

Miro Niemi

Sähköajoneuvojen akusto ja kestoikä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri AMK

Auto- ja kuljetustekniikka

26.04.2016

Tekijä(t) Otsikko	Miro Niemi Sähköajoneuvojen akusto ja kestoikä
Sivumäärä Aika	23 sivua + 1 liite 26.4.2016
Tutkinto	Tekniikka ja liikenne
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkö
Ohjaaja(t)	Vesa Linja-aho, lehtori
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena on sähköautojen akustojen kestävyys ja kapasiteetin lasku. Työn tarkoituksena on selvittää, miten sähköautojen akkukapasiteetti laskee ja mitkä eri tekijät siihen vaikuttavat. Työ on toteutettu kirjallisuusselvityksenä tutkimalla aihetta käsitteleviä internetlähteitä ja kirjallisuutta.</p> <p>Työssä on käsitelty yleisimmät sähköautoissa käytettävät akkutyypit ja niiden rakenne sekä tarkasteltu yleisesti sähköautojen ja akkujen toimintaa. Samalla on myös selvitetty, mitkä eri tekijät saattavat vaikuttaa akun kapasiteettiin.</p> <p>Esimerkkiautoiksi valikoituivat kaksi täyssähköautoa: nopeasti ympäri maailmaa suosiotaan nostanut Teslan Model S ja Nissan LEAF.</p> <p>Työssä huomattiin, että moni asia saattaa vaikuttaa sähköauton akuston kapasiteetin laskuun. Esimerkiksi korkeissa lämpötiloissa tai kovilla pakkasilla akut rasittuvat enemmän ja niiden käyttöikä saattaa lyhentyä. Myös jatkuva pikalatauksen käyttö saattaa syödä kapasiteettia samalla tavalla kuin kuluva aika. Oikein käytettynä ja normaalia latausta käyttävien Teslojen akustojen latauskertoja arvellaan kertyvän jopa yli 800, ennen kuin kapasiteetti laskee niin paljon, että akustojen vaihto on ajankohtaista.</p>	
Avainsanat	Auto, sähköauto, akkukapasiteetti

Author(s) Title	Miro Niemi Battery Life of Electric Vehicles
Number of Pages Date	23 pages + 1 appendix 26 Apr 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>This thesis deals with the lifetimes of electric car batteries, and how much the capacity of the batteries will go down in different cases. The main objective was to find out which circumstances lower the electric car battery capacity. The thesis also takes a look at batteries which are used in electric cars now and describes the technical data of these batteries. The batteries which are examined in this thesis are the most common batteries which are used in electric cars, so all the batteries which are available in the electric market are not dealt with. This thesis is based on literature and research work.</p> <p>First the basics of the electric cars and batteries are presented. After that eight different batteries are introduced which are commonly used in electric cars today. The following topics are presented: operating voltages, how many charge/discharge cycles battery will take, chemical reactions, how well the battery will work in the electric car and the future of the batteries. After that electric cars and how they work are discussed, what the situation of the electric cars in Finland is today, good points to own an electric car, and also the negative points are dealt with.</p> <p>The first example car, Tesla Model S, is introduced. No data published by Tesla Company about the car battery capacity could be found, and most of the data found about the car had been reported by car owners and researchers. One reason for that maybe that Tesla Model S is just a few years old car model. Because of the quite high price of the car there are not many of them in traffic in Finland, and not yet enough precise information about the battery capacity. However, there are data of Tesla's driving range, warranty and charging times. The next car which is featured in this thesis is Nissan Leaf. Technical data, driving ranges, and charging times of the car are presented.</p> <p>It was found that some batteries are more suitable for electric cars than others, and there is no perfect battery because all of them have good and weak points. Some batteries are cheaper to manufacture but often the lifetime of these batteries is shorter than the lifetime of expensive batteries, which means that the capacity of the battery goes down faster. There is no clear conclusion what the main reason for the capacity loss is, but it seems that several factors together drop the capacity, such as not charging and servicing the battery right.</p>	
Keywords	Electric car, capacity, battery

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Akut	2
2.1	Latausstandardit ja yleisimmät käytännöt	2
2.2	Akkutyyppejä	4
2.2.1	Litium-rautafosfaattiakku	4
2.2.2	Litiumioniakku	4
2.2.3	Litiumpolymeeriakku	6
2.2.4	Sinkki-ilma-akku	6
2.2.5	Sulasuola-akku	7
2.2.6	Lyijyakku	8
2.2.7	Nikkeli-kadmiumakku	9
2.2.8	Nikkelimetallihydridiakku	10
3	Sähköautot	12
3.1	Sähköautoista yleisesti	12
3.2	Sähköautojen akustojen kestoikä	14
3.2.1	Tesla Model S	14
3.2.2	Nissan Leaf	15
4	Yhteenveto	17
	Lähteet	19
	Liitteet	
	Liite 1. Teslan akusto	

1 Johdanto

Sähköajoneuvojen yleistymisen ja suosion kasvu sekä valtioiden tapa tukea puhtaampaa tapaa liikkua esim erilaisin verohelpotuksin ovat lisänneet kuluttajien kiinnostusta sähköautoihin. Tästä syystä sähköajoneuvot ovat yleistyneet etenkin viimeisen viiden vuoden aikana huomattavan paljon: esimerkiksi Norjassa Teslan Model S -malli oli monena kuukautena peräkkäin Norjan myydyin auto ja samalla sähköautojen tekniikka on kehittynyt paljon.

Koska sähköajoneuvot liikkuvat pelkästään akkujen tuottaman energian avulla, on akkuja kehitetty jatkuvasti ja autojen valmistajat koettavat koko ajan kehittää kevyempiä ja paremman kestoian omaavia akkuja. Ongelmana on kuitenkin se, että kun akkuja lisätään sähköauton kulkeman matkan pidentämiseksi, niin myös auton massa lisääntyy ja lisääntynyt massa vaatii lisää energiaa auton liikuttamiseksi. Lämpimurtoa ei vielä ole tämän ongelman saralla tehty, vaikka akut ovatkin kehittyneet viimeisen kymmenen vuoden aikana todella paljon. Akkujen valinta onkin nykyisin pitkälti toimintasäteen, hinnan, painon ja kestoian yhdistelmäratkaisuja. Eniten tällä hetkellä käytetty akku etenkin uudemmissa sähköautoissa on litiumioniakku.

Erilaisia sähköautoissa käytettäviä akkuja löytyy huomattavan paljon erilaisia. Osa akuista koetetaan jatkuvasti kehittää eteenpäin ja osa selvästi vanhaa teknologiaa sisältävä akku jätetään pois esim perinteinen lyijyakku, koska niiden kehittäminen ei enää ole kannattavaa tai mahdollista.

Akkujen kestoikä on riippuvainen ajotavasta ja olosuhteista, joissa autoa käytetään. Eri akkutyypit ovat herkkiä eri asioille. Joku akku saattaa kestää kovaakin lämpötilan sekä olosuhteiden vaihtelua ja toinen akku taas menettää käyttöikästään puolet.

Monet akut sisältävät pahoja ympäristömyrkyjä ja tästä syystä vanhaksi menneiden akkujen kierrätys on ensiarvoisen tärkeää, koska akun kemikaalien vapautuessa luontoon saattaa kemikaalien puoliintumisaika olla useita vuosia. Vanhoista akuista saadaan myös hyviä raaka-aineita uusien akkujen valmistukseen.

Työn tavoitteena on selvittää akkujen kapasiteettien laskun syyt ja se, kuinka nopeasti kapasiteetti laskee. Työ toteutettiin kirjallisuusselvityksenä tutkimalla aihetta käsitteleviä internetlähteitä ja kirjallisuutta.

2 Akut

2.1 Latausstandardit ja yleisimmät käytännöt

Akut ovat sähkökemiallisia energiavarastoja, jotka koostuvat kahden elektrodin, katodin ja anodin yhdistelmästä. Elektrolyytti on yleensä joko nestemäistä tai geelimäistä ja sijaitsee elektrodien välillä.

Akkujen luokitteluun käytetään elektrodien materiaalia: happoakussa elektrodit ovat lyijyä ja lipeäakussa nikkeliä, kadmiumia, rautaa tai metallihybridä.

Akut voidaan luokitella myös elektrolyyttien mukaan:

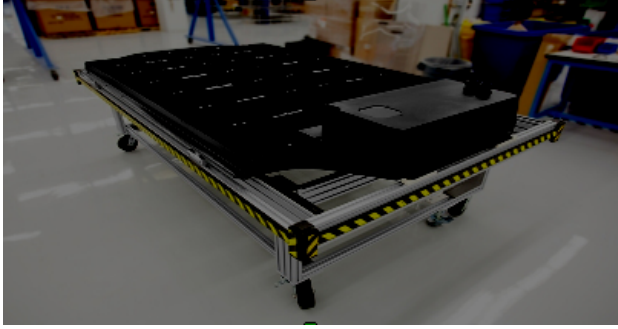
- lyijyakku
- suljettu lyijyakku (AGM)
- nikkeli-kadmiumakku (NiCd)
- nikkelimetallihydridiakku (NiMH)
- litiumioniakku (Li-ion)
- litiumpolymeeriakku (LiPo).

Kun akku kytetään virtapiiriin, anodilla tapahtuu hapettumisreaktio ja katodilla pelkistymisreaktio. Hapettumisen tapahtuessa luovutetaan elektroneja, jotka menevät anodin kautta virtapiiriin ja tämän jälkeen katodille synnyttäen sähkövirran.

Sähköautoissa käytetään energian lähteenä pelkästään akkuja, eli polttomooria ei autoissa ole ollenkaan. Autoissa on yleensä vaihtovirtalaturit, ja koska auto käyttää toimiakseen tasavirtaa, täytyy laturin tuottama jännite muuntaa vaihtovirrasta tasavirraksi.

Akkujen ongelma on yleisesti niiden paino, etenkin sähköautoissa, joissa akkuja saatetaan olla useita. Auton paino kasvaa akkujen myötä, ja näin akut joutuvat käyttämään enemmän energiaa auton liikuttamiseen ja akut kuluvat nopeammin.

Akut joiden toimintasäde on suunniteltu noin 150 - 200 km:n ajamiseen, painavat noin 300 kg, ja tästä syystä akut ovatkin kookkaita, kuten kuvassa 1 olevasta Teslan akusta nähdään.



Kuva 1. Tesla Model S:n akusto [1].

Samalla, kun kuluttajien sekä tuottajien kiinnostus akkuihin on lisääntynyt, on niitä kehitetty jatkuvasti eteenpäin etenkin automarkkinoilla, kun sähköautot ovat alkaneet kiinnostamaan kuluttajia. Tämä on saanut aikaan sen, että akkujen hinnat ovat laskeneet vuosien aikana, vaikka tekniikka niissä onkin kehittynyt jatkuvasti parempaan suuntaan. .

Vaikka sähköautojen akustojen kapasiteetti laskeekin jatkuvasti ajan myötä ja jossain vaiheessa akustot täytyy vaihtaa, niin akkujen hintojen laskiessa tämä ei aiheuta suurta painetta kuluttajille, kun vaihdosta tulevia kuluja verrataan perinteiseen henkilöautoon, joka toimii bensiinillä tai dieselillä. Esimerkiksi perinteistä polttomoottorilla toimivan auton huoltoon menee keskimäärin noin 400 euroa vuodessa, minkä päälle tulee vielä polttoainekulut riippuen auton käytöstä ja auton moottorin koosta. Jos verrataan polttomoottorilla toimivaa autoa Teslan Model S -malliin, niin polttoainekulut ovat nolla euroa ja energiakustannukset autolle ovat noin 0,035 euroa/kilometri [2]. Myös autojen huoltaminen on huomattavasti halvempaa, koska määräaikaishuolloissa ei ole moottorinöljyjen vaihtoja. Kuitenkin riippuen hieman Teslan Model S -mallin akkujen koosta, tulee jossain vaiheessa eteen akkujen vaihto.

Akkujen vaihto autoon on jo kertakuluna kohtuullisen iso: vuonna 2015 helmikuussa 85 kWh:n akustolla varustetun Teslan akuston uusiminen maksoi 44 000 dollaria ja Nissan Leaf -sähköauton akuston uusiminen maksoi samaan aikaan 5 500 dollaria [3].

Teslan Model S -mallien ollessa vielä kohtuullisen uusia ei vielä tiedetä tarkasti, minkä verran akustojen kapasiteetti kestää ajoa ilman huomattavaa laskua, mutta arvailut ovat 10 - 15 vuoden väliltä.

2.2 Akkutyyppejä

Tässä luvussa tarkastellaan esimerkkejä erilaisista sähköautoissa käytettävistä akuista. Ensimmäiseksi käydään läpi tällä hetkellä käytävissä olevat akut, joita kehitetään eteenpäin.

2.2.1 Litium-rautafosfaattiakku (LiFePO₄)

Litium-rautafosfaattiakku on litiumioniakku, joka käyttää katodimateriaalina litium-rautafosfaattia. Akku kestää tuhansia purku, sekä latauskertoja. Se on energia-tiheydeltään >120 Wh/kg ja nimellisjännitteen ollessa 3,2 V:n akku sopii erityisen hyvin sähköautoihin [4]. Tästä syystä akku on alkanut yleistymään sähköllä toimivissa autoissa, busseissa ja pyörätuoleissa sekä erilaisissa työkaluissa.

Litiumrautafosfaatti kuitenkin maksaa hieman enemmän kuin moni muu akuissa käytettävä raaka-aine ja tästä syystä akkujen käyttö nostaisi sähköauton valmistuksen kustannuksia, mikä taas heijastuisi saman tien kuluttajille myytäviin autojen hintoihin. Kuitenkin on syytä huomioida samalla akun pitkä käyttöikä verrattuna muihin vastaaviin ladataviin akkuihin. Hinta ei ole kova, jos ajatellaan asiaa myös akun käyttöiän kannalta ja verrataan sitä muihin akkuihin, jotka saattavat olla halvempia mutta joiden käyttöiät ovat lyhyempiä.

Litium-rautafosfaattiakku on myös kemialliselta rakenteeltaan turvallisempi kuin muut litiumakut eikä näin ollet aiheuta juurikaan räjähdysvaaraa. Akku ei myöskään ole ympäristölle läheskään yhtä kova myrky sinne mahdollisesti joutuessaan kuin moni muu tällä hetkellä käytössä oleva akku.

2.2.2 Litiumioniakku

Litium on metalleista kevyin. Sillä on suuri jännite ja näin myös suuri energiatiheys. Akun nimellisjännite on 3,2 - 3,7 V, joka on muita akkuja korkeampi, ja energiatiheys jopa 400 Wh/kg. Akku tuottaa tarvittavan energian, kun litiumioni liikkuu anodin ja kato-din välillä. Litiumioni liikkuu kohti katodia kun akku purkautuu, kuten nähdään kaavasta 1:



[5].

ja kohti anodia kun akku latautuu, kuten nähdään kaavasta 2:

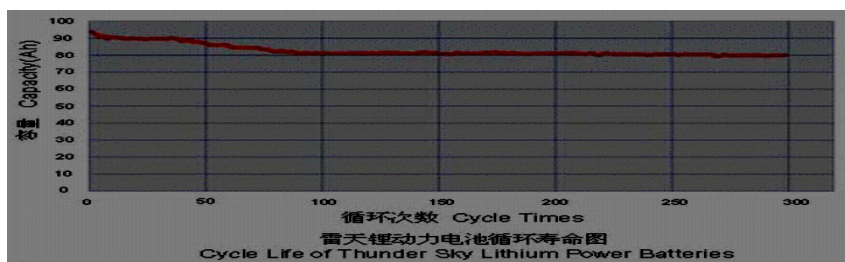


[5].

Litiumioniakussa on negatiivisia sekä positiivisia elektrodeja ja näiden lisäksi elektrolyyttejä, jotka mahdollistavat sen, että litiumionit voivat liikkua elektrodien välillä eikä fyysisiä kontakteja pääse tapahtumaan. Litiumioniakun rakentamiseen on käytetty litiumoksidia, mangaanioksideja, kobolttioksidia, rautafosfaattia, nikkeliä, alumiinia, titaanaatteja ja polymeerejä. [6, s. 17 - 19.]

Vaikka kyseistä akkua käytetään sähköautoissa esimerkiksi hyvän energiatiheyden vuoksi, niin silti akku ei sovellu siihen käyttöön yhtä hyvin kuin litium-rautafosfaattiakku, koska litiumioniakku ei kestä ylilatausta tai liiallista purkamista. Tämän lisäksi mikäli akkua säilytetään pitkään käyttämättömänä, tulisi akun latausasteen olla noin 70 - 90 % [7]. Jos akun varastointiaika on hyvin pitkä ja latausaste alle tuon, niin akunkennot saattavat menettää osan kapasiteetistaan. Litiumioniakku on myös herkkä epäpuhtauksille ja kosteudelle, joille se saattaa altistua esimerkiksi akun valmistuksen aikana. Tämäkin saattaa syödä jo akun kestoikää huomattavasti.

Litiumakkujen kapasiteettien laskua latauskertojen suhteen on tutkittu ja tutkimuksissa huomattiin, että uusien akkujen kapasiteetti on 88 - 94 % ja akkujen kapasiteetti laskee noin 40 - 80 ensimmäisen latauskerran aikana eniten, jonka jälkeen kapasiteetin lasku tasaantuu, kuten kuvasta 2 nähdään.



Kuva 2. Litiumioniakun kapasiteettien lasku suhteutettuna latauskertoihin [8, s. 25].

Litiumakkua voidaan siis ladata satoja kertoja, ilman että sen kapasiteetti putoaa alle 80 %. Joidenkin arvioiden mukaan akku saattaa kestää ilman merkittävää kapasiteetin laskua jopa 200 000 km ajoa, mikä tarkoittaa jo pitkäikäistä akkua [9]. Nämä tosin ovat olleet puhtaasti arvioita, eikä tarkempaa tietoa vielä ole saatavissa niin kattavia määriä, että niistä voisi tehdä kovin varmoja päätelmiä.

2.2.3 Litiumionipolymeeriakku (LiPo)

Akku tuottaa tarvittavan energian samalla tavalla kuin litiumioniakku ja litiumpolymeeriakku onkin litiumioniakun ”serkku”. Akun nimellisjännite on 3,6 V ja energiatiheys 100 - 130 Wh/kg sekä kapasiteetti pysyy kohtuullisena noin 300 - 500 latauskertaan asti, joka tarkoittaa että kapasiteetti pysyy vielä 80 % tai yli. [10]

Erona perinteisiin litiumioniakkuun on se, että litium säilötään polymeeriseen aineeseen eikä orgaaniseen liuottimeen. Elektrolyytit valmistetaan niin, että litiumsuola sekoitetaan polyetyleenioksidin kanssa. Negatiivinen elektrodi on ohutta kalvoa, joka on litiumia, ja positiivinen elektrodi on myös kalvotyypinen, mutta se on valmistettu vanaadiinista ja mangaanista. [10; 6, s. 20.]

Vaikka akku on hyvä sähköautossa latauskestävyydensä ja etenkin keveydensä takia, akun säilyttämiseen liittyy pieni ongelma, ja se on akun turpoaminen. Jos akkua ei ole säilötty säilytysjännitteessä, saattaa akku turvota jopa kolmessa päivässä aiheuttaen repeytymisvaaran. Akun hajotessa siitä vapautuu ilmaan hengitykselle myrkyllisiä kaasuja ja se saattaa syttyä tuleen.

2.2.4 Sinkki-ilma-akku

Sinkki-ilma-akut eivät vielä ole sähköautoissa päässeet yleistymään, mutta niitä koetaan kehittää jatkuvasti sähköautoihin sopivammiksi. Koska kyseessä on sinkki-ilma-seos, niin sen hyvänä puolena tulee akun keveys, minkä lisäksi energiatiheys olisi myös suurempi kuin suurimmalla osalla muista perinteisimmistä akuista. Energiatiheys on noin 200 Wh/kg ja käyttöjännite 1,4 V. [11]

Kuten edellä mainittiin, niin sinkki-ilma-akuissa on korkea energiatiheys ja se johtuu siitä, että kemiallisen reaktion osana on ilma. Akussa on sitä varten rakennetut ”happikanavat”. Mangaanidioksidielektrodi korvautuu ohuella ilmaelektrodilla, joka sisältää

myös hiiltä. Hiili katalysoituu hapen kanssa, jotta reagoiminen sinkin kanssa on mahdollista. [11, s. 3 - 4.]

Sinkki-ilma-akusta on kaksi versiota: toinen on käytä ja kävitä -tyyppinen akku, jos ei halua laittaa akkuun uusia sinkkielektrodeja ja toinen akku on perinteinen ladattava akku. Ensiksi mainittu toimii hieman samalla tavalla kuin polttomoottorilla toimiva auto. Tätä akkua ei voi ladata elektronisesti, vaan se pitää suorittaa mekaanisesti, mikä tarkoittaa, sitä että akun sisään pitää "tankata" uudet sinkkielektrodit, kun akun virta alkaa alkaa loppumaan. [12]

Sinkki-ilma-akuissa on kuitenkin vielä pieni ongelma liittyen sinkkielektrodeihin ja elektrolyytteihