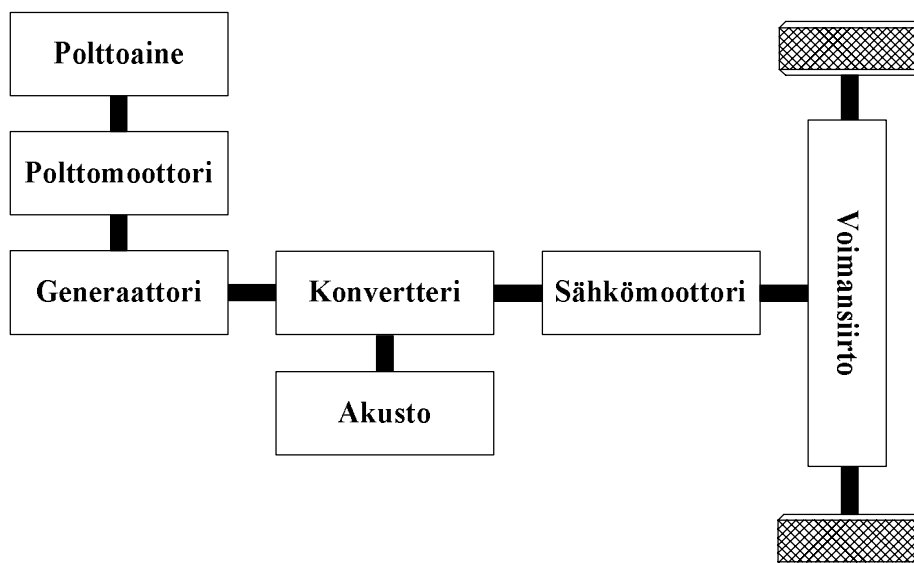
2.2 Hybridiautojen voimansiirtojärjestelmät

Hybridiautoissa perinteisen polttomoottorin lisäksi voimanlähteenä toimii toinen moottori, joka yleensä on sähkömoottori. Toteuttamalla auton voimansiirto hybriditekniikalla polttomoottoria voidaan käyttää mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Hybridiautot voidaan jakaa perinteisiin hybrideihin ja verkosta ladattaviin eli plug-in hybrideihin. Perinteisen hybridiauton akuston latauksessa ei käytetä lainkaan ulkoista lähdettä, vaan akuston lataus tapahtuu polttomoottorin ja jarrutusenergian talteenoton avulla. Vastaavasti plug-in hybrideissä akustoa voidaan ladata myös ulkoisesta lähteestä. Hybridiautot voidaan jakaa lisäksi

myös hybridivoimansiirron rakenteen pohjalta sarja-, rinnakkais- ja jaetun tehon hybrideiksi. (Biomeri, 2009)

2.2.1 Sarjahybridi

Sarjahybridissä sähkömoottorin tarvitsema energia saadaan joko akustolta, erillisen generaattorin avulla polttomoottorilta tai samanaikaisesti molemmilta energialähteiltä. Sarjahybridissä sähkömoottori on kytketty polttomoottorin kanssa sarjaan siten, että polttomoottorilla ei ole mekaanista yhteyttä kuorman kanssa eli toisin sanoen sähkömoottori tuottaa kaiken kuorman tarvitseman energian. Koska polttomoottorilla ei ole mekaanista yhteyttä kuorman kanssa, voidaan se mitoittaa toimimaan optimaalisessa toimintapisteessä päästöjen ja kulutuksen kannalta (Hännikäinen, 2010). Sarjahybridin heikkoutena vastaavasti on se, että käytettäessä useampaa sähkökonetta voimansiirron kokonaishyötysuhde laskee. Sarjahybridi soveltuu hyvin ajosykleihin, jotka sisältävät paljon pysähdyksiä ja liikkeelle lähtöjä. (Liu, 2008) Kuvassa 2.3 on esitetty sarjahybridin voimansiirtojärjestelmän periaatteellinen rakenne.

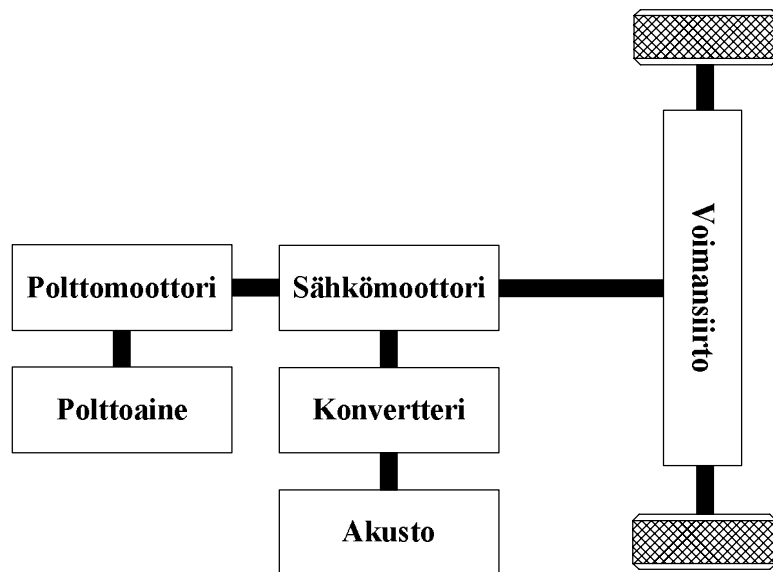


Kuva 2.3 Sarjahybridin voimansiirtojärjestelmän periaatteellinen rakenne. (Hännikäinen, 2010)

2.2.2 Rinnakkaishybridi

Rinnakkaishybridissä sähkömoottori on kytketty polttomoottorin kanssa rinnan siten, että molemmilla on suora mekaaninen yhteys kuormaan. Tällöin kuormalle voidaan syöttää tehoa suoraan sähkömoottorilta, polttomoottorilta tai käyttämällä molempia moottoreita yhtä aikaisesti. Sähkömoottori toimii jarrutustilanteessa generaattorina, jolloin jarru-

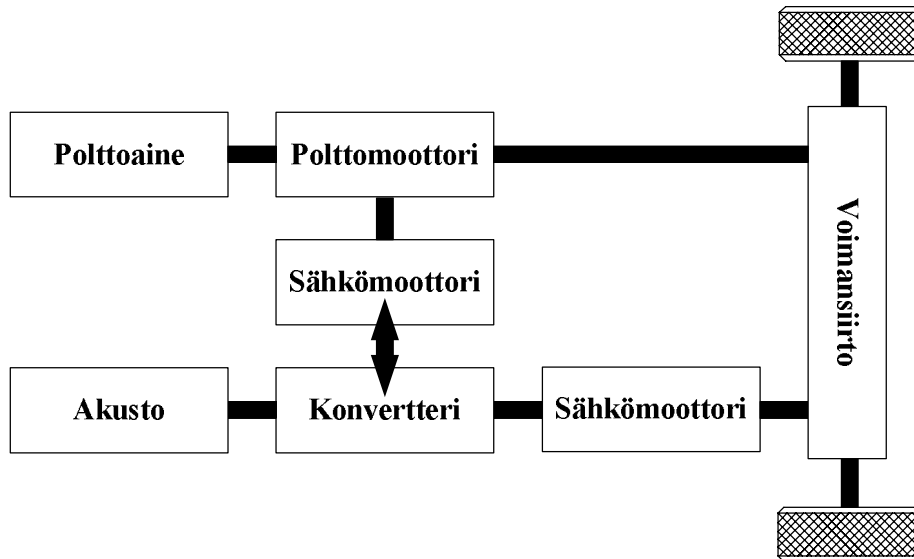
tusenergia saadaan otettua talteen. Suora mekaaninen yhteys kuormaan mahdollistaa saman suorituskyvyn saamisen käyttämällä entistä pienempää polttomoottoria ja sähkömoottoria, mutta estää polttomoottorin toiminnan mitoittamisen sen optimaaliseen toimintapisteeseen. Rinnakkaishybridin etuna sarjahybridiin verrattuna on se, että rinnakkaishybridirakenne tarvitsee vain yhden sähkökoneen, jolloin voimansiirron kokonaishyötysuhde paranee. Kuvassa 2.4 on esitetty rinnakkaishybridin voimansiirtojärjestelmän periaatteellinen rakenne. (Ehsani, 2007)



Kuva 2.4 Rinnakkaishybridin voimansiirtojärjestelmän periaatteellinen rakenne. (Immonen, 2008)

2.2.3 Jaetun tehon hybridi

Kuvassa 2.5 esitetyssä jaetun tehon hybridissä pyritään yhdistämään sarja- ja rinnakkais-hybridin hyvät ominaisuudet samanaikaisesti. Hybridijärjestelmässä on polttomoottori, generaattori, sähkömoottori ja erillinen tehonjakaja kuten esimerkiksi planeettavaihteisto. Tehonjakajan avulla polttomoottori, generaattori, sähkömoottori ja kuorma saadaan kytkettyä toisiinsa. Jaetun tehon hybridissä voimanlähteenä käytetään joko pelkkää polttomoottoria, pelkkää sähkömoottoria tai molempia yhtä aikaisesti. (Hännikäinen, 2010) Esimerkiksi Toyota Prius hybridiauton voimansiirto on toteutettu jaetun tehon hybridirakenteella.



Kuva 2.5 Jaetun tehon hybridin periaatteellinen rakenne. (Hännikäinen, 2010)

2.2.4 Plug-in hybridi

Ladattavassa hybridiautossa yhdistyvät sähkö- ja hybridiauton hyvät ominaisuudet. Akusto voidaan ladata verkkovirralla ja akuston kapasiteetti on suurempi kuin tavallisissa hybridiautoissa. Tämä mahdollistaa ajon useiden kymmenien kilometrien ajan käyttämällä pelkkää sähköistä voimansiirtoa, mutta tarvittaessa voidaan siirtyä hybridivoimansiirtoon. (Hännikäinen, 2010)

3 VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMIEN KOMPONENTIT

Sähkö- ja hybridautojen voimansiirtojärjestelmien pääkomponentteja ovat akut, hakkurit, taajuusmuuttajat ja sähkökoneet. Sähköautoissa pääasiallisena energiavarastoina ja -lähteinä toimivat akut, kun taas hybridautoissa energiavarastona toimivat akut ja energialähteenä sekä akut että polttoaine. Jännitteiden muuntamiseen sähkö- ja hybridautoissa käytetään hakkureita ja taajuusmuuttajia.

