



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

KONVERSIOSÄHKÖAUTON MITOITUSSUUNNITELMA

Design of conversion electric car

Matti Lahtinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Matti Lahtinen

Konversiosähköauton mitoitussuunnitelma

2013

Kandidaatintyö.

29 s.

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Lasse Laurila

Sähköautojen tuleamista on odotettu jo pitkään ja ne ovat potentiaalisia fossiililla polttoaineilla toimivien polttomoottoreiden korvaajia. Hybridiautoja on tullut markkinoille entistä enemmän ja ne osaltaan auttavat vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Sähköautot ovat toistaiseksi jääneet taka-alalle.

Tässä työssä on tehty konversiosähköauton mitoitussuunnitelma museoikäiseen autoon. Työssä on mitoitettu kolme sähköisen voimansiirron pääkomponenttia sähkömoottori, taajuudenmuuttaja ja akusto. Mitoitussuunnitelma toimii hyvänä pohjana, jonka avulla konversiota voidaan alkaa rakentamaan.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

Faculty of Technology

Degree Programme in Electrical Engineering

Matti Lahtinen

Design of conversion electric car

2013

Bachelor's Thesis.

29 p.

Examiner: Associate professor Lasse Laurila

The coming of electric cars has been waited for very long time and they have great potential to replace combustion engines that run on fossil fuels. There are more and more hybrid cars in the market and they do their part on reducing the consumption of fossil fuels. So far electric cars have stayed in the background.

In this bachelor's thesis there has been made a design of a conversion electric car for a museum age car. The three main electrical components motor, frequency converter and batteries were dimensioned. This design works as a good base for actual building of the conversion electric car.

SISÄLLYSLUETTELO

MERKIT JA LYHENTEET	2
1. JOHDANTO	3
2. HYBRIDI- JA SÄHKÖAUTOT.....	4
2.1 Rinnakkaishybridi.....	5
2.2 Sarjahybridi	6
2.3 Sähköauto	7
3. SÄHKÖ AJONEUVON KÄYTTÖVOIMANA.....	11
4. AKUT	12
4.1 Lyijyakku	14
4.2 Nikkeli-kadmiumakku	15
4.3 Nikkeli-metallihydridiakku.....	16
4.4 Litium-ioniakku	17
4.5 Litiumpolymeeri- ja titanaattiakku	18
5. MITOITUSSUUNNITELMA	19
5.1 Oikosulkumoottorin mitoitus.....	20
5.2 Taajuusmuuttajan valinta.....	24
5.3 Akuston mitoitus.....	25
6. YHTEENVETO.....	27
LÄHTEET	28

MERKIT JA LYHENTEET

REEV	range extended electrical vehicle
E-REV	extended range electrical vehicle
PHEV	sähköverkosta ladattava hybridauto
EV	sähköauto
NiCd	nikkeli-kadmium
NiMH	nikkeli-metallihydridi
P_t	tehontarve
δ	hitausmassojen kerroin
m_v	kokonaismassa
t_a	kiihdytysaika
v_f	loppunopeus
v_b	perusnopeus
g	putoamiskiihtyvyys
f_r	vierintävastuskerroin
ρ	ilmantiheys
C_d	ilmanvastuskerroin
A_f	otsapinta-ala
v	nopeus
d	halkaisija
G_r	välityssuhde
rpm	pyörimisnopeus
E	energiankulutus
h	tunti
P_t	tehontarve

1. JOHDANTO

Pitkään on etsitty vaihtoehtoista autojen voimanlähdettä polttomoottorille ja eräänä parhaista vaihtoehdoista on pidetty sähkömoottoria. Erilaisia hybridi-malleja, joissa on hyödynnetty poltto- ja sähkömoottorin ominaisuuksia, on tehty monta ja osa niistä onkin saanut hyvän markkina osuuden maailman markkinoilla. Hyvänä esimerkkinä voitaisiin pitää Toyotan Priusta. Hybridi mallien lisäksi on alettu kehittää täysin sähköllä toimivaa autoa, jonka voimanlähteenä on pelkästään sähkömoottori ja energian lähteenä toimii akusto.

Tässä kandidaatin työssä tehdään sähköautokonversion mitoitussuunnitelma, jonka pohjalta olisi mahdollista myöhäisemmässä vaiheessa toteuttaa valmis sähköauto. Suunnitelma on tarkoitus toteuttaa siten, ettei kohteena olevaan museo ikäiseen autoon tehdä mitään suurempia rakenteellisia muutoksia. Tämä sen takia, että auto on mahdollista palauttaa alkuperäiseen kuntoonsa mahdollisimman vaivattomasti.

Tarkoituksena on mitoitaa autolle sopiva sähkömoottori, akusto ja taajuusmuuttaja. Nämä ovat tällaisen projektin kolme tärkeintä komponenttia. Ei pidä kuitenkaan unohtaa muita pienempiä komponentteja, ohjausta ja säätöä, joihin ei kuitenkaan tässä työssä vielä sen tarkemmin puututa. Nämä tulevat kysymykseen siinä tapauksessa, kun itse konversiota aletaan toteuttaa käytännössä.

2. HYBRIDI- JA SÄHKÖAUTOT

Polttomoottori ei ole perusominaisuksiltaan hyvä voimanlähde autoon. Liikkeelle lähettäessä, eli pienillä käyntinopeuksilla vääntömomentti on polttomoottorissa erittäin huono ja nimenomaan liikkeelle lähettäessä sitä eniten kaivattaisiin. Sähkömoottorilla saadaan heti paras mahdollinen vääntömomentti jo pienillä pyörimisnopeuksilla. Tämän päivän polttomoottorikäyttöisissä autoissa riittävän huippunopeuden ja kiihtyvyyden saavuttamiseksi vaaditaan erittäin suuritehoinen moottori ja tästä johtuen normaalitilanteissa polttomoottorin voimavaroista käytetään vain murto-osa, eli moottori toimii epätaloudellisesti (Laurikko, 2002)

Polttomoottorin hyötysuhteen parantaminen on ongelmia, koska moottorin normaali ajossa moottorin toimintapiste muuttuu jatkuvasti. Tämä aiheuttaa sen, että moottori toimii vain hetkittäin parhaimmalla hyötysuhde alueellaan. Vaikka polttomoottoreissa käytettävä säätötekniikka kehittyy kokoajan, ei polttomoottoria saada toimimaan parhaimmalla mahdollisella hyötysuhteella kaikissa toimintapisteissä. (Laurikko, 2002)

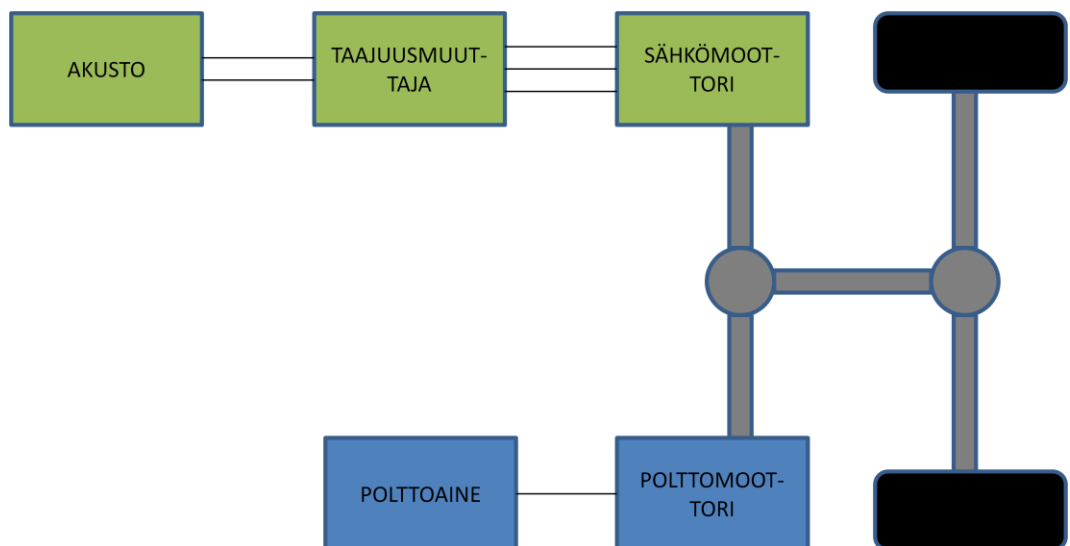
Laurikon (2002) mukaan olisi hyvä käyttää polttomoottoria siten, että se toimisi suurimman osan ajasta parhaimmalla mahdollisella hyötysuhteella. Tämä on mahdollista hybridikäytössä, joissa voimansiirto toimii sähkömoottorilla ja polttomoottorilla käytetään generaattoria, joka tuottaa sähkömoottorille tarvittavan sähköä. Sarjahybridillä toteutetut ajoneuvot toimivat tällä periaatteella. Hybridikäytössä voidaan toteuttaa myös energian talteenottoa jarrutustilanteissa ja tällä saadaan entistä enemmän parannettua hybridikäytön kokonaisenergiataloutta. Tällöin myös polttomoottori voidaan mitoittaa pienemmäksi, koska esimerkiksi kiihdytystilanteissa sähkömoottorista voidaan hetkellisesti ottaa suurempia tehoja ulos.

Polttomoottorin aiheuttamien päästöjen ja fossiilisten polttoaineiden ehtymisen takia yritetään koko ajan etsiä vaihtoehtoisia energianlähteitä auton voimansiirtoon. Hybridiautot ovat osaltaan helpottaneet tätä tilannetta ja tällä on saatu polttoaineen kulutusta pienentyä tietyissä tapauksissa merkittävästi. Parhaimmassa tapauksessa polttomoottori pudotetaan kokonaan pois autosta ja

käytetään pelkkää sähkömoottoria, eli kysymykseen tulee sähköauto. Tällöin voidaan karkeasti sanoa, että voimansiirto on toteutettu sähkömoottorilla tai sähkömoottoreilla ja energiavarastona toimii akusto. Luonnollisesti sähköautoon kuuluu paljon muutakin, kuten latauselektroniikkaa ja taajuusmuuttaja, mutta siitä myöhemmin lisää.

2.1 Rinnakkaishybridi

Rinnakkaishybridillä tarkoitetaan hybridiauton tai työkoneen teknistä rakennetta, jossa polttomoottori ja sähkömoottori toimivat rinnakkain ja laite voi liikkua pelkällä polttomoottorilla, mahdollisesti pelkällä sähkömoottorilla ja tyypillisesti näiden älykkäällä yhdistelmällä (Kronström, 2009). Toisin sanoen sekä polttomoottorilla, että sähkömoottorilla on mekaaninen yhteys vetoakseleihin, kuten kuvan 2.1 sarjahybridin periaatekaaviosta voidaan huomata.



Kuva 2.1. Rinnakkaishybridin periaatekaavio.

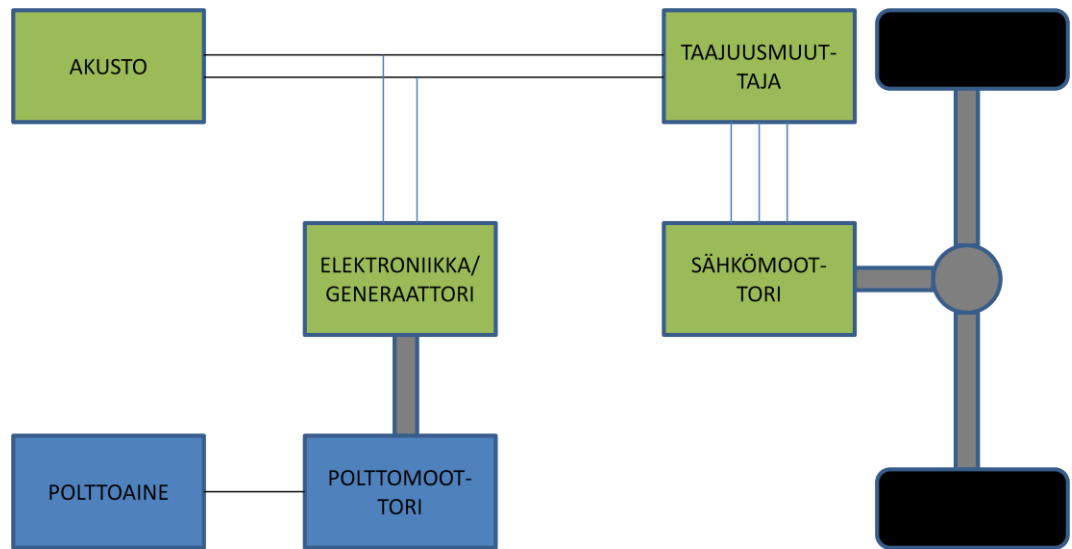
Rinnakkaishybridi on tällä hetkellä yleisimmässä käytössä, kuitenkin siten, että polttomoottori ja sähkömoottori toimivat saumattomasti joko erikseen tai yhdessä. Esimerkiksi Toyota kutsuu mainoslauseissaan uusimpia rinnakkaishybridi

autojaan täyshybrideiksi ja perustelee sitä niiden älykkäällä yhteistoiminnalla. Täyshybridiajoneuvo yhdistää sarja- ja rinnakkaishybridin ominaisuuksia.

2.2 Sarjahybridi

Biomeri Oy:n (2009) mukaan sarjahybridin toimintaperiaate on sellainen, että polttomoottorilla käytetään generaattoria ja itse voimansiirto tapahtuu ainoastaan sähkömoottorilla. Yleensä ison akkukapasiteetin omaavat autot ovat sarjahybridejä ja niistä käytettävillä REEV ja E-REV termeillä tarkoitetaan sen teknistä rakennetta. Tällainen sarjahybridiauto on esimerkiksi Opel Ampera, jossa pelkillä akuilla pääsee noin 80 kilometriä ja tämän lisäksi polttomoottorin avustamana pystytään matkaa jatkamaan normaalisti. Generaattorin kapasiteettia voi vaihdella pienempi tehoisesta aina täyteen suorituskykyyn.

Nykyaikaisissa työkoneissa on myös alettu käyttämään sarjahybridiiä, mutta käytännössä diesel -käyttöisen polttomoottorin on oltava käytössä jatkuvasti, koska akkukapasiteetin kasvattaminen pitkäaikaiseen työskentelyyn sopivaksi ei ole kannattavaa (Biomeri Oy, 2009). Työkoneissa polttomoottoria pyritään käyttämään parhaimmalla mahdollisella hyötysuhteella. Kuvassa 2.2 esitetty sarjahybridin periaatekaavio.



Kuva 2.2. Sarjahybridin periaatekaavio.

Uudessakaupungissa Valmet Automotive valmistaa Fisker Karmaa, joka toimii sarjahybridi periaatteella, kuten Ople Ampera, jossa voima välitetään pyörille aina sähkömoottorin välityksellä. Tällöin voidaan polttomoottoria kuormittaa parhaimmalla mahdollisella hyötysuhteella. Fisker Karmasta on myös kehitteillä uudempia malleja, mutta valmistajan talousvaikeuksien takia ne eivät välttämättä tule tuotantoon.

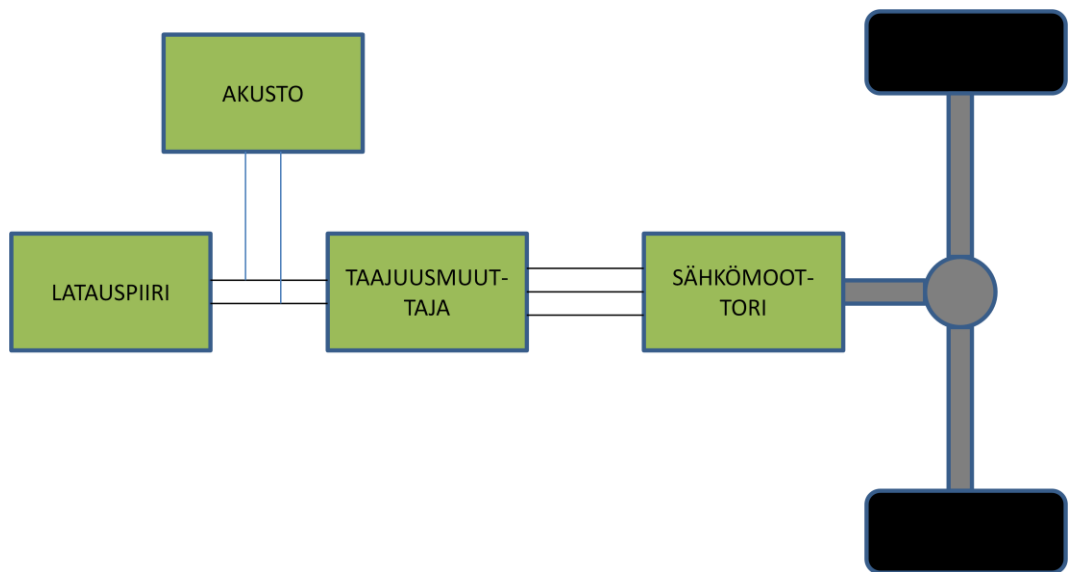
2.3 Sähköauto

Biomeri Oy:n selvityksessä (2009) on esitetty, että sähköautossa ei ole lainkaan polttomoottoria eikä generaattoria, vaan kaikki auton käyttämä energia on varastoitu akkuihin ja on peräisin sähköverkosta tai muusta ulkoisesta lähteestä. Väite on hieman puutteellinen, koska osa sähköauton käyttämästä energiasta voidaan ottaa talteen esimerkiksi jarrutuksessa, eli sisäisestä lähteestä. Voidaan myös ajatella, että sähköauton katolle asennetut aurinkopaneelit, joista saadaan energiaa auton käyttöön, ovat sisäisestä lähteestä saatua energiaa.

Sähköauton sähköinen voimansiirtojärjestelmä koostuu akusta, akkujen hallintajärjestelmästä, taajuudenmuuttajasta ja tietenkin sähkömoottorista. Akusto toimii sähköauton energiavarastona, kuten fossiiliset polttoaineet, kun taas sähkömoottori on auton voimanlähde. Laturin avulla sähköauton energiavarastoa, eli akustoa voidaan ladata. Virranhallintajärjestelmän avulla varmistetaan muun muassa siitä, ettei akkuja tuhota liiallisella lataamisella tai purkautumisella.

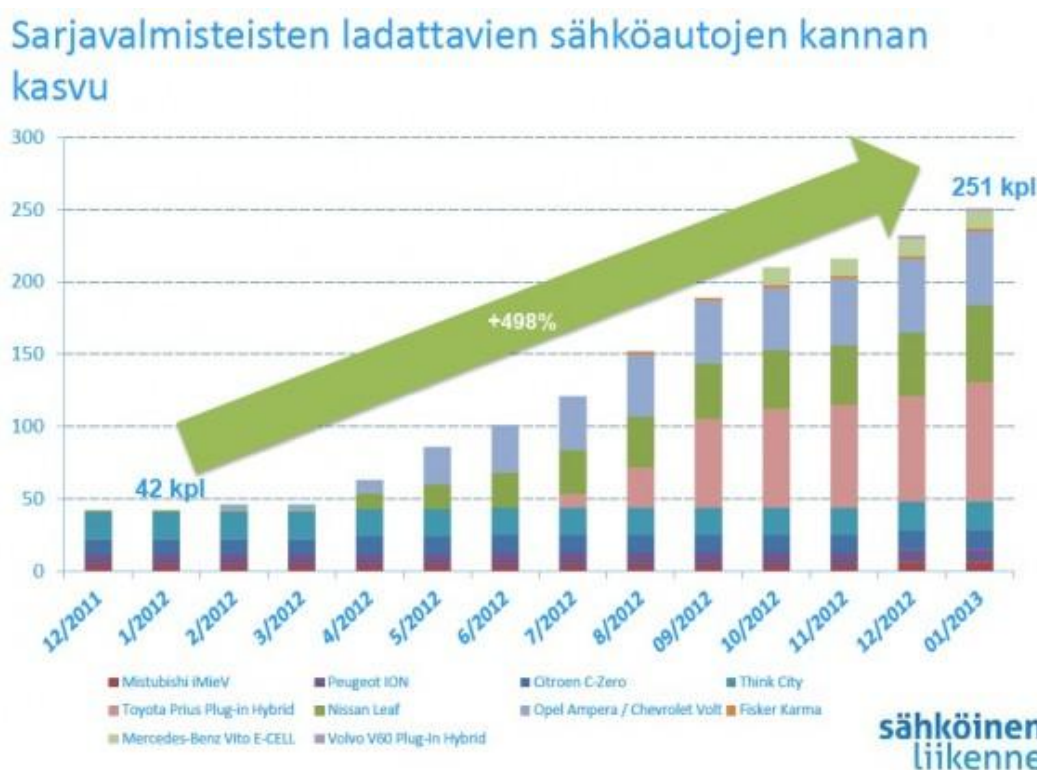
Akut ovat tällä hetkellä sähköauton heikoin lenkki, niiden hinta/laatusuhteen vuoksi. Halvemmissa akuissa ongelma on siinä, että ne ovat painavia, niiden lataaminen on hidasta ja toimintamatra jää usein lyhyeksi. Esimerkkinä voitaisiin tässä tapauksessa pitää lyijyakkuja. Etuna näissä on kuitenkin erittäin edullinen hinta. Hinnakkaammissa akuissa tehotehous on parempi, lataaminen nopeampaa ja toimintamatra pidempi. Tällöin kuitenkin hinta on huomattavasti korkeampi verrattuna esimerkiksi lyijyakkuihin. Myöhemmin kuvataan vielä tarkemmin eri akkutyyppejä.

Oleellisena osana sähköauton toimintaan kuuluu tietenkin moottori, invertteri ja ohjausyksikkö, lisäksi tarvittaessa voidaan tähän pakettiin lisätä vaihteisto. Ohjausyksikön tehtävänä on ottaa vastaan kuljettajalta tulevat ohjeet ja ohjata invertteriä sen mukaan. Kuvassa 2.3 on kuvattu sähköauton periaatekaavio.



Kuva 2.3. Sähköauton periaatekaavio.

Sähköauto on tehnyt tulemistaan jo pitkään, mutta se ei ole vieläkään lyönyt läpi markkinoilla ja syy tähän on lähinnä akkuteknikassa. Akut ovat jo nykyisellään melko hyviä, mutta toisaalta ne ovat vielä painavia ja hyvälaatuiset akut ovat erittäin kalliita. Markkinoilla on kehitteillä uusia tekniikoita ja toivottavasti sähköautosta saataisiin vielä varteenotettava kilpailija polttomoottori- ja hybridautoille. Kuvassa 2.4 esitetty sähköautojen kannan kasvu.



Kuva 2.4. Sarjavalmistettujen sähkö- ja hybridautojen, joiden myynti aloitettu huhtikuussa 2012, kannan kasvu Suomessa. (Sähköinen liikenne, 2013)

Tilastokeskuksen ja Trafifin tilastojen mukaan Suomessa oli vuonna 2012 lopussa liikennekäytössä olevia hybridautoja 6114 kpl, sähköhenkilöautoja 109 kpl ja sähköpakettiautoja 84 kpl. Kasvu on ollut kovaa, mutta sähköautojen myynti Suomessa ja koko Euroopassa on vielä melko vaatimatonta. Monissa euroopan maissa annetaan tukea sähköauton hankintaan, mutta näiden tukitoimien vaikutus on ollut vähäistä. Esimerkiksi Tanskassa valtio tukee sähköauton ostoa, parhaimmassa tapauksessa yli 20 000 eurolla, mutta siitä huolimatta sähköautoja

myytiin alkuvuonna 2011 vain 283 kpl (Laita 2011). Suomessa sähköautoilu ei nauti erityiskohtelua ja tästä syystä niiden myyntikin on ollut erittäin vähäistä.

Suomessa ei vielääkään olla herätty sähköautojen tuomaan potentiaaliin fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämisessä. Edelleenkin verotus on äärimmäisen kova, eikä todellakaan suosi sähköautoilua. Esimerkiksi Ranskan hallitus on vuonna 2012 alkanut tukemaan yksityisten henkilöiden sähköautoilua. Tästä olisi Suomen hallituksenkin syytä ottaa mallia.

3. SÄHKÖ AJONEUVON KÄYTTÖVOIMANA

Suomessa on kattava polttomoottorien esilämmitykseen tarkoitettuja pistorasioita, joita pystyttäisiin hyödyntämään sähköajoneuvojen latauspisteiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että Suomessa sähköverkosto olisi valmis vastaanottamaan sähköautot ja sähköajoneuvot. Tämän lisäksi Suomessa sähköjakelussa ollaan varauduttu suurien kuormien kytkemiseen jakeluverkkoon ja tämä on merkittävä etu muihin Euroopan maihin nähden. (Kronström, 2009)

Taulukko 3.1. Kolme skenaariota, vuosille 2020 ja 2030, ladattavien autojen yleistymiselle (Kronström, 2009).

	Vuo- si	Osuus uusista autoista		Kumulatiivinen myyntimäärä (kpl)		Osuus henkilöauto- jen liikennesuorit- teesta	
		PHEV	EV	PHEV	EV	PHEV	EV
Perus- skenaario	2020	10 %	3 %	66 000	13 000	3 %	0,6 %
	2030	50 %	20 %	480 000	160 000	19 %	7 %
Nopea skenaario	2020	40 %	6 %	190 000	26 000	8 %	1 %
	2030	60 %	40 %	960 000	450 000	38 %	19 %
Hidas skenaario	2020	5 %	2 %	38 000	12 000	2 %	0,5 %
	2030	20 %	10 %	207 000	92 000	8 %	4 %

4. AKUT

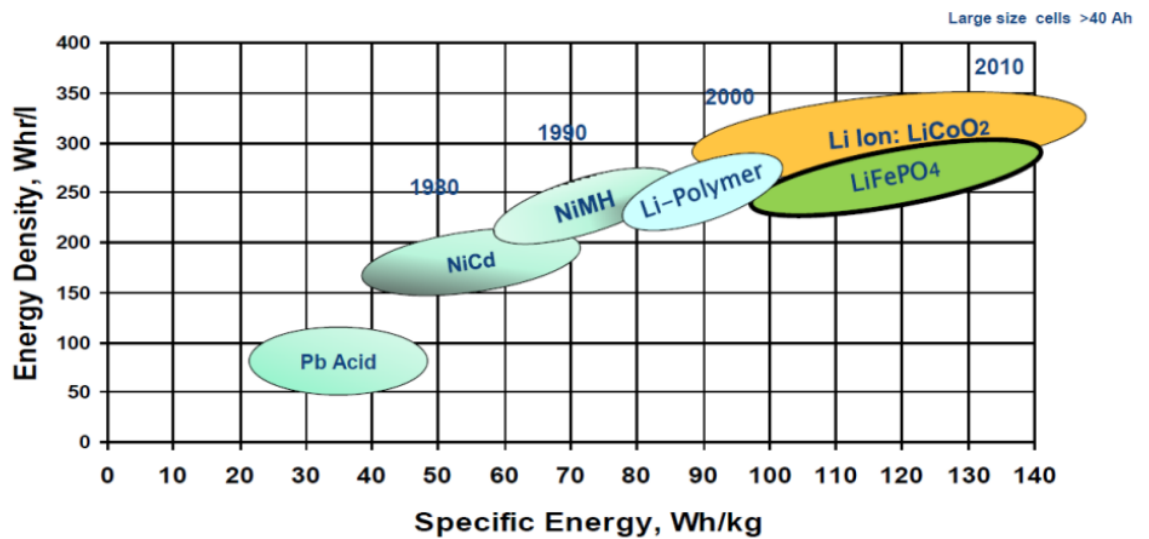
Akku on yksi tärkeimmistä komponenteista tehtäessä sähköllä kulkeva ajoneuvo. Ajoneuvoa liikuttava sähkömoottorin virran lähteenä eli polttoaineena toimii akusto, jonka oikealla valinnalla on erittäin suuri merkitys esimerkiksi suorituskykyyn ja toimintasäteeseen.

Kronströmin (2009) mukaan sähköajoneuvojen suorituskyvyille ja yleistymiselle kriittisiä asioita ovat akkujen kustannukset ja suorituskyky. Kun puhutaan akuista, tarkoitetaan yleisesti akkupakettia tai akustoa, joka taas koostuu yksittäisistä akkukennoista, kennoyhdistimistä, jäähdytysjärjestelmästä ja sen valvonta- ja suojauspiireistä.

Tyypillisesti akuilla on melko suuri energiatiheys, mutta pieni tehotiheys. Yleensä akkuja käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan pitkäaikaista energian käyttöä tai talteenottoa, mutta ei kovinkaan suurta tehoa. Tyypillisesti akkujen kennojännitteet ovat 1,2-3,7 V välissä, kuten lyijy-, nikkelikadmium- ja litiumioniakuissa. Akkuihin saadaan suurempia jännitteitä tekemällä sarjaankytkentöjä akkumoduuleissa (Alanen, 2003). Taulukosta 4.1 nähdään yksittäisten akkukennojen nimellisjännitteitä.

Taulukko 4.1. Eri tyyppisten akkujen ominaisuuksia.

	Ominaisenergia [Wh/kg]	Ominaisteho [W/kg]	Hyötysuhde %	Lataussyklien määrä (80%DOD)	Kennon jännite [V]
Lyijyakku	25-50	75-130	80	200-300	2
Nikkeli-kadmiumakku	35-80	50-200	80	>1000	1,2
Nikkeli- metallihybridiakku	50-120	150-250	65	<1000	1,2
Litium-ioniakku	90-190	300-1000	>95	1000-3000	2,5-4,2
Litium-polymeeriakku	100-150	100-315	>95	~1000	2,5-4,2
Litium-titanaattiakku	60-70	4000	~90	~1000000	0,9-2,7



Kuva 4.1. Akkutekniikoiden energiatiheys tilavuuden ja painon suhteen (Alatalo, 2010).

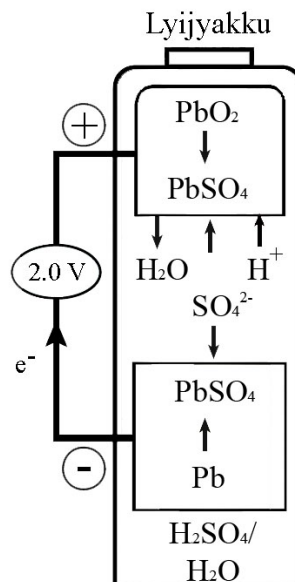
Akusto on suurin investointi sähköautoa rakennettaessa, joten sen suunnitteluun ja oikeaan kokoon pitää panostaa. Valintaa vaikuttaa montakin tekijää ja ehkä kaikkein ratkaisevin on akkujen hinta. Esimerkiksi Litium-ioniakut ovat vielä kalliita, mutta niiden käyttö ominaisuudet ovat kuitenkin jo tässä vaiheessa kehitystä melko hyvät. Valintaa vaikuttaa myös käytettävissä oleva tila, johon akut laitetaan ja yleensä autoissa tätä tilaa ei välttämättä ole paljon, jos ei haluta tinkiä esimerkiksi tavaratilasta. Akustosta voi tulla painava jos halutaan pitkää toimintasädettä ja tämä taas lisää vaatimuksia valittavalle sähkömoottorille. Jos akustoa kasvatetaan liian paljon, auton kokonaismassa kasvaa ja tämä taas vaikuttaa sähkömoottorin valintaan. Auton painon kasvaessa joudutaan sähkömoottoriltakin vaatimaan isompaa tehoa. Seuraavassa käydään hieman läpi erilaisten akkutyypin ominaisuuksia taulukon 4.1 listauksen lisäksi.

Sähköautossa ihanteellinen akku täyttää seuraavat suorituskykyehdot. Akulla on suuri ominaisenergia, suuri energiatiheys ja suuri ominaisteho. Lisäksi siltä vaadittaisiin pitkää käyttöikää, nopeaa latausaikaa, hyviä syväpurkautumisominaisuuksia ja toimintaa laajalla lämpöasteikolla. Sen tulisi olla turvallinen, hyvin kierrätettävissä ja ennen kaikkea edullinen (Motiva Oy, 2006)

4.1 Lyijyakku

Lyijyakku on pisimpään markkinoilla käytössä oleva akku ja tällä hetkellä hinnaltaan myös halvin. Se on edelleen yleisessä käytössä varsinkin ajoneuvojen akkuina. Kuitenkin sen käyttö sähkökäyttöisessä ajoneuvossa ei ole järkevää sen huonon teho-painosuhteen ja suhteellisen huonon teho-tilavuussuhteen vuoksi.

Alasen (2003) mukaan lyijyakut ovat yleisessä käytössä autoissa ja erilaisissa UPS- tuotteissa. Tämä johtuu sen edullisuudesta ja siitä, että lyijyakut täyttävät vaatimukset useimmissa sovelluksissa. Kuvassa 4.1 periaatekuva lyijyakusta.

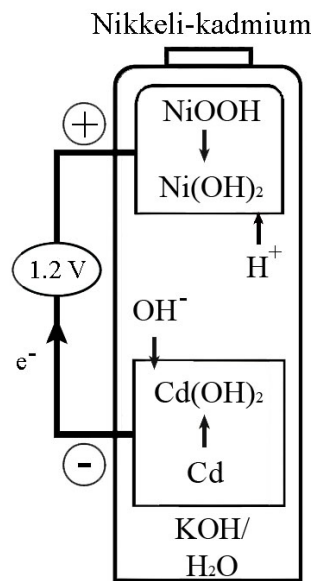


Kuva 4.2. Lyijyakku (Armand ja Tarascon, 2008).

Lyijyakkujen pieni ominaisenergia ja ominaistiheys aiheuttaa sen, että ne ovat painavia ja niillä ei saavuta kovin pitkää toimintamatkaa. Lyijyakkuja ei saisi purkaa yli 80 %:n purkaussyvyyteen asti, koska se lyhentää niiden käyttöikää (Motiva Oy, 2006). Lyijyakkuja on käytetään paljon sähköautoissa ja erilaisissa muissa kulkuneuvoissa, kuten sähkömopoissa.

4.2 Nikkeli-kadmiumakku

NiCd- akun etuja lyijyakkuihin verrattuna ovat suuri latauskertojen lukumäärä (>1000), vakio purkausjännite, suurempi purkausnopeus, parempi kylmän kestävyys sekä pieni itsepurkautumisnopeus. NiCd- akut voivat olla käyttämättöminä kuukausiakin ilman suurempaa purkautumista. Verrattuna lyijyakkuihin NiCd- akuilla on pienempi tehotiheys, ne ovat kalliimpia ja lisäksi käyttöön vaikuttaa ns. muistiefekti. Tämän vaikutuksesta käyttämätöntä akkukapasiteettia ei saada täysin käyttöön, mikäli akkua ei ladata täyteen. Ilmiö johtuu passivoivan kerroksen muodostumisesta elektrodin pinnalle, joka estää kennoreaktion. Cd on myös myrkyllinen ja ympäristölle vaarallinen aine (ESA, 2002. DeViries, 2002). Kuvasta 4.3 voidaan nähdä periaatekuva NiCd- akusta.

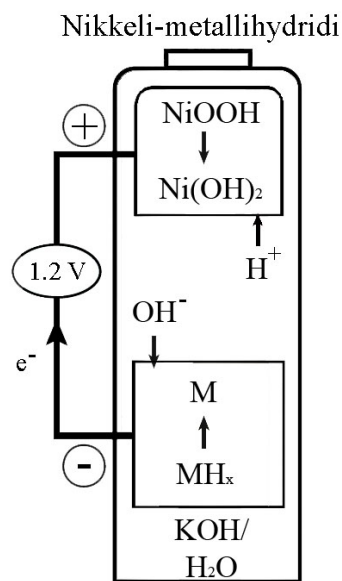


Kuva 4.3. Nikkeli- kadmiumakku (Armand ja Tarascon, 2008).

Motivan (2006) mukaan Euroopan komissio laati direktiivin vuonna 2002, joka kieltää NiCd- akkujen myynnin uusiin sähköautoihin vuoden 2005 lopusta lähtien. Tämä johtui siitä, että oltiin huolissaan kadmiumin päätyemisestä kaatopaikoille.

4.3 Nikkeli-metallihydridiakku

DeVriesin (2002) mukaan ladattavien alkalipattereiden ehkä kehittynein versio on nikkeli-metallihydridipatterit ja NiMH- akun jännite on melkein sama kuin nikkeli-kadmium akuilla. Toisaalta energiatiheys, verrattuna NiCd- akkuihin, on lähes kaksinkertainen ja tehotehiyskin voi parhaimmillaan olla parempi. Akkuja käytetään lähinnä kannettavissa elektronisissa laitteissa. Kuvassa 4.4 esitetään nikkeli- metallihydridiakun periaatekuva.



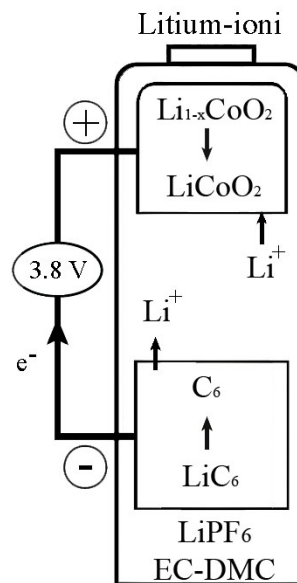
Kuva 4.4. Nikkeli- metallihydridiakku (Armand ja Tarascon, 2008).

Nikkeli- kadmium akkuja on usein vaihdettu nikkeli- metallihydridi- akkuihin. Osittain tämä johtuu siitä, että kadmium on myrkyllinen aine, joka on korvattu metallihydridillä.

NiMH- akkuja on käytetty esim. GM:n EV1- autossa, jonka toimintamatka on noin 250 km täydellä latauksella, ja lisäksi Toyotan Rav4- sähköautossa, jonka toimintamatka on noin 200 km. Pienempiä NiMH- akkuja on käytössä myös Honda Insight- ja Toyota Prius- hybridiautoissa. Pienempiä NiMH- akkuja käytetään yleisesti esimerkiksi matkapuhelimissa ja kannettavissa tietokoneissa. (Motiva Oy, 2006)

4.4 Litium-ioniakku

Litium-ioniakkujen käyttö on kasvanut 1990-luvulta, jolloin se otettiin käyttöön, tähän päivään asti merkittävästi. Litium-ioniakut voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, riippuen materiaalista. Näitä ovat litium-koboltti-, litium-mangaani- ja litium-rautafosfaattiakut (Buchmann, 2003). Kuvassa 4.5 nähdään periaatekuva litium-ioniakusta.



Kuva 4.5. Litium-ioniakku (Armand ja Tarascon, 2008).

Buchmannin mukaan litium-ioniakkujen energia- ja tehotehiys on melko korkea verrattuna muihin akkutyyppeihin, kuten taulukosta 4.1 voidaan nähdä. Lisäksi niiden hyötysuhde on yli 95 % ja latauskertojen määrä melko korkea. Litium-ioniakuilla on kuitenkin sellainen ominaisuus, että ne tarvitsevat jonkinlaisen ylilatautumissuojan, koska ylilatautumisesta syntyy räjähtämisvaara. Suojaustekniikan lisääminen taas tarkoittaa sitä, että niiden luotettavuus heikentyy ja luonnollisesti nostaa niiden hintaa.

4.5 Litiumpolymeeri- ja titanaattiakku

Litium-polymeeriakku ja litium-titanaattiakku ovat tekemässä tuloaan. Litium-polymeeriakun ominaisuudet ovat melko samanlaiset, kuin litium-ioniakuilla. Tämän tyyppisen akun etu on sen kevyt ja joustava rakenne, jonka ansiosta akku on muotoiltavissa lähes minkälaiseen muotoon tahansa. Litium- polymeeriakkuja on paljon käytössä esimerkiksi radio-ohjattavissa lennokeissa.

Litium-titanaattiakkuja on käytetty, hyvin tuloksin, sähköautoissa ja on odotettavissa, että niissä olisi hyvä mahdollisuus vaativampaankin käyttöön. Ne ovat hinnakkaita, mutta akkujen kehitystyön yhteydessä hinnat todennäköisesti tulevat laskemaan.

5. MITOITUSSUUNNITELMA

Konversion kohteena tässä työssä toimii Mercedes Benz 220 S vuosimallia 1964. Tarkoituksena on tehdä suunnitelma auton muutosta sähköautoksi, kuitenkin niin, että sen muuttaminen takaisin alkuperäiseksi polttomoottorikäyttöiseksi autoksi olisi vaivatonta. Tämä tarkoittaa sitä, että suurempia rakenteellisia muutoksia ei tässä suunnitelmassa saisi tehdä.

Takavetoisesta autosta hyödynnetään olemassa olevia akseleita ja kardania, lisäksi mietitään tulisiko vaihdelaatikkoa hyödyntää voimansiirron avustajana. Sähkömoottori sijoitetaan konehuoneeseen ja näin ollen kytketään joko suoraan kardaanin tai vaihdelaatikon välityksellä.

Lämmityslaitteena voitaisiin käyttää polttoainelämmitintä, joten täysin ilman fossiilisia polttoaineita ei päästä. Kuitenkin mielestäni polttoainelämmittimen käyttö on kaikkein paras vaihtoehto ja ehdottomasti tehokkain. Toinen vaihtoehto, ja mahdollisesti yleisin sähköautoissa käytettävä vaihtoehto, olisi käyttää sähkövastuksia. Mielestäni molemmat ovat vartenotettavia vaihtoehtoja ja valinta tulee luultavasti riippumaan näiden kahden vaihtoehdon kustannuksista.

Sähkömoottoria valittaessa on monia vaihtoehtoja, esimerkiksi tahti-, tasavirta- tai oikosulkumoottori. Valinta tulee tässä tapauksessa olemaan oikosulkumoottori, jota on käytetty paljon tällaisissa sähköauton konversiotöissä. Minkään erikoismoottorin käyttö ei tule kysymykseen, koska muutos töitä ei tule tehdä tähän museoikäiseen ajoneuvoon. Siksikin paras valinta on perinteinen ja sarjatuotannossa oleva oikosulkumoottori, esimerkiksi ABB:n tai SEW:n alumiinimoottori. Näitä perusteellisuus käyttöön tarkoitettuja sähkömoottoreita, on käytetty hyväksi myös muissa konversioissa, kuten esimerkiksi sähköautoksi muutettu Volvo 760. Kyseisessä Volvossa käytettiin sarjatuotannossa olevaa ABB:n sähkömoottoria ja taajuusmuuttajaa. (Ruusunen ja Mäkeläinen, 2009)

5.1 Oikosulkumoottorin mitoitus

Sähkömoottoriksi valittiin oikosulkumoottori, koska oikosulkumoottoreista on saatavilla paljon erilaisia kaupallisia malleja jotka olisi helppo asentaa kohde autoon. Lisäksi oikosulkumoottoria on helppo ohjata taajuusmuuttajalla ja sillä pystytään menemään tarvittaessa kentänheikennykseen, jolloin päästään nimellistä suuremmille pyörimisnopeus alueille. Lisäksi oikosulkumoottoreita tehdään sarjatuotannolla ja ne ovat siitä syystä edullisia.

Aluksi mietittiin halutaanko hyödyntää auton vaihdelaatikkaa voimansiirrossa ja moottorin laskennassa. Päädyttiin siihen, että vaihdelaatikkaa hyödynnetään jolloin sähkömoottorilta ei vaadita niin paljoa, kuin jos sähkömoottori olisi kiinni suoraan kardaanissa.

Mitoituksessa hyödynsin Jukka-Pekka Pirhosen (2011) opinnäytetyötä varten kehittämää sähkömoottorin mitoitus työkalua. Ensin työkaluun syötettiin seuraavat arvot joiden pohjalta työkalulla pystytään määrittämään moottorin teho. Taulukossa 5.1 nähdään Pirhosen työkaluun syötetyt arvot.

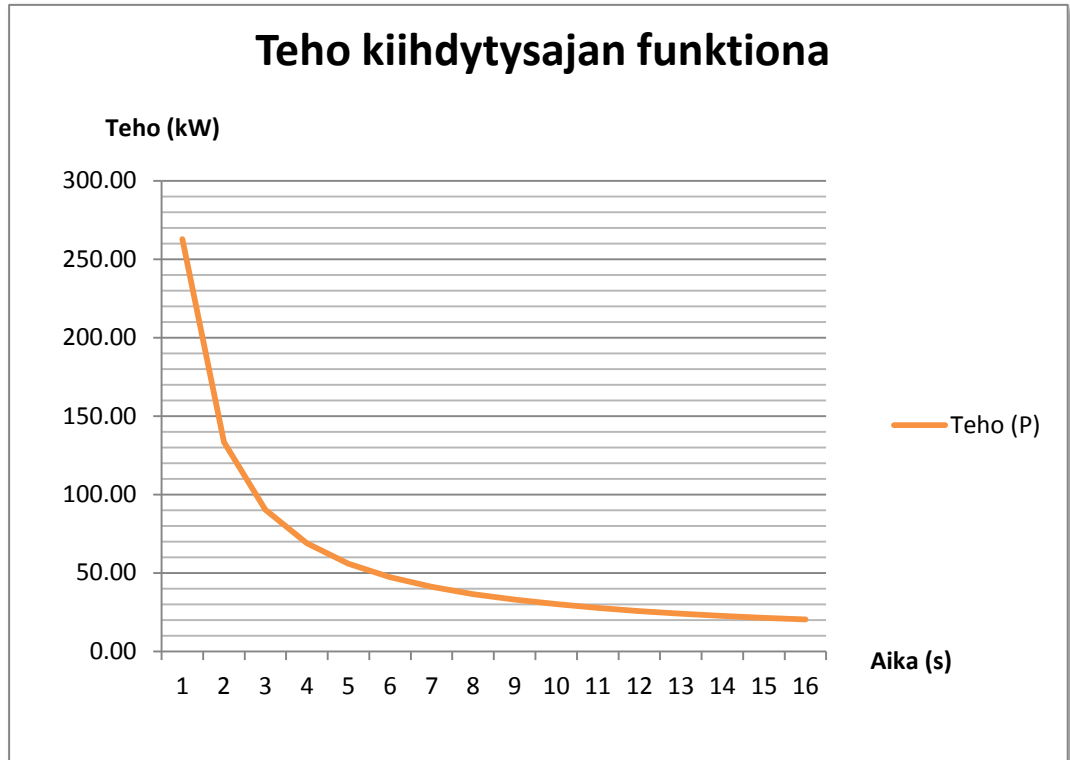
Taulukko 5.1. Laskennassa käytetyt arvot.

Omamassa	1345	kg
Matkustajat	200	kg
Tavarat	50	kg
Kokonaismassa	1595	kg
Ilmanvastuskerroin	0.45	
Otsapinta-ala	2.2	m ²
Renkaan halkaisija	0.605	m
Tehonsiirron hyötysuhde	0.9	
Perävälitys	3.9	
Alennusvaihe 1	3.64	
Alennusvaihe 2	2.36	
Alennusvaihe 3	1.53	
Alennusvaihe 4	1	
Alennusvaihe 5	-	
Hitausmassojen kerroin	1.05	

Tämän jälkeen annettiin sähköautolle tavoitenopeus ja kiihdytysaika. Tässä kohtaa tavoitenopeudeksi annettiin 60 km/h ja kiihdytysajaksi 8 sekuntia. Tavoitenopeudeksi valittiin 60 km/h, koska konversioautolla tulnaisiin ajamaan taajama- alueella, jolloin auton nopeus tulisi olemaan tavoitenopeuden mukaista. Näillä arvoilla mitoitusyökalu antoi tarvittavan sähkömoottorin huipputehoksi 36,6 kW. Lasketut tehontarpeet eri kiihdytysajoilla on esitetty taulukossa 5.2 ja kuvassa 5.1.

Taulukko 5.2. Tehontarve eri kiihdytysaikoihin verrattaessa.

Tavoite- nopeus (km/h)	Kiihdytys- aika (s)	Vaadittu teho (kW)
60	1	262.76
60	2	133.54
60	3	90.46
60	4	68.93
60	5	56.00
60	6	47.39
60	7	41.24
60	8	36.62
60	9	33.03
60	10	30.16
60	11	27.81
60	12	25.85
60	13	24.20
60	14	22.78
60	15	21.54
60	16	20.47



Kuva 5.1 Tehontarve kiihdytysajan funktiona, tavoitenopeudella 60 km/h.

Mitoitustyökalu hyödyntää seuraavaa yhtälöä (5.1), kun lasketaan tehon tarvetta. On huomioitava, että kyseisellä yhtälöllä saadaan tehontarve, kun ajetaan tasaisella tiellä.

$$P_t = \frac{\delta \cdot m_v}{2 \cdot t_a} (v_f^2 + v_b^2) + \frac{2}{3} \cdot m_v \cdot g \cdot f_r \cdot v_f + \frac{1}{5} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot v_f^3 \quad (5.1)$$

missä P_t on tehontarve, δ hitausmassoista riippuva kerroin, m_v ajoneuvon kokonaismassa, t_a haluttu kiihdytysaika, v_f ajoneuvon loppunopeus, v_b ajoneuvon perusnopeus, g putoamiskiihtyvyyys, f_r vierintävastuskerroin, ρ ilmantiheys, C_d ajoneuvon ilmanvastuskerroin ja A_f ajoneuvon otsapinta-ala. (Pirhonen 2011)

Tässä sähköautossa tullaan hyödyntämään vanhaa vaihdelaatikkoa, joka toimii täysin mekaanisesti vaijereilla, eikä näin ollen vaadi mitään tehostajan pumppua tai hydraulista järjestelmää. Vaihdelaatikolla saadaan helpotettua sähkömoottoria

ja se ei siten joudu niin suurelle rasitukselle kuin suoravetoinen moottori joutuisi. Tämän jälkeen voidaan laskea sähköauton nopeus yhtälöllä 5.2.

$$v = \frac{n}{60 \cdot G_r} * d * \pi * 3,6 \quad (5.2)$$

missä v on nopeus, d on renkaan halkaisija ja G_r on välityssuhde. Tässä tapauksessa renkaan halkaisija on 0,605 metriä ja moottoriksi on valikoitunut kaksinapainen sähkömoottori, joten saadaan alla olevan taulukon mukaiset suoritusarvot.

Taulukko 5.3 Sähköauton teoreettiset maksiminopeudet, moottorin nimellispyörimisnopeus 3000 rpm.

vaihte	vaihteen välitys	peränvälitys	kokonaisvälitys	teoreettinen maksimi nopeus [km/h]
1.	3,64	3,9	14,20	n. 24
2.	2,36	3,9	9,20	n. 37
3.	1,53	3,9	5,96	n. 57
4.	1	3,9	3,90	n. 88

Nopeuslaskennassa ei ole otettu huomioon jättämää, joka oikosulkumoottorissa on. On myös huomioitava, että tarvittaessa ajonopeutta voidaan suurentaa menemällä kentänheikennykseen, jonka avulla moottorin pyörimisnopeutta saadaan lisättyä jopa kaksinkertaiselle nopeudelle verrattuna nimellisnopeuteen.

Laskentaohjelma antoi auton tehontarpeeksi tyynellä säällä ajettaessa ja 80 km/h tuntinopeudella 14,9 kW ja kohtalaisessa vastatuulella 19,2 kW. Tasaisella ajettaessa tehontarpeeksi, kiihdyttäessä kahdeksassa sekunnissa 60 km/h tuntinopeuteen, saatiin siis noin 37 kW. Aluksi moottori meinattiin valita huipputehon, 37 kW mukaan, mutta todettiin, että on täysin turhaa mitoittaa turhan ylisuurta moottoria konversio autoon. Esimerkiksi ABB:n M3AA 200 MLA alumiiniprosessimoottori, joka on 30 kilowattinen, voitaisiin käyttää konversiossa. Moottorissa on tarvittava tehoreservi tiukempiinkin tilanteisiin ja se mahtuu hyvin fyysiseltä kooltaan konversio auton konehuoneeseen. Moottorin nimellispyörimisnopeus on 2952 rpm, nimellisvirta 52 A, nimellisvääntömomentti 97 N, tehokerroin 0,9 ja paino 198 kg.

5.2 Taajuusmuuttajan valinta

Taajuusmuuttajia löytyy vaikka minkälaisia, kuitenkin jos moottorissa päädytään ABB:n tuotteeseen, olisi tietenkin hyvä ottaa käyttöön ABB:n taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajassa tulisi olla sellainen ominaisuus, että akusto voitaisiin kytkeä suoraan välipiiriin, jolloin ei tarvittaisi erillistä tehoelektroniikkaa taajuusmuuttajan jännitteen syötölle.

ABB:ltä löytyy esimerkiksi ACSM1 taajuusmuuttaja, jonka tehonkesto on 30-45 kW ja nimellisvirrankesto 60-90 A, tämän lisäksi maksimi virta voi olla 105 A aina 150 A. Tässä tapauksessa 30 kW moottorilla ja 4 kHz kytkentätaajuudella, jatkuva lähtövirta voi olla 65 A ja lyhytaikaisesti voidaan ottaa 105 A maksimilähtövirtaa. Näillä arvoilla taajuusmuuttaja kykenee toimimaan vaativassakin kuormitustilanteessa. Taajuusmuuttaja toimii 485-648 V tasajännitetasolla.

Yllä mainitun taajuusmuuttajan koteloituiluokka, eli IP- luokka, on IP20. Tämä koteloituiluokka ei riitä tällaiseen sähköauto sovellukseen, vaan koteloituiluokkaa on parannettava erillisellä koteloinnilla, jolla suojataan taajuusmuuttajaa pölyltä ja kosteudelta. Tähän tarkoitukseen tarkoitettuja kotelointiluokkia on saatavilla esimerkiksi

sähkötukkuliikkeistä. Tällöin on myös huolehdittava taajuusmuuttajan lisätuuleuksesta, jottei se kuumene liikaa.

Yksi mielenkiintoinen vaihtoehto voisi olla käyttää SEW:n Movimot sähkömoottoria. Tässä taajuusmuuttaja on jo valmiina sähkömoottorissa ikään kuin integroituna. Turhilta kaapeloinneilta säästyttäisiin taajuusmuuttajan ja moottorin välillä. Mielestäni tästä ei kuitenkaan löydy sopivaa taajuusmuuttajaa, jossa akusto voidaan kytkeä suoraan välipiiriin. Tämä tietenkin selviäisi hieman enemmän asiaan perehtymällä.

5.3 Akuston mitoitus

Akusto on yksi oleellisin osa sähköautoa. Akusto toimii auton energianlähteenä, samalla tavalla kuten fossiilinen polttoaine tavallisissa polttomoottoreissa. Akkukennoa on erilaisia ja eri ominaisuuksilla. Tällä hetkellä eniten käytetty akkutyyppejä hybridi- ja sähköautoissa on litium-ioni akut, sen hyvien ominaisuuksien ansiosta. Ne ovat kuitenkin kalliita ja vaativat akuston valvontaa, etteivät ne kuumene liikaa. Akkuja kehitetään jatkuvasti eteenpäin ja toivottavasti tulevaisuudessa saataisiin kehitettyä akku joka on ominaisuuksiltaan hyvä, halpa hinnaltaan ja mahdollisimman kevyt.

Tässä tapauksessa on mietittävä, minkälaisella toimintamatkalla konversiosähköauton tulisi toimia. Akuille on käytettävissä paljon tyhjää tilaa, esimerkiksi takakontissa. Konehuone on myös erittäin tilava, joten siellä on myös mahdollista hyödyntää sähkömoottorin ympärille jäävä tyhjä tila. Ajatuksena on, että autolla pääsisi noin 100 km yhdellä latauksella. Uskoisin, että näin maltillisella toimintamatkalla pystytään hyvin ajamaan esimerkiksi oma työmatka. Näin myös pysytään maltillisissa kustannuksissa, kun puhutaan akuista.

Aikaisemmin todettiin, että kohtalaisessa tuulessa ajettaessa tehontarpeeksi saataisiin 19,2 kW, kun nopeus on 80 km/h. Tällöin tuolla nopeudella ajettaessa 100 km taittuisi 1,25 tunnissa. Nyt voidaan laskea energian kulutus 100 kilometrille seuraavalla yhtälöllä.

$$E = h * P_t, \quad (5.3)$$

missä E on energiankulutus, h tunnit ja P_t tehontarve kohtalaisessa tuulessa. Energiankulutukseksi saatiin 24 kWh.

Normaalisti sähköautoissa käytettävän akuston jännite on usein välillä 300-400 V. Esimerkiksi litium-ioni akun kennon jännite on useissa malleissa 3,2 V. Jos ajatellaan, että halutaan saada akustosta 400 V jännite, tulisi näitä 3,2 V akkukennoja olla sarjassa 125 kappaletta. Se, että onko tämä järkevää, pitää arvioida, mahdollisen toteuttamisen yhteydessä. Yhden tällaisen kennon paino liikkuu 100-300 gramman välissä, joten painokin on otettava huomioon, kun mietitään järkevää mitoitusta akustolle.

Akustossa tarvittava ampeeritunti määrä saadaan laskettua jakamalla energiankulutus, akuston jännitteellä. Tästä saadaan, että akustossa pitää olla vähintään 60 ampeeritunnin akut. Tässäkin on otettava huomioon, että laskennassa saadut tulokset ovat melko ideaalisia, joten pientä varaa niihin joutuu luonnollisesti varaamaan. Kuitenkin tämäkin pohdinta voidaan jättää mahdollisen toteuttamisen yhteyteen.

On myös huomioitava, että sähköauto konversioon on hankittava akuston jännitemittaus, jolla voidaan seurata varaustilaa. Tämän lisäksi tulisi olla akunhallintajärjestelmä, jolla voidaan estää akkujen liiallinen purkautuminen ja ylikuumeneminen. On myös varmistettava ettei akut kuumene liikaa, joten niille on järjestettävä jonkinlainen jäähdytys, puhaltimella tai muulla vastaavalla sovelluksella. Näin saadaan pidettyä akusto mahdollisimman pitkäikäisenä ja stabiilina.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä tehtiin konversiosähköauton mitoitussuunnitelma, jossa tehtiin karkea mitoitus kolmelle pääkomponentille, eli moottorille, taajuusmuuttajalle ja akustolle. On huomioitava, että toteutuksen yhteydessä on huomioitava erinäisiä muitakin asioita, jotta ajonautinnosta tulisi mahdollisimman hyvä.

Päädettiin valitsemaan tavallisia, teollisuudessakin käytettäviä moottoreita ja taajuusmuuttajia. Tämä sen takia, että näin ei tarvitse tehdä mitään erikoissovelluksia joiden valmistaminen on kallista ja aikaa vievää. Lisäksi sarjatuotanto tuotteissa päästäisiin inhimillisempiin kustannuksiin, koska niitä olisi helpommin saatavilla.

Luonnollista jatkoa tällä mitoitus suunnitelmalle toisi mielestäni konversion toteuttaminen. Tätä varten tulisi tehdä laskelmia projektin kustannuksista, joita moottorista, taajuusmuuttajasta, akustosta ja muista projektissa tarvittavista komponenteista aiheutuisi. Tässä työssä ei ole selvitetty minkälaisella budjetilla tämän tyyppisen sähkökonversion tekeminen onnistuisi. Tämä tulisi kuitenkin tehdä, ennen mahdollista projektin toteutusta.

LÄHTEET

- /1/ Kauppila, J. Electric propulsion system in modern sports car. Diplomityö 2010
- /2/ Kronström, K. Biomeri OY. Sähköajoneuvot Suomessa- selvitys. 2009
- /3/ Laurikko, J. Uudet ajoneuvotekniikat- Kehitysseuranta, VTT Prosessit, Moottorit ja ajoneuvot. 2002.
<http://virtual.vtt.fi/virtual/mobile/vuosikirja2002/artikkelit/sivut%20143-160.pdf>
- /4/ Alanen, R, Koljonen, T, Hukari, S ja Saari, P. Energian varastoinnin nykytila. VTT 2003. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>
- /5/ ESA, Electricity Storage Association. 2002. <http://www.electricitystorage.org>
- /6/ DeViries, T. Worlds biggest battery helps to stabilise Alaska. Modern Power Systems. Heinäkuu 2002, s. 36-39
- /7/ Motiva Oy, Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. Verkkojulkaisu 2006.
http://www.motiva.fi/files/2131/Vaihtoehtoiset_polttoaineet_ja_ajoneuvot.pdf
- /8/ Laita, S, Sähköautojen myynti yskii, verkkolehti artikkeli HS.fi, 2011.
<http://autot.oikotie.fi/uutinen/sähköautojen-myynti-yskii/30007?ref=HS>
- /9/ Korhonen, I, Litiumakut – uusia mahdollisuuksia. Promaint 8/2009.
<http://www.promaint.net/downloader.asp?id=3420&type=1>
- /10/ Buchmann, I. What's the best battery ? Battery university, 2010.
http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery
- /11/ Armand & Tarascon, Building better batteries, 2008. Verkkojulkaisu, saatavilla LUT:n verkosta.
<http://www.nature.com/nature/journal/v451/n7179/full/451652a.html>
- /12/ Pirhonen J-P, ePORSCHE – Moottorin ja invertterin valinta sähkömuunnosautoon,2011
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31809/Pirhonen_Jukka-Pekka.pdf?sequence=1

/13/ Ripatti S, Muunnossähköauton akuston suunnittelu, 2011

http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27477/Ripatti_Samuli.pdf?sequence=1

/14/ Pääkaupunkiseudun sähköinen liikenne, internet artikkeli, 28.02.2013.

<http://sahkoinenliikenne.fi/suomessa-sahkoautoja-yli-250/>

/15/ Alatalo M, European Batterie, Sähköautotyöpaja seminaariesitys, VTT, 24.5.2010

/16/ Ruusunen A ja Mäkeläinen T, Tee-se-itse sähköauto ABB:n komponenteilla, lehdistötiedote 2009,

<http://www.abb.com/cawp/seitp202/68cd717cb93c07c1c12575f3001cabfe.aspx>

[viitattu 5.4.2013]