3.1 Energiavarastot

Energiavaraston valinnassa huomioonotettavia ominaisuuksia ovat muun muassa energia- ja tehotiheys, hyötysuhde, hinta, lämpötilan hallinta, ajosykli, turvallisuus, huollettavuus, hallittavuus ja käyttöikä. Energiavaraston valinta tulee tehdä aina sovelluskohtaisesti ja sen valintaan vaikuttaa sähkö- tai hybridauton tarvitsema sähköinen teho ja energia. Energiavarastoina voidaan käyttää muun muassa akkuja, superkondensaattoreita ja niiden yhdistelmiä. Etenkin hybridautoissa energiavarastoina kuitenkin käytetään pääsääntöisesti vain akkuja. Superkondensaattoreita käytetään tyypillisesti työkoneiden energiavarastoissa ja isommissa sähköajoneuvoissa. Myös joissakin sähköautoissa käytetään superkondensaattoreita - esimerkkinä mainittakoon Pininfarina B0 sähköauto, jossa energiavarastona käytetään Litium-polymeeriakuston ja superkondensaattorin yhdistelmää (Mikkola, 2009).

Sähköautoissa ja ladattavissa hybridautoissa energiavaraston ominaisuuksilla ja hinnalla on suurempi merkitys kuin perinteisissä hybridautoissa. Varsinkin sähköautoissa akkujen edullinen hinta ja elinikä ovat tärkeitä kriteereitä, koska akut muodostavat merkittävimmän osan sähköautojen hinnasta.

3.1.1 Akut

Akku on sähkökemialliseen reaktioon perustuva energiavarasto. Sähkökemiallisen reaktion (hapetus-pelkistys) ansiosta akku tuottaa energiaa. Tarkasteltaessa akkujen ominaisuuksia puhutaan energia- ja tehotiheyksistä. Energiatiheydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon energiaa pystytään akkuun varastoimaan tilavuusyksikköä tai massayksikköä kohden. Vastaavasti tehotiheydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon akkuun pystytään varastoimaan tehoa tilavuusyksikköä tai massayksikköä kohden. Energiatiheys vaikuttaa ajoneuvon ajomatkan maksimipituuteen ja tehotiheys vaikuttaa esimerkiksi ajoneuvon kykyyn kiihdyt-

tää. Suuri energiatiheys ja suuri tehotiheys ovat keskenään osittain ristiriitaisia vaatimuksia, sillä toisen tiheyden maksimoiminen heikentää yleensä toista tiheyttä. Esimerkiksi käytettäessä akkua suurilla tehoilla, akuston sisäiset johdotukset joudutaan tekemään paksuiksi häviöiden pienentämiseksi. Tämä taas pienentää akun energiatiheyttä, koska akkuun ei tällöin mahdu niin paljon reagoivaa ainetta. (Biomeri, 2009) Taulukossa 3.1 on vertailtu muutaman energiavaraston energia- ja tehotiheyttä sekä hyötysuhdetta.

Taulukko 3.1 Lyijy-, NiMH- ja Li-ion-akkujen sekä superkondensaattorin energiatiheys, tehotiheys ja hyötysuhde. (Immonen, 2008)

Energiavarasto	Energiatiheys [Wh/kg]	Tehotiheys [W/kg]	Hyötysuhde [%]
Lyijyakku	28	75	80
NiMH-akku	55	140	78
Li-ion akku	95	1000	98
Superkondensaattori	2,3	2900	90–98

Taulukosta 3.1 nähdään, että Li-ion akulla on suurempi energia- ja tehotiheys sekä hyötysuhde verrattessa sitä muihin taulukossa esittyihin akkutyyppeihin. Superkondensaattorin tehotiheys on Li-ion akkua suurempi, mutta sen energiatiheys on huomattavasti pienempi.

Sähkö- ja hybridautoissa akkujen toiminnan kannalta niiden lämpötilan tulisi pysyä, akun tyypistä riippuen, tietyllä lämpötila-alueella. Kylmiin olosuhteisiin tulevilla autoilla on huomioitava tämä asia erillisellä akunlämmitysjärjestelmällä. Akuston oikeanlaisen toiminnan takaamiseksi tarvitaan akuston hallintajärjestelmä. Hallintajärjestelmä tarkkailee akkukennojen parametreja kuten jännitteitä, virtoja ja akun sisälämpötilaa sekä ympäristön lämpötilaa, kun akustoa ladataan tai puretaan. Hallintajärjestelmä sisältää suojauksen, joka aiheuttaa hälytyksen tai erottaa akuston kuormasta tai laturista, kun joku edellä mainituista parametreista poikkeaa annetusta toleranssista. Ajoneuvossa akuston hallintajärjestelmän täytyy toimia reaaliaikaisesti nopeasti muuttuvissa lataus- ja purkausolosuhteissa, kun ajoneuvo kiihdyttää tai jarruttaa. (Hännikäinen, 2010)

Akuston varaustilan hallinta on yksi tärkeimmistä hallintajärjestelmän tehtävistä. Varaustilan tarkka määrittäminen on tärkeää ajoneuvon tehokkaan ja turvallisen energian hallinnan kannalta. Kuitenkin varaustilan arvioiminen on hankalaa, sillä akun terminaalijännite ei ole suoraan verrannollinen akun varaustilaan. Akuston varaustilalle määritellään tietyt toimin-

tarajat. Ylärajaksi valitaan esimerkiksi varaustilaksi 80 %, jolloin voidaan ehkäistä akuston yllilatauksen mahdollisuus. Vastaavasti alaraja valitaan siten, että akustoa ei pureta liian tyhjäksi, jolloin esimerkiksi hybridikäyttö ei olisi mahdollista. Toisaalta myös akustossa ei tällöin tapahdu niin sanottua syväpurkausta, joka aiheuttaa akun ennen aikaista vanhene- mista. (Hännikäinen, 2010)

3.1.2 Superkondensaattorit

Superkondensaattori on kondensaattori, johon voidaan varata suuri määrä energiaa verrat- tuna tavallisiin kondensaattoreihin. Toiminnaltaan superkondensaattori vastaa akkua, mutta siinä ei tapahdu kemiallista reaktiota kuten akussa. Koska kemiallista reaktiota ei tapahdu, superkondensaattori kestää miljoonia lataus- ja purkaussyklejä. Akkujen tapauksessa vas- taavasti litiumpohjaiset akut kestävät 1000–3000 latausta ja nikkeli-metallihybridiaikut alle 1000 latausta (Eskola, 2010). Tämän lisäksi superkondensaattorin muita ominaisuuksia ovat hyvä hyötysuhde, suuri tehotiheys, huoltovapaus, laaja toimintalämpötila-alue sekä nopea purkaus- ja lataussykli.

Superkondensaattorin tehotiheys on suurempi kuin akuilla, mutta vastaavasti akuilla on suurempi energiatiheys. Pienen energiatheyden sekä jännitteestä riippuvaisen varaustilan takia superkondensaattorin käyttö energiavarastona yksinään on ongelmallista. Superkon- densaattoria kannattaakin käyttää jonkin toisen energiavaraston kuten esimerkiksi akun kanssa yhdessä eli hybridien energiavarastona. Hybridien energiavarastossa pääenergiälähteenä toimivat akut ja tehopiikeistä huolehtivat superkondensaattorit. Superkondensaattorin ja akun yhdistelmällä on mahdollista saada energiavaraston pienempi koko ja pidempi käyt- töikä. Tällöin kuitenkin järjestelmästä tulee monimutkaisempi. (Ehsani, 2007) (VTT, 2003)

3.2 Hakkurit ja taajuusmuuttajat

Hakkureita eli DC/DC-muuntimia käytetään nostamaan tai laskemaan tulojännite halutun suuruiseksi lähtöjännitteeksi. Sähkö- ja hybridautoissa käytetään erityisesti *Step-down*- hakkureita muuntamaan korkeajänniteakuilta tuleva jännite perinteiselle 12 V apujärjes- telmälle sopivaksi. Vastaavasti *Step-up*-hakkureita käytetään nostamaan akustolta saatavaa jännitettä korkeammaksi. Esimerkiksi Toyota Prius hybridautoissa akustolta saatava jänni- te nostetaan *Step-up*-hakkurilla sähkömoottoria ohjaavalle taajuusmuuttajalle. Toisaalta *step-up*- ja *step-down*-hakkureita käytetään myös akuston latausjännitteen muuttamiseen.

Sähkö- ja hybridautoissa taajuusmuuttajan pääasiallinen käyttökohde on sähkökoneen ohjaus neljässä virta-jännite-tason kvadrantissa, jolloin tehoa voidaan siirtää energialähteeltä kuormalle ja kuormalta takaisin energialähteelle. Energiavarastolta tuleva tasajännite muutetaan vaihtojännitteeksi sähkökoneelle ja vastaavasti sähkökoneelta saatava vaihtojännite tasajännitteeksi takaisin energiavarastolle.

3.3 Sähkömoottori

Sähkö- ja hybridautojen voimansiirtojärjestelmien sähkömoottoreina voidaan käyttää sekä tasavirta- että vaihtovirtamoottoreita. Sähkömoottorilta vaadittavia ominaisuuksia ovat muun muassa suuri lähtövääntömomentti, laaja nopeusalue, hyvä hyötysuhde, pieni koko ja edullisuus. Jotta sähkömoottori pystyisi tuottamaan suuren lähtövääntömomentin ja nopeuden on koneen kentänheikennyskyvyn oltava hyvä.

Tasavirtamoottorin tehollinen kierroslukualue on kapea, minkä takia ajoneuvokäytössä joudutaan useasti käyttämään vaihteistoa. Vaihtovirtamoottorilla on vastaavasti laaja tehollinen kierroslukualue ja suuri vääntömomentti, minkä vuoksi ajoneuvokäytössä erillistä vaihteistoa ei tarvita. Tällöin myös huollon tarve vähenee. Vaihtovirtamoottorin jäähdytys voidaan toteuttaa yksinkertaisesti neste- tai ilmajäähdytyksenä. Tasavirtamoottorin jäähdytyksen toteuttaminen nestejäähdytteisesti on ongelmallista, käytännössä jäähdytys joudutaan toteuttamaan puhallin jäähdytyksellä. Hyötysuhteeltaan tasavirtamoottori on huonompi, mutta hankintahinnaltaan vaihtovirtamoottoria halvempi. (Palmumaa, 2009)

Sähkömoottorin etuina polttomoottoriin nähden on sen korkeampi hyötysuhde ja vähäinen huollontarve. Pääasiallinen huollontarve on laakerien rasvaus ja jäähdytyspuhaltimet. Huollontarpeeseen vaikuttaa myös valittu sähkömoottorityyppi, esimerkiksi hiiliharjallinen tasavirtamoottori vaatii huoltoa arviolta 2000–10000 kilometrin välein, jolloin hiilet joudutaan vaihtamaan uusiin (Palmumaa, 2009).

3.4 Sähkö- ja plug-in-hybridautojen lataus

Sähkö- ja plug-in-hybridautojen lataustehot voidaan jakaa hitaaseen lataukseen, puolinopeaan lataukseen ja pikalataukseen. Suomalaisessa sähkönjakelun infrastruktuurissa

hitaalla latauksella tarkoitetaan yksivaiheista latausta, joka mahdollistaa maksimissaan 2,3 kW tai 3,6 kW lataustehon. Puolinopealla latauksella tarkoitetaan puolestaan kolmivaiheista latausta, joka mahdollistaa maksimissaan 11–22 kW lataustehon. Vastaavasti pikalatauksella tarkoitetaan lataustapoja, joiden lataustehot yltyvät kymmenistä kilowateista useisiin satoihin kilowatteihin. (Biomeri, 2009)

Käytetyt latausjännitteet ja akkujen jännitteet vaikuttavat lataushyötysuhteeseen. Ladattaessa akkua 230 V:n verkosta, paras lataushyötysuhde saadaan, kun akun jännite olisi noin 350–400 V. Vastaavasti ladattaessa akkua 400 V:n kolmivaiheverkosta, paras lataushyötysuhde saadaan, kun akun jännite olisi noin 600–700 V. Nämä latausmenetelmät voitaisiin toteuttaa yksinkertaisesti 1- ja 3-vaiheisilla dioditasasuuntaajilla. Tällöin lataushyötysuhdetta heikentäviltä ylimääräisiltä konversioilta vältyttäisiin, koska DC/DC-muunninta ei tarvittaisi jännitetasojen muuntamiseen. (Biomeri, 2009)

4 VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMIEN JÄNNITETASOT

Eurooppalainen luokitus pienjännitteelle tasasähkön tapauksessa on 75 V–1500 V ja vaihtosähkön tapauksessa 50 V–1000 V. Näistä arvoista pienemmät jännitteet luokitellaan pienisjännitteeksi, kuten autojen 12 V:n apujärjestelmä. Tyypillisesti sähkö- ja hybridautojen tasajännitetasot ovat kymmenistä volteista muutamiin satoihin voltteihin. Vastaavasti vaihtojännitetasot voivat olla jopa lähes 700 V:n luokkaa. Käytettäessä korkeampia jännitetasoja saadaan häviöitä minimoitua ja siten hyötysuhdetta kasvatettua. Kuitenkin korkeampi jännitetaso tuo turvallisuusvaatimuksia esimerkiksi onnettomuustilanteiden, käyttöturvallisuuden ja huollon kannalta. Käytännössä huoltotöissä joudutaan lähes aina tekemään jännitetöitä, joka edellyttää työntekijältä sähköalan tutkintoa. Muut kuin sähköalan ammattilaiset saavat käytännössä työskennellä enintään 50 V vaihtojännitteellä ja enintään 120 V tasajännitteellä toimivien sähkölaitteiden parissa, jos hänet on perehdytetty tai opastettu näihin tehtäviin voimassaolevien turvallisuusvaatimusten mukaisesti (Tukes, 2011). Näistä tasoista suuremmilla jännitetasoilla työskentely luokitellaan jännitetetyksi.

Tässä luvussa on esitetty eräiden sähkö- ja hybridautojen voimansiirtojärjestelmien komponenteista moottori- ja akkutyypit sekä niiden nimelliset jännitteet. Lisäksi on esitetty akun kapasiteetti ja sähköautojen tapauksessa arvio autolla päästävästä matkasta. Sähköautolla päästävä matka on arvio, sillä ajomatka riippuu useasta muuttujasta, kuten sääolosuhteista, maastosta ja ajotavasta. Taulukoissa litium-pohjaiset akut ovat merkitty Li-ion, kun tarkkaa tietoa akun tyypistä ei ole. Lisäksi tässä luvussa on esitetty muutamasta autosta niiden voimansiirtojärjestelmän jännitemuunnokset periaatteellisilla lohkoakaaviokuvilla. Työn loppuosassa olevissa liitteissä on esitetty tarkempaa tietoa tässä luvussa esitettyjen autojen tiedoista ja lähteistä.

4.1 Sähköautojen jännitetasot

Tässä luvussa käydään läpi konsepti- ja esittelysähköautoja sekä myynnissä olevia ja myyntiin tulevia sähköautoja. Taulukossa 4.1 on esitetty muutamien konsepti- ja esittelysähköautojen moottori- ja akkutyypit, niiden jännitteet, akun kapasiteetti sekä arvio auton ajomatkasta.

Taulukko 4.1 Sähköautojen moottori- ja akkutyypit, niiden jännitteet, akun kapasiteetti sekä auton ajomatka. Lisätietoja ja viitteet/lähteet liitteessä I.

Valmistaja	Malli	Moottori	U_{mot} [V]	Akku	U_{batt} [V]	Akun kapasiteetti	Matka [km]
Audi	A1 e-tron	Synkronimoottori		Li-ion	380	12 kWh	48
Audi	R8 e-tron	4 x Oikosulku-moottori		LiFePO ₄	400	53 kWh	250
Mercedes-Benz	SLS	Synkronimoottori		Li-ion	400	48 kWh	210
Metropolia	ERA	Kestomagnetoitu synkronimoottori		Litium-titaani	343-415	32 kWh	200
Valmet automotive	Eva	Kestomagnetoitu synkronimoottori	240	Li-ion	355	35,5 kWh	160

Taulukosta 4.1 nähdään, että kaikissa esitetyissä sähköautoissa akuston jännite on yli 300 V ja akkutyypinä ovat litium-pohjaiset akut. Moottorityypinä on käytetty synkronimoottoria yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Akuston kapasiteetti on 30–50 kWh kaikissa muissa autoissa paitsi Audin A1:ssä, jossa kapasiteetin pienuus on havaittavissa autolla päästävän 48 km ajomatkan lyhyydessä. Kaikissa muissa sähköautoissa arvioitu ajomatka on noin 200 km. Taulukossa 4.2 on esitetty muutaman autovalmistajan myynnissä olevien tai myyntiin tulevien sähköautojen moottori- ja akkutyypit, niiden jännitteet, akun kapasiteetti sekä arvio auton ajomatkasta.

Taulukko 4.2 Myyntiin tulevien ja myynnissä olevien sähköautojen moottori- ja akkutyypit, niiden jännitteet, akun kapasiteetti sekä auton ajomatka. Lisätietoja ja viitteet liitteessä II.

Valmistaja	Malli	Moottori	U_{mot} [V]	Akku	U_{batt} [V]	Akun kapasiteetti	Matka [km]
Bev	Electron	Oikosulkumoottori		LiFePO ₄	180		100
Citroen	C-zero	Kestomagnetoitu synkronimoottori	330	Li-ion	330	16 kWh	150
Electrovaya	Maya-100	Kestomagnetoitu DC-kone	120-150	Li-ion	144	40 kWh	250
Mitsubishi	iMiEV	Kestomagnetoitu synkronimoottori	330	Li-ion	330	16 kWh	144
Mini	E	Oikosulkumoottori	380	Li-ion	380	35 kWh	250
Nissan	Leaf	Synkronimoottori		Li-ion	345	24 kWh	160
Peugeot	Ion	Kestomagnetoitu synkronimoottori	330	Li-ion	330	16 kWh	150
Tazzari	Zero	Oikosulkumoottori		LiFePO ₄	80	13 kWh	140
Tesla	Roadster	Oikosulkumoottori	375	Li-ion	375	53 kWh	393
Valmet Automotive	Think City	Oikosulkumoottori	200-407	Li-ion	345	24 kWh	160
Valmet Automotive	Think City	Oikosulkumoottori	200-407	Natrium	371	24 kWh	160

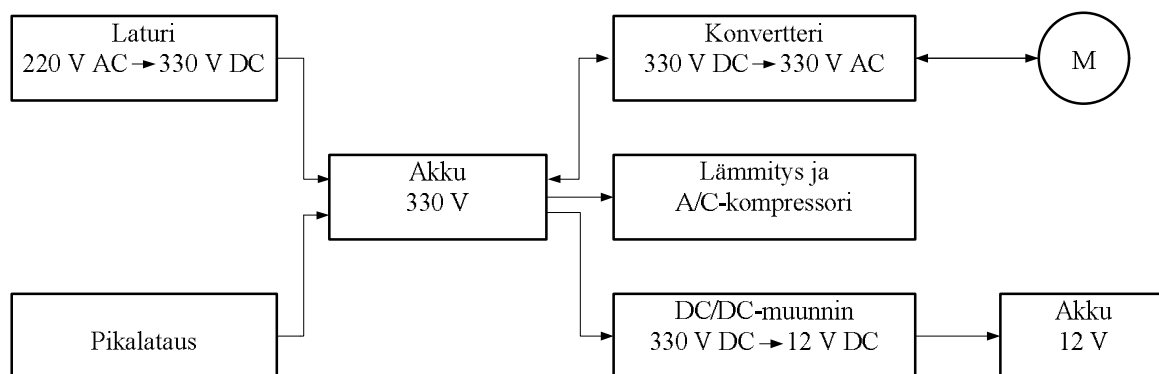
Taulukosta 4.2 nähdään, että sähköautoissa käytetään lähes aina litium-pohjaisia akkuja. Ainoana poikkeuksena on Valmet Automotiven Think City, jonka toisena akkuvaihtoehtona ovat natriumakut, jotka soveltuvat erilaiseen käyttöympäristöön kuin litium-ioniakut (Valmet, 2010). Akustojen jännitetasot vaihtelevat 80–380 V välillä. Taulukon autoista Tazzari Zero on kokoluokaltaan pienin sähköauto ja sen akuston jännitetaso 80 V on myös pienin. Verrattaessa muiden sähköautojen akustojen jännitetasoja keskenään nähdään, että pienimmät jännitetasot ovat Electron:ssa ja Maya-100:ssa. Suurimmassa osassa akustojen jännite on yli 300 V. Taulukosta nähdään myös, että sähköautojen moottorityypit ovat jatkautuneet pääosin oikosulkumoottoreihin ja kestopmagnetoituihin synkronimoottoreihin.

Taulukoista 4.1 ja 4.2 havaitaan, että suurimmassa osassa autoja akuston jännite on 300–400 V välillä. Koska tasajännitetasot ovat näin korkeita, huoltotyö edellyttää tekijältään sähköalan koulutusta. Ainoastaan Tazzarin Zero:n huollon voisi käytännössä tehdä perehdytetty henkilö, koska tasajännitetaso jää alle 120 V. Sähköautoille taulukoissa esitetyt arvioidut ajomatkat vaihtelivat välillä 50–400 km, mutta suurimmassa osassa ajomatka on 150 km luokkaa. Henkilöliikenteestä on tehty tutkimus, jonka mukaan keskimääräinen päi-

vittäinen henkilöautolla kuljettu matka on noin 32 km (Tikka, 2010). Tämän perusteella voidaan sanoa, että tämän hetkisten sähköautojen ajomatka on riittävä tyypilliseen päivittäiseen ajoon.

4.1.1 Mitsubishi iMiEV

Mitsubishi Motors:n ensimmäinen sähköautojen kehitysvaihe käynnistyi 60-luvun loppupuolella ja ensimmäinen sähköauto, Minica EV, valmistui vuonna 1971. Minica EV:tä valmistettiin noin 150 kappaletta viranomaisten ja voimayhtiöiden testikäyttöön. Uusi sarja sähköautoja kehitettiin tämän jälkeen 1980–90-luvuilla. Kuitenkin vasta 2000-luvulla Mitsubishi otti suurimman kehitysaskelen tehokkaiden litiumakkujen tullessa markkinoille. Vuonna 2007 Tokion autonäyttelyssä esiteltiin Mitsubishi Motors:n uusi sähköautomalli iMiEV, joka tuli globaalisti myyntiin vuonna 2010. Taulukossa 4.2 esitetty Peugeot Ion ja Citroen C-Zero pohjautuvat samaan tekniikkaan kuin iMiEV. Kuvassa 4.1 on esitetty Mitsubishi iMiEV:ssä tehtävät jännitemuunnokset.



Kuva 4.1 Mitsubishi iMiEV:ssä tehtävät jännitemuunnokset.

Kuvasta 4.1 nähdään, että iMiEV voidaan ladata kahdella tavalla joko normaalilla hitaalla latauksella tai pikalatauksella. Hitaalla latauksella akut voidaan ladata täyteen noin seitsemässä tunnissa käyttämällä 220 V jännitettä ja 15 A virtaa. Hidasta latausta varten iMiEV:ssä on sisäänrakennettu laturi, jossa 220 V vaihtojännite muunnetaan akustolle sopivaksi 330 V tasajännitteeksi. Pikalatausta varten tarvitaan erillinen pikalatauspiste, jota ei ole vielä käytössä Euroopassa direktiivien puutteen takia (Mitsubishi, 2011). Pikalatauksella akkujen 80 prosentin varaustaso saavutettaisiin noin puolessa tunnissa. Kuvasta 4.1 nähdään, että akustolta tuleva 330 V:n tasajännite muunnetaan konvertterilla 330 V:n vaihtojännitteeksi moottorille, kun taas lämmitys- ja ilmastointilaitteistolle käytetään suoraan

akuston tasajännitettä. Akustolta tuleva 330 V:n tasajännite muunnetaan DC/DC-muuntimella 12 V:n apujärjestelmän akulle sopivaksi.

4.2 Muunnossähköautojen jännitetasot

Muunnossähköautolla tarkoitetaan polttomoottoriautosta konvertoitua sähköautoa. Tämä tapahtuu poistamalla autosta polttomoottori sekä siihen liittyvä mekaniikka ja toiminnalliset osat kuten polttoainesäiliö ja pakoputkisto. Muunnossähköauton voimansiirron rakenne noudattaa tyypillisesti kuvan 2.2 a-kohdassa esitettyä rakennetta, auton ollessa etu- tai takavetoinen. Taulukossa 4.3 on esitetty suomalais-, ruotsalais- ja italialaisvalmisteisten muunnossähköautojen moottori- ja akkutyypit, niiden jännitteet, akun kapasiteetti ja auton arvioitu ajomatka.

Taulukko 4.3 Muunnossähköautojen moottori- ja akkutyypit, niiden jännitteet, akun kapasiteetti sekä auton arvioitu ajomatka.

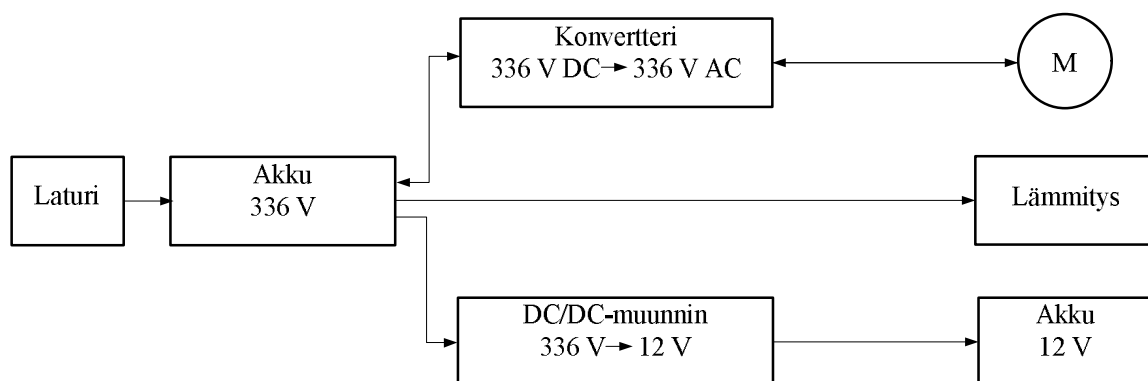
Valmistaja	Malli	Moottori	U_{mot} [V]	Akku	U_{batt} [V]	Akun kapasiteetti	Matka [km]
Amotec Oy	E Smart	Oikosulkumoottori	112	LiFePo ₄	112	90 Ah	60-80
Amotec Oy	Toyota E yaris	Oikosulkumoottori	352	LiFePo ₄	352	60 Ah	120-160
European Batteries	Volkswagen Passat	Kestomagne-toitu harjaton DC-kone	268,2	LiFePo ₄	268,2	90 Ah	100
EV Adapt	Fiat 500			LiFePo ₄	102,4	15 kWh	120
Micro-Vett S.p.A	Fiat Fiorino	Oikosulkumoottori		LiNi-CoMnO ₂	266	80 Ah	98,5
Micro-Vett S.p.A	Fiat Fiorino	Oikosulkumoottori		LiNi-CoMnO ₂	222	100 Ah	102,6
Micro-Vett S.p.A	Fiat Fiorino	Oikosulkumoottori		LiNi-CoMnO ₂	266	120 Ah	144,7
Sähkö autot-Nyt!	eCorolla 1.0	Oikosulkumoottori	336	LiFePo ₄	336	40 Ah	60

Taulukossa 4.3 esitetyistä autoista Fiat 500 on ruotsalaisvalmisteinen ja Fiat Fiorinot ovat italialaisvalmisteisia muunnossähköautoja. Taulukosta nähdään, että Fiat 500:n akuston jännitetaso 102,4 V on kaikkein pienin. Myös suomalaisvalmisteisessa E Smart:ssa akun jännite 112 V on pieni. Nämä autot ovat myös kokoluokaltaan pienimmät. Huolto- ja sähköturvallisuuden kannalta näiden autojen huoltotyö edellyttää sähköalan ammattilaista. Suomalaisvalmisteisissa muunnossähköautoissa Toyota E Yaris:lla ja eCorolla:lla on suurimmat akkujen jännitetasot, 352 V ja 336 V. Ainoastaan Volkswagen Passat:ssa on käytetty DC-konetta, kun muissa muunnossähköautoissa käytetään oikosulkumoottoria.

Taulukosta nähdään, että kaikissa esitetyissä muunnossähköautoissa käytetään litiumpohjaisia akkuja. Muunnossähköautojen ajomatka on keskimäärin noin 100 km, ainoastaan E Smart:lla ja eCorolla:lla ajomatka jää noin 60 km. eCorolla:sta on kuitenkin saatavilla lisäakustolla auto, jolla ajomatka kasvaa yli 100 km. Nämä ajomatkat ovat myös riittäviä keskimääräiseen päivittäiseen ajomatkaan verrattuna.

4.2.1 eCorolla

eCorolla on [Sähköautot – Nyt!](#)-hankkeen rakentama muunnossähköauto. Kuvassa 4.2 on esitetty Sähköautot-Nyt!-hankkeen rakentaman muunnossähköauton eCorolla:ssa tehtävät jännitetasojen muunnokset.



Kuva 4.2 eCorolla muunnossähköautossa tehtävät jännitetasojen muunnokset.

Kuvasta 4.2 nähdään, että eCorollan voimansiirtojärjestelmässä tehtäviä jännitemuunnoksia ovat konvertterillä tehtävä vaihtojännite moottorille ja DC/DC-muuntimella toteutettava apujärjestelmän akun lataus. Lämmitysjärjestelmälle käytetään suoraan akuston tasajännitettä.

4.3 Hybridiautojen jännitetasot

Tässä kappaleessa tarkastellaan muutamien aasialais-, eurooppalais- ja amerikkalaisvalmistajien hybridiautoja. Tarkastellaan seuraavaksi taulukossa 4.4 esitetyn muutamien aasialaisvalmistajien hybridiautojen moottori- ja akkutyyppejä sekä niiden jännitetasoja.

Taulukko 4.4 Aasialaisvalmistajien hybridiautojen moottori- ja akkutyypit sekä niiden jännitteet.

Valmistaja	Malli	Moottori	U_{mot} [V]	Akku	U_{batt} [V]
Honda	Accord	Kestomagnetoitu synkronimoottori		NiMH	144
Honda	Civic	Kestomagnetoitu synkronimoottori		NiMH	158
Honda	CR-Z	Synkronimoottori	100,8	NiMH	100,8
Honda	Insight	Kestomagnetoitu synkronimoottori	100,8	NiMH	100,8
Hyundai	Sonata	Kestomagnetoitu synkronimoottori	270	LiPo	270
Lexus	GS 450h	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	NiMH	288
Lexus	LS 600h	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	NiMH	288
Lexus	RX 450h	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	NiMH	288
Nissan	Altima	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	NiMH	245
Toyota	Camry	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	NiMH	244,8
Toyota	Highlander	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	NiMH	288
Toyota	Prius	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	NiMH	201,6
Toyota	Prius PHV	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	Li-ion	345,6

Taulukosta 4.4 nähdään, että akkutyypinä käytetään NiMH kaikissa muissa hybridiautoissa paitsi Toyota Prius PHV eli pistoketulppahybridissä, jossa on käytössä litium-pohjaiset akut. Taulukosta nähdään myös, että Honda käyttää hybridiautoissaan pienempää jännitettä kuin Nissan, Lexus tai Toyota. Kuitenkin Hondan moottorin teho, noin 10 kW, on verrattain pieni Nissan:n, Lexus:n ja Toyota:n moottoreiden tehoon, jotka ovat noin 6-12-kertaisia (LIITE III).

Tarkastellaan seuraavaksi muutaman eurooppalaisvalmistajan hybridiautojen moottori- ja akkutyyppejä sekä niiden jännitteitä taulukon 4.5 avulla.

Taulukko 4.5 Eurooppalaisvalmistajien hybridiautojen moottori- ja akkutyypit sekä niiden jännitteet.

Valmistaja	Malli	Moottori	U_{mot} [V]	Akku	U_{batt} [V]
BMW	X6	Synkronimoottori	300	NiMH	312
BMW	7	Synkronimoottori	135	Li-ion	120
Mercedes-Benz	S 400	Synkronimoottori	120	Li-ion	126
Peugeot	3008 Hdi	Kestomagnetoitu synkronimoottori		NiMH	200
Porsche	Cayenne S			NiMH	288
Volkswagen	Touareg		288	NiMH	288

Taulukosta 4.5 nähdään, että akustojen jännitetasot vaihtelevat 120–312 V välillä. Suurin ja pienin jännitetaso on BMW:n valmistamissa automalleissa. Akkutyyppeinä käytetään sekä NiMH että litium-pohjaisia akkuja ja moottoreina erilaisia synkronimoottoreita.

Tarkastellaan seuraavaksi muutaman amerikkalaisvalmistajan hybridiautojen akkutyyppejä ja niiden jännitteitä. Poikkeuksena muihin työssä esitettyihin taulukoihin, taulukossa 4.6 ei ole esitetty moottorityyppiä ja sen jännitettä, sillä valmistajilta ei saanut riittävästi tietoa. Kuitenkin Ford, Lincoln ja Mercury ilmoittivat käyttävänsä autoissaan kestopmagnetoitua synkronimoottoria.

Taulukko 4.6 Amerikkalaisvalmistajien hybridiautojen akkutyypit sekä niiden jännitteet.

Valmistaja	Malli	Akku	U_{batt} [V]
Cadillac	Escalade	NiMH	300
Chevrolet	Silverado	NiMH	300
Chevrolet	Tahoe	NiMH	300
Ford	Escape	NiMH	330
Ford	Fusion	NiMH	275
GMC	Yokon	NiMH	300
GMC	Sierra	NiMH	300
Lincoln	MKZ	NiMH	275
Mercury	Mariner	NiMH	330

Taulukosta 4.6 havaitaan, että lähes kaikissa esitetyissä amerikkalaisvalmistajien hybridiautoissa akkujen jännitetaso on lähellä 300 V ja akkutyypinä on käytetty kaikissa autoissa NiMH-akkuja. Verrattaessa taulukon 4.6 akkujen jännitetasoja taulukon 4.4 aasialaisval-

mistajien hybridautoihin nähdään, että jännitetasot vastaavat lähes Lexuksen ja Toyotan käyttämää 288 V jännitetasoa.

4.3.1 Hybridautojen vertailu

Edellä esitetyistä taulukoista havaittiin, että hybridautojen akustojen jännitetasot vaihtelevat noin 100–350 V välillä. Vertailemalla jännitteitä keskenään huomataan, että vain kuudessa hybridautossa akuston jännitetaso jää alle 200 V:n ja vastaavasti suurimmassa osassa jännitetasot ovat lähellä 300 V, joista suurin osa on amerikkalaisvalmistajien autoja. Suurimmat vaihtojännitetasot (650 V) löytyvät Toyota:n, Lexus:n ja Nissan:n autoissa. Tarkasteltaessa jännitetasoja huolto- ja sähköturvallisuuden kannalta ainoastaan Hondan CR-Z ja Insight hybridautojen akustojen jännitetasot jäävät 120 V:n alapuolelle, jolloin perehdytetty henkilö voisi tehdä huoltotyöt.

Hybridautoissa käytetyin akkutyyppejä on tällä hetkellä NiMH-akut. Tämä voidaan osittain selittää niiden luotettavuuden ja turvallisuuden takia (Biomeri, 2009). Toisaalta myös hyvät käyttökokemukset ja toimiva akkujen kierrätysjärjestelmä selittävät akkujen suosiota (Kalaja, 2010).

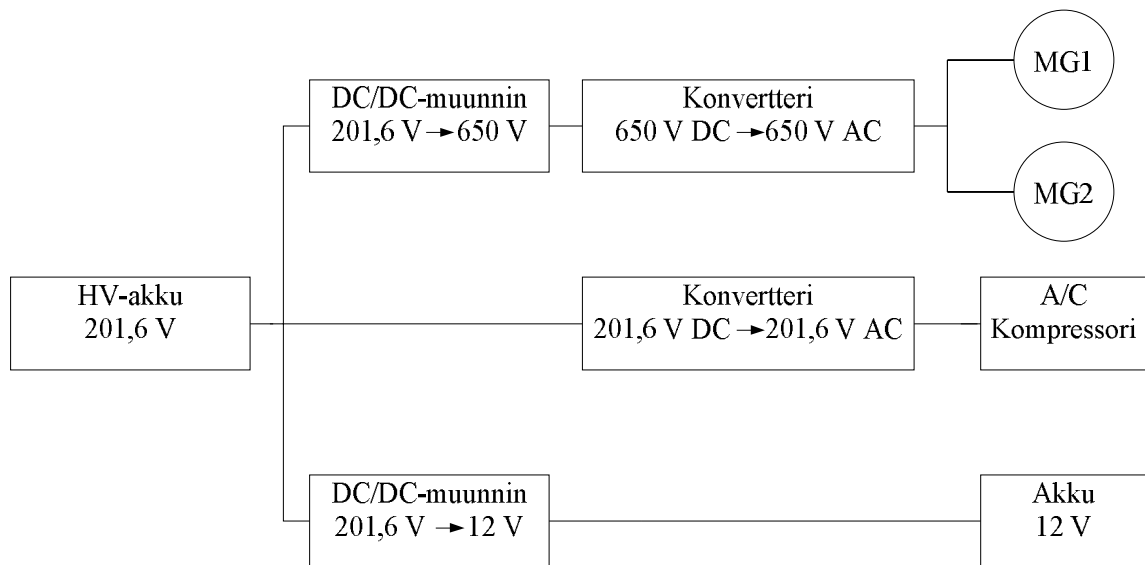
4.3.2 Toyota Prius hybridi

Toyota Prius esiteltiin maailman ensimmäisenä sarjavalmistettuna hybridautona vuonna 1997. Näiden neljäntoista vuoden aikana mallin tekniikka on kokenut muutoksia, varsinkin voimansiirtojärjestelmän jännitetasojen osalta. Hybridirakenteeltaan Toyota Prius perustuu jaetun tehon hybridirakenteeseen. Taulukossa 4.7 on esitetty 2000-luvun mallien sähkömoottori- ja akkutyyppejä sekä niiden jännitteet.

Taulukko 4.7 Toyota Prius hybridauton 2000-luvun mallien sähkömoottori- ja akkutyypit sekä niiden jännitteet ja akun kapasiteetti.

	1997-2003	2004-2009	2010	Plug-in
Sähkömoottori	Kestomagnetoitu synkronimoottori	Kestomagnetoitu synkronimoottori	Kestomagnetoitu synkronimoottori	Kestomagnetoitu synkronimoottori
U_{mot} [V]	300	500	650	650
Akku	NiMH	NiMH	NiMH	Li-ion
U_{batt} [V]	273,6	201,6	201,6	345,6
Kapasiteetti [Ah]	6,5	6,5	6,5	5,0

Taulukosta 4.7 nähdään, että perushybridien sähkömoottoreiden jännitetaso on kasvanut ja vastaavasti akuston jännitetaso on pienentynyt. Moottorin jännitetason kasvattamisen syyinä on ollut häviöiden pienentäminen ja siten hyötysuhteen parantaminen (Martansaari, 2010). Taulukosta havaitaan myös, että Plug-in hybridin akkutyypit poikkeaa perushybridistä ja sen jännitetaso on suurempi ja vastaavasti akuston kapasiteetti on pienempi. Jännitetason suuruus on lataushyötysuhteen kannalta sopivan suuruinen toteutettaessa lataus yksivaiheisella dioditasasuuntaajalla, kuten kappaleessa 3.4 todettiin. Tarkastellaan seuraavaksi Toyota Prius 2010 vuosimallissa tehtäviä jännitetason muunnoksia kuvan 4.3 perusteella.



Kuva 4.3 Toyota Prius 2010 vuosimallissa tehtävät jännitetasojen muunnokset.

Kuvasta 4.3 nähdään, että Toyota Priuksessa käytetään kolmea tasajännitetasoa ja kahta vaihtojännitetasoa. Akustolta tuleva 201,6 V:n tasajännite muunnetaan DC/DC-

muuntimella 12 V:n apujärjestelmän akulle sopivaksi. Moottoreille MG1 ja MG2 akustolta tuleva jännite muunnetaan ensin DC/DC-muuntimella 650 V:n tasajännitteeksi. Tämän jälkeen tasajännite muunnetaan konvertterillä 650 V:n vaihtojännitteeksi. A/C kompressorille akustolta tuleva tasajännite muunnetaan invertterillä samansuuruiseksi vaihtojännitteeksi. Hyötysuhteen kannalta järjestelmässä tapahtuu useita DC-jännitetasojen muunnoksia sekä DC/AC-konversioita, jotka heikentävät kokonaishyötysuhdetta. Tämä havaitaan hyvin kuvan lohkokaaavion ylimmässä haarassa, jossa DC-taso ensin kasvatetaan ja sitten muunnetaan vaihtojännitteeksi. Toisaalta myös konvertteria käytetään ilmastointilaitteen kompressorin tarvitseman vaihtosähkön muuntamiseen. Verrattaessa aikaisemmin esitettyyn i MiEV – sähköautoon ilmastoinnin kompressori on tasasähköllä toimiva eikä siinä tapahdu ylimääräistä jännitekonversiota.

5 TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Sähköautojen kehitystä hidastavat useat eri tekijät kuten lainsäädäntö ja standardien puutteellisuus. Jotta sähköautot yleistyisivät, tarvitaan niitä varten selkeät säädökset niin huollon kuin katsastuksenkin kannalta. Standardoinnin puutteellisuus vaikuttaa etenkin latausinfrastruktuurin kehitykseen, joka on erityisesti huomattavissa pikalataukseen tarvittavan latauspistokkeen direktiivin puutteesta Euroopassa (Mitsubishi, 2011).

5.1 Turvallisuus

Käytetyt jännite- ja virtatasot on huomioitava myös turvallisuuden kannalta. Onnettomuustilanteissa suuret jännitteet ovat ongelmallisia sekä käyttäjän että pelastushenkilökunnan kannalta. Jännitteiden tulisi onnettomuustilanteessa katketa tai niiden tulisi olla katkaistavissa. Esimerkiksi Mercedes-Benz Vito sähköpakettiautossa korkeajännite kytkeytyy pois päältä automaattisesti, jos turvavyönyt laukeavat tai akut eivät ole käytössä (Mercedes-Benz, 2011). Toisaalta myös pelastushenkilökunnan, kuten palomiehien kannalta, auton voimansiirtojärjestelmän rakenteesta tulisi olla tarkka pohjapiirustus. Tämä tulee ongelmalliseksi varsinkin omarakenteisissa sähköautoissa. Useista jo markkinoilla olevista hybridiautoista on pelastushenkilökunnalle annettu tarvittavat tiedot turvallisuuden takaamiseksi.

Huolto- ja katsastustoimenpiteiden kannalta suuret jännitetasot vaikuttavat henkilökunnan koulutukseen sekä tarvittaviin vastuuhenkilöihin kuten sähkökäytönjohtajiin. Huoltotyö edellyttää uudenlaista osaamista varsinkin autossa tehtävien jännitetöiden osalta. Jännitetasot ovat monessa sähkö- ja hybridiautossa useita satoja voltteja ja siten hengenvaarallisia. Hybridiautovalmistajat ovat kouluttaneet henkilökuntaa suorittamaan huoltotoimenpiteitä, esimerkkinä mainittakoon Toyota, mutta sähköturvallisuudesta vastaavaa sähkötyönjohtajaa Toyotalla ei ainakaan vielä ole. Huoltotyöntekijät ovat perehdytettyjä ja käyttävät työskennellessä asianmukaisia suojarusteita, kuten suojakäsineitä. Toyota käyttää Prius hybridiautoissaan 201,6 V korkeajänniteakkuja. Huoltotoimenpiteiden turvallisuuden takaamiseksi Toyota käyttää huoltoerotinta, joka katkaisee korkeajänniteakun kahteen osaan. Tällöin tasajännite jää alle 120 V, joka luokitellaan turvallisen työskentelyn rajaksi perehdytetyn henkilön työskennellessä tasajännitteellä (Tukes, 2011). (Martansaari, 2010)

Suomessa sähkö- ja hybridi ajoneuvojen asennus- ja huoltotoimenpiteisiin on varauduttu järjestämällä sähköajoneuvoasentaja ja -huoltaja lisäkoulutus henkilöille, joilla on auto-, kone- tai sähköalan koulutus sekä useamman vuoden työkokemus (TAO, 2010). Lisäksi TUKES (Turvatekniikan keskus) ja AKL (Autoalan keskusliitto ry) ovat yhdessä sähkö- ja hybridi autovalmistajien kanssa suunnittelemassa turvallisuuteen ja siten jännitetasoihin liittyvää ohjeistusta (Martansaari, 2010).

5.2 Lataus ja standardit

Standardoimisen puuttuminen ja akkutekniikka ovat olleet pääasiallinen syy lataustekniikan hitaalle kehitykselle. Lisäksi maakohtaiset turvallisuusmääräykset ovat hidastaneet lataustekniikan kehitystä, sillä eri maiden väliset turvallisuusstandardit ovat joissakin tapauksissa ristiriidassa keskenään. Eurooppaan on suunnitteilla yhtenäinen latausinfrastruktuuri, johon latauspistokkeeksi on ehdotettu kolmivaiheista 400 V ja 63 A niin sanottua Mennekes-pistoketta. Vaihtoehtoisesti lataus voidaan toteuttaa tasavirtatekniikalla, jolloin vältytään tasasuuntaukselta. Pohjois-Amerikassa on jo standardoitu yksivaiheinen latauspistoke, joka mahdollistaa 240 V ja 80 A latauksen. Vastaavasti Suomessa Ensto on kehittänyt myös yksivaiheiseen hitaaseen lataukseen soveltuvan latauspistokkeen (Ensto, 2009). (Tikka, 2010)

Varsinkin latauspisteiden kannalta jännitteiden tulisi olla standardeja tai säädettävissä, jolloin eri autovalmistajien yhteensopivuusongelmilta vältyttäisiin. Latausta voidaan tarkastella myös turvallisuuden kannalta, jolloin on otettava huomioon akkujen lataustehot. Jännitteiden nostamisella latauksen kannalta on etuna se, että tehoa voidaan siirtää enemmän. Erityisesti pikalatauksessa lataustehot voivat olla useiden kymmenien kilowattien luokkaa. Ladattaessa akkuja näin suurilla tehoilla pienetkin häviöt aiheuttavat suuria lämpötiloja, jotka johtavat akuston kuumenemiseen ja siten lisäjähdytyksen tarpeeseen. Latauksen hallinta on toteutettava siten, että mahdollisissa virhetilanteissa latausvirta katkaistaan ja estetään vaaratilanteen syntyminen. (Tikka, 2010)

6 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin sähkö- ja hybridautojen voimansiirtojärjestelmien komponenttien ja jännitetasojen nykytilannetta. Lisäksi pohdittiin jännitetasojen vaikutusta standardisointiin, turvallisuuteen ja hyötysuhteeseen. Työssä havaittiin, että standardoituminen ja lainsäädäntö ovat vielä hidasteena etenkin sähköautojen yleistymiselle. Tämä voidaan todeta etenkin latausinfrastruktuurin liittyvien standardien vähyydestä. Toisaalta huoltoturvallisuuteen liittyvä ohjeistus on vielä kehitysasteella.

Sähkö- ja hybridautoissa ei varsinaista jännitetasojen vakiintumista ole vielä tapahtunut, joka havaittiin hyvin hybridautojen osalta kappaleen 4.2.1, jossa tarkasteltiin Toyota Prius hybridien jännitetasojen muuttumista vuosien aikana. Toisaalta sähkö- ja hybridautojen kehitys on vasta alussa, joka selittää suurimmalta osalta työssä vertailtavien autojen jännitetasojen laajan vaihtelun. Vertailluista tehdasvalmisteisissa hybridautoissa tasajännitetasot vaihtelivat noin 100–350 V ja vastaavasti vaihtojännitetasot 100–650 V välillä. Vastaavasti sähkö- ja muunnossähköautoissa tasa- ja vaihtojännitetasot vaihtelivat 100–400 V välillä.

Tutkituissa hybridautoissa käytetään pääasiassa nikkeli-metallihybridiakkuja ja moottorityyppinä tyypillisesti on kestmagnetoitu synkronimoottori. Muunnossähköautoissa käytetään pääasiallisesti oikosulkumoottoria, ainoana poikkeuksena on European Batteries:n sähköauto, jossa käytetään DC-konetta. Oikosulkumoottorien ja DC-koneiden käytön syyinä voidaan olettaa olevan niiden ohjauksen helppous, rakenteen yksinkertaisuus ja alhainen hankintahinta. Vastaavasti sähköautoissa käytetty moottorityyppi vaihteli valmistajasta riippuen, mutta voidaan olettaa, että kestmagnetoidut synkronimoottorit yleistyvät myös sähköautoissa. Akkutyypinä sähköautoissa käytetään lähes poikkeuksetta litium-pohjaisia akkuja.

Vaikkakin työssä vertailtavia autoja on suhteellisen vähän, valtaosassa näistä autoista akuston jännite on noin 300 V tai suurempi. Tästä voidaan tehdä oletus, että akustojen jännitetasot tulevat lähitulevaisuudessa olemaan ainakin keskikokoisissa sähköautoissa 300–400 V välillä tai sitä suurempia ja vastaavasti pienempikokoisissa alle 300 V:n. Tutkitulla sähköautoilla arvioitu ajomatka on keskimäärin noin 150 km, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Vastaavasti muunnossähköautojen tapauksessa arvioitu ajomatka on keskimää-

rin 100 km luokkaa. Tämän perusteella voidaan sanoa, että tämän hetkisten sähköautojen ajomatka on riittävä tyypilliseen päivittäiseen ajoon.

LÄHTEET

- (Biomeri, 2009) Biomeri Oy. 2009. *Sähköajoneuvot Suomessa* – selvitys. Verkkolähde:
http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa-selvitys.pdf. Viitattu: 04.09.2010.
- (Ehsani, 2007) Ehsani, M. et al. 2007. *Hybrid Electric Vehicles: Architecture and Motor Drives*. Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No4. s. 721-726.
- (Ensto, 2009) Ensto. 2009. Sähköauton latauspylväs, esite.
- (Eskola, 2010) Eskola, M. 2010. Akkujen ja superkondensaattorien yhteiskäyttö energiavarastoina ja niiden verkkoon liittäminen ajoneuvoissa. Kandidaatintyö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto.
- (Hännikäinen, 2010) Hännikäinen, S. 2010. Akuston liittäminen hybridijärjestelmään. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto.
- (Ilmasto, 2010) Ilmastonmuutosta käsittelevä verkkosivu. Verkkolähde:
http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/torjuminen/paastojen_vahentaminen_suomessa.html. Viitattu: 15.11.2010.
- (Immonen, 2008) Immonen, P. 2008. Hybridikäytön mitoitus liikkuvan työkoneen energian talteenottojärjestelmäksi. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto.

- (Kalaja, 2010) Kalaja, K. Tiedottaja Toyota Motor Finland Oy. Electric motor show, 2010. Sähkö- ja hybridautoihin liittyvä keskustelufoorumi 11.9.2010.
- (Liu, 2008) Liu, J. & Peng, H. 2008. *Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle*. IEEE Trans. On Control Systems Technology, Vol.16, No6. s. 1242.
- (Martansaari, 2010) Martansaari, T. 2010. Toyotan ammattioppilaitoksen rehtori. Sähköpostikeskustelu, 2.11.2010.
- (Mercedes-Benz, 2011) Mercedes-Benz. 2011. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: http://www.mercedes-benz.fi/content/finland/mpc/mpc_finland_website/fi/home_mpc/van/home/vans_world/news_ng/news_archive/vans/vito_ecell_for_delivery.html. Viitattu: 14.03.2011.
- (Mikkola, 2009) Mikkola, J-P. et al. 2009. Sähköverkosta ladattavat autot – perusteet, nykytila ja kehitysnäkymät. Taustaselvitysraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähköenergiatekniikka.
- (Mitsubishi, 2011) Mitsubishi Motors. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.mitsubishi.fi/finland/world/environment/tab.aspx#environmentimiev/4-imiev-europe>. Viitattu: 28.01.2011.
- (Mutoh, 2009) Mutoh, N. & Takahashi, Y. 2009. *Front-and-Rear-Wheel-Independent-Drive Type Electric Vehicle (FRID EV) with the Outstanding Driving Performance Suitable for Next-Generation Advanced EVs*. IEEE.
- (Palmumaa, 2009) Palmumaa, P. 2009. Akku ja vetypolttokeino sähköauton voimanlähteenä. Kandidaatintyö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto.

- (TAO, 2010) Tampereen ammattiopisto. 2010. Koulutusesite: Sähköajoneuvoasentaja ja –huoltaja.
- (Tikka, 2010) Tikka, V. 2010. Sähköautojen pikalatauksen verkkovaikutukset. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto.
- (Tukes, 2011) Turvatekniikan keskus. 2011. Sähkölaitteiston huolto- ja korjaukseen koskeva lainsäädäntö. Verkkolähde: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteistot/electrical-works/>. Viitattu 28.01.2011.
- (VTT, 2003) Alanen, R. et al. Energian varastoinnin nykytila. 2003. VTT Tiedotteita 2199. ISBN 951-38-6160-0.

LIITE I SÄHKÖAUTOT

Liitteessä I on esitetty taulukoissa 4.1 ja 4.2 käytetyt lähteet. Liitteessä on esitetty myös autoista tarkempaa tietoa taulukoituna sekä sellaisia sähköautoja, joista on ollut vähemmän tietoa saatavilla.

- 1 Audi. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: http://www.audi.com/com/brand/en/tools/news/pool/2010/03/audi_a1_e-tron___electric.html. Viitattu 23.1.2011.
- 2 Ahonen, H. 2011. Sähkösuperautot tulevat. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 2/2011. s. 38-39.
- 3 Electric & hybrid vehicle technology international. January 2010. ISSN: 1460-9509. s .6-7.
- 4 Blade electric vehicles. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://bev.com.au/about/at-a-glance/> Viitattu 03.11.2010.
- 5 Citroën. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.citroen.fi/kampanja/c-zero/>. Viitattu: 20.10.2010.
- 6 Dasgupta, S. et al. 2005. *A long range, Ultra-safe, Low Cost Electric Vehicle*. <http://bioage.typepad.com/greencarcongress/docs/Electrovaya%20EVS21%20Paper.pdf>. Viitattu: 20.10.2010.
- 7 Ketonen, T. 2010. Mercedes-Benz SLS AMG E-CELL. Lehtiartikkeli.Tuulilasi. Verkkolähde: <http://www.tuulilasi.fi/artikkelit/mercedes-benz-sls-amg-e-cell>. Viitattu 4.1.2011.
- 8 Esite ERA-sähköautossa käytetystä moottorista. Electric Motor Show 2010.
- 9 Kauppila, J. 2010. Electric propulsion system in a modern sports car. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto.
- 10 Mini E. 2010. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.miniusa.com/minie-usa/>. Viitattu 12.09.2010.
- 11 Miles electric vehicles. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.milesev.com/#zx40.swf>. Viitattu: 03.09.2010.
- 12 Koisaari, T. 2009. Minä, sähköauto. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 16/2009. s.12-17.
- 13 Ahonen, H. 2009. Uusi lehti sähköautoilussa. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 16/2009. s.4-5.

- 14 Peugeot. 2010. Lehdistöiedote. Verkkolähde: http://www.peugeot.fi/files/peugeotfi/Lehditotiedotteet%202010/PEUGEOT_iOn_TIEDOTE_060920101.pdf. Viitattu 20.09.2010.
- 15 Mikkola, J-P. et al. 2009. Sähköverkosta ladattavat autot – perusteet, nykytila ja kehitysnäkymät. Taustaselvitysraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähköenergiatekniikka.
- 16 Tazzari Group. 2010. Tazzari zero, service manual.
- 17 Tesla Motors. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: http://webarchive.teslamotors.com/display_data/TeslaRoadsterBatterySystem.pdf. Viitattu: 23.10.2010.
- 18 Tesla Motors. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.teslamotors.com/roadster/specs>. Viitattu: 23.10.2010.
- 19 Valmet Automotive. 2010. Esite sähkökonseptiautosta EVA.
- 20 Esite EVA-sähköautossa käytetystä moottorista. 2010. Electric Motor Show.
- 21 Hirvonen, M. 2010. Project Manager, Electric vehicle. Valmet Automotive. Sähköpostikeskustelu, 27.9.2010.
- 22 Tekniikan maailma. 2010. Volkswagenilta lisää sähköautomalleja. Verkkolähde: <http://tekniikanmaailma.fi/uutiset/volkswagenilta-lisaa-sahkoautomalleja>. Viitattu: 20.10.2010.

Taulukko I Sähköautot.

Merkki	Malli	Sähkömoottori	U_{mot} [V]	Teho	Vääntömomentti	Akku	U_{batt} [V]	Kapasiteetti [kWh]	Ajomatka [km]
Audi ¹	A1 e-tron	Synkronimoottori		75 kW (max)	240 Nm	Li-ion	380	12	50
Audi ^{2,3}	R8 e-tron	Oikosulkumoottori		57,5 kW		LiFePo4	400	53	250
Bev ⁴	Electron	Oikosulkumoottori				LiFePo4	180		100
Citroen ⁵	C-zero	Kestomagnetoitu synkronimoottori	330	47 kW (max) @3000–6000 rpm	180 Nm @0-2000 rpm	Li-ion	330	16	130-160
Electrovaya ⁶	Maya-100	Kestomagnetoitu DC-kone	120-150	42 kW (max)	1000 Nm	Li-ion	144	40	250
Mercedes-Benz ⁷	SLS	Synkronimoottori		392 kW	880 Nm	Li-ion	400	48	210
Metropolia ^{8,9}	ERA	4 x Kestomagnetoitu synkronimoottori		25 kW (nimellinen) @1000rpm	250 Nm		343–415	32	200
Mini ¹⁰	E	Oikosulkumoottori		150 kW	220 Nm	Li-ion	380	35	250
Miles ¹¹	ZX40A	Oikosulkumoottori	72	7,5 kW (26 kW max)				150	64-72
Mitsubishi ¹²	i MiEV	Kestomagnetoitu synkronimoottori	330	47 kW (jatkuva)	180 Nm	Li-ion	330	16	144
Nissan ¹³	Leaf	Synkronimoottori		80 kW	280 Nm	Li-ion	345	24	160
Peugeot ¹⁴	Ion	Kestomagnetoitu synkronimoottori	330	47 kW (max) @3500–8000 rpm	180 Nm @0-2000 rpm	LiMnO2	330	16	130-150
Pininfarina ¹⁵	B0					LiPo ja superkondensaattori	410		250
Tazzari ¹⁶	Zero	Oikosulkumoottori		15 kW	150 Nm	LiFePo4	80	13	140
Tesla ^{17,18}	Roadster	Oikosulkumoottori	375	215 kW		Li-ion		53	393
Reva ¹⁵	G-Wiz i			13 kW		Lyijy	48	9,6	80
Valmet automotive ^{19,20}	Eva	2 x Kestomagnetoitu synkronimoottori	240	20 kW (nimellinen)	190 Nm	LiPo	355	35,5	160
Valmet Automotive ²¹	Think City	Oikosulkumoottori	200-407	34 kW (max)	90 Nm @0-3100 rpm	LiMnO ₂	345	24	160
Valmet Automotive ²¹	Think City	Oikosulkumoottori	200-407	34 kW (max)	90 Nm @0-3100 rpm	Natrium	371	24	160
Volkswagen ²²	Golf Blue-e-motion			85 kW (max)	270 Nm	Li-ion		26,5	150

LIITE II MUUNNOSSÄHKÖAUTOT

Tässä liitteessä on esitetty työssä olleen muunnossähköautotaulukossa 4.3 käytetyt lähteet.

- 1 Salonen, D. 2010. Amotec Oy. Sähköpostikeskustelu, 22.09.2010.
- 2 Engblom, T. 2010. Manager, Service and after sales. European Batteries Oy. Sähköpostikeskustelu: 28.09.2010.
- 3 EV Adapt AB. 2010. Verkkolähde: <http://www.evadapt.com/en/products/>. Viitattu: 30.09.2010.
- 4 Juslin, P. 2010. Tuotepäällikkö.Oy J-Trading Ab. Sähköpostikeskustelu: 28.09.2010.
- 5 Vihuri, T. 2010. Sähköautot –Nyt!-hanke. Sähköpostikeskustelu: 08.10.2010.

Taulukko II Muunnossähköautot.

Merkki	Malli	Sähkömoottori	U_{mot} [V]	Akku	U_{batt} [V]	Kapasiteetti [kWh, Ah]	Ajomatka [km]
Amotec Oy ¹	E Smart	Oikosulkumoottori	112	LiFePo ₄	112	90 Ah	60-80
Amotec Oy ¹	Toyota E yaris	Oikosulkumoottori	352	LiFePo ₄	352	60 Ah	120-160
European Batteries ²	Volkswagen Passat	Kestomagnetoitu har- jaton DC-kone	268,2	LiFePo ₄	268,2	90 Ah	100
EV Adapt ³	Fiat 500			LiFePo ₄	102,4	15 kWh	120
Micro-Vett S.p.A ⁴	Fiat Fiorino	Oikosulkumoottori		LiNiCoMnO ₂	266	80 Ah	98,5
Micro-Vett S.p.A ⁴	Fiat Fiorino	Oikosulkumoottori		LiNiCoMnO ₂	222	100 Ah	102,6
Micro-Vett S.p.A ⁴	Fiat Fiorino	Oikosulkumoottori		LiNiCoMnO ₂	266	120 Ah	144,7
Sähkö autot- Nyt! ⁵	eCorolla 1.0	Oikosulkumoottori	336	LiFePo ₄	336	40 Ah	60

LIITE III AASIALAISVALMISTAJIEN HYBRIDIAUTOT

Liitteessä III on esitetty työssä olleessa aasialaisvalmistajien hybridautotaulukossa 4.4 käytetyt lähteet. Liitteessä on esitetty myös autoista tarkempaa tietoa taulukoituna sekä sellaisia hybridautoja, joista on ollut vähemmän tietoa saatavilla.

- 1 Honda. 2010. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://automobiles.honda.com/>. Viitattu 20.11.2010.
- 2 Sukava, J. 2009. Hybridin näköinen oivallus, Honda Insight 1,3 Elegance. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 17/2009, s.130-134.
- 3 Hyundai Motor Company. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.hyundaiusa.com/sonata-hybrid/specifications.aspx>. Viitattu: 08.01.2011.
- 4 Martansaari, T. 2010. Toyotan ammattioppilaitoksen rehtori. Sähköpostikeskustelu, 27.6.2010.
- 5 Lexus. 2010. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.lexus.fi/>. Viitattu: 20.11.2010.
- 6 Honkanen, V. 2009. Isokokoinen mutta hyvätapainen, Lexus RX 450h. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 11/2009, s.26-27.
- 7 Electric & hybrid vehicle technology international. Annual 2009. ISSN: 1460-9509. s. 12.
- 8 Mazda Motor Corporation. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/tribute2.html>. Viitattu:
- 9 Nissan. Japanilainen autovalmistaja. Verkkolähde: <http://www.nissanusa.com/altima/specifications.html>. Viitattu: 08.01.2011.
- 10 Aromaa, J. 2010. Hybridit vastaan modernit polttomoottorit. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 20/2010, s.12-15.
- 11 Toyota. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.toyota.com/camry/specs.html>. Viitattu: 08.01.2011.
- 12 Toyota. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: http://pressroom.toyota.com/pr/tms/toyota/document/2010_Highlander_Hybrid_Product_Info.pdf . Viitattu: 08.01.2011.
- 13 Martansaari, T. 2010. Toyota Prius Hybrid Synergy Drive. Esittelymateriaali. Toyota Ammattioppilaitos.

Taulukko III Aasialaisvalmistajien hybridautoja.

Merkki	Malli	Sähkömoottori	U_{mot} [V]	Teho	Vääntömomentti	Akku	U_{batt} [V]	Kapasiteetti
Honda ¹	Civic	Kestomagnetoitu moottori		15 kW (max)		NiMH	158	5,5 Ah
Honda ¹	CR-Z	Kestomagnetoitu synkronimoottori		10 kW (max) @ 1500 rpm	78 Nm @ 1000 rpm	NiMH	100,8	5,75 Ah
Honda ²	Insight	Kestomagnetoitu synkronimoottori	100,8	10 kW (max) @ 1500 rpm	78 Nm @ 1000 rpm	NiMH	100,8	5,75 Ah
Hyundai ³	Sonata	Kestomagnetoitu synkronimoottori	270	30 kW		LiPo	270	1,4 kWh
Lexus ^{4,5}	GS 450h	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	147 kW (max)	275 Nm	NiMH	288	
Lexus ^{4,5}	LS 600h	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	165 kW (max)	300 Nm	NiMH	288	
Lexus ^{4,6}	RX 450h	2 x Kestomagnetoitu synkronimoottori	650 V/ 650 V	123 kW (max)/ 50 kW (max)	335 Nm/139 Nm	NiMH	288	
Mazda ⁷	Premacy Hydrogen RE Hybrid	Synkronimoottori		110 kW (max)	350 Nm	Li-ion	346	
Mazda ⁸	Tribute	Kestomagnetoitu synkronimoottori		70 kW @ 5000 rpm		NiMH	330	
Nissan ⁹	Altima	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	105 kW (max) @ 4500 rpm	270 Nm @ 0-1500 rpm	NiMH	245	
Toyota ^{4,10}	Auris	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	60 kW	207 Nm	NiMH	201,6	6,5 Ah
Toyota ¹¹	Camry	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	105 kW (max) @ 4500 rpm		NiMH	244,8	
Toyota ¹²	Highlander	2 x Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	123 kW (max)/ 50 kW (max)	335 Nm @ 0-1500 rpm/ 130 Nm @ 0-610 rpm	NiMH	288	
Toyota ^{4,13}	Prius (2001-2003)	Kestomagnetoitu synkronimoottori	300			NiMH	273,6	6,5 Ah
Toyota ^{4,13}	Prius (2004-2009)	2 x Kestomagnetoitu synkronimoottori	500	50 kW (max)/ 37,8 kW (max)	400 Nm/ 38 Nm	NiMH	201,6	1,3 kWh
Toyota ^{4,13}	Prius (2009-)	2 x Kestomagnetoitu synkronimoottori	650/650	60 kW (max)/ 42 kW (max)	207 Nm	NiMH	201,6	6,5 Ah
Toyota ^{4,13}	Prius PHV	Kestomagnetoitu synkronimoottori	650	60 kW (max)	207 Nm	Li-ion	345,6	6,5 Ah

LIITE IV EUROOPPALAISVALMISTAJIEN HYBRIDIAUTOT

Liitteessä IV on esitetty työssä olleessa eurooppalaisvalmistajien hybridiautotaulukossa 4.5 käytetyt lähteet. Liitteessä on esitetty myös autoista tarkempaa tietoa taulukoituna sekä sellaisia hybridiautoja, joista on ollut vähemmän tietoa saatavilla.

- 1 Järvinen, M. 2010. BMW Group. Sähköpostikeskustelu 7.7.2010.
- 2 Ahonen, H. 2009. Sähköavusteinen Mercedes-Benz S 400 Hybrid L. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 17/2009, s.48-50.
- 3 Electric & hybrid vehicle technology international. Annual 2008. ISSN: 1460-9509.
- 4 Niemi, M. 2007. Porchekin pihistää. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 19/2007, s. 38.
- 5 Pitkäjärvi, J. 2009. Uutta Volkswagen BlueMotion–tekniikkaa. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 7/2009, s.110-111.

Taulukko IV Eurooppalaisvalmistajien hybridautoja.

Merkki	Malli	Sähkömoottori	U_{mot} [V]	Teho	Vääntömomentti	Akku	U_{batt} [V]	Kapasiteetti
BMW ¹	ActiveHybrid X6	Synkronimoottori	300/300	67 kW (max) @3000rpm/ 63 kW (max) @ 2500 rpm	260 Nm @0-2500rpm/ 280 Nm @0-2000 rpm	NiMH	312	1,4 kWh
BMW ¹	ActiveHybrid 7	Synkronimoottori	135	15 kW (max)	210 Nm	Li-ion	120	800 Wh
Mercedes-Benz ²	S 400	Synkronimoottori	120	15 kW	160 Nm	Li-ion	126	6,5 Ah
Peugeot ³	3008 Hdi	Kestomagnetoitu synkronimoottori		27 kW	200Nm	NiMH	200	5,5 Ah
Porsche ⁴	Cayenne S			34 kW (max)		NiMH	288	1,2 kWh
Volkswagen ⁵	Touareg TSI		288	38 kW (max)	300 Nm	NiMH	288	6 Ah

LIITE V AMERIKKALAISVALMISTAJIEN HYBRIDIAUTOT

Liitteessä V on esitetty työssä olleessa aasialaisvalmistajien hybridiautotaulukossa 4.6 käytetyt lähteet. Liitteessä on esitetty myös autoista tarkempaa tietoa taulukoituna sekä sellaisia hybridiautoja, joista on ollut vähemmän tietoa saatavilla.

- 1 Cadillac. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.cadillac.com/>. Viitattu: 08.01.2011.
- 2 Chevrolet. Valmistajan kotisivut. Käyttäjämateriaali. Verkkolähde: http://www.chevrolet.com/assets/pdf/owners/manuals/2010/2010_chevrolet_silverado_hybrid_owners.pdf. Viitattu: 15.10.2010.
- 3 Chevrolet. Valmistajan kotisivut. Käyttäjämateriaali. Verkkolähde: http://www.chevrolet.com/assets/pdf/owners/manuals/2011/2011_chevrolet_tahoehybrid_owners.pdf. Viitattu: 08.01.2011.
- 4 Chevrolet. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: http://www.chevrolet.fi/koe-chevrolet/tulevaisuuden-autot/volt-tuotantomalli.html#_SP1. Viitattu: 20.11.2010.
- 5 Niemi, A. 2009. Chrysler Aspen Hybrid. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 1/2009, s. 113.
- 6 Fisker Automotive. 2010. Verkkolähde: <http://www.fiskerautomotive.com/#!/karma/specifications/powertrain>. Viitattu: 20.11.2010.
- 7 Mi, C. Hybrid Electric Vehicles: Control, Design, and Applications. Opetusmateriaali. Department of Electrical and Computer Engineering. University of Michigan.
- 8 Honkanen, V. 2010. Ford Fusion Hybrid, Täsmähybridi. Lehtiartikkeli. Tekniikan maailma 5/2010, s.56-57.
- 9 Lincoln. Valmistajan kotisivut. Verkkolähde: <http://www.lincoln.com/cars/mkz/specifications/engine/>. Viitattu: 10.1.2011.
- 10 Ford. Amerikkalainen autovalmistaja. Turvallisuusmanuaali. Verkkolähde: <https://www.fleet.ford.com/showroom/2006fleetshowroom/pdfs/guide-escape.pdf>. Viitattu: 30.08.2010.

Taulukko V Amerikkaisvalmistajien hybridautoja.

Merkki	Malli	Sähkömoottori	U_{mot} [V]	Teho	Vääntömomentti	Akku	U_{batt} [V]	Kapasiteetti
Cadillac ¹	Escalade			2 x 60 kW		NiMH	300	
Chevrolet ²	Silverado					NiMH	300	
Chevrolet ³	Tahoe					NiMH	300	
Chevrolet ⁴	Volt			111 kW	370 Nm	Li-ion		16 kWh
Chrysler ⁵	Aspen			65 kW (max)	319 Nm @0-1500rpm	NiMH	300	
Fisker ⁶	Karma			150 kW/ 150 kW		Li-ion		20 kWh
Ford ⁷	Escape	Kestomagnetoitu synkronimoottori	330	70 kW/28 kW		NiMH	330	5,5 Ah
Ford ⁸	Fusion	Kestomagnetoitu synkronimoottori	275	78 kW		NiMH	275	
GMC ²	Sierra					NiMH	300	
GMC ³	Yokon					NiMH	300	
Lincoln ⁹	MKZ	Kestomagnetoitu synkronimoottori				NiMH	275	26 kWh
Mercury ¹⁰	Mariner	Kestomagnetoitu sähkömoottori		70 kW		NiMH	330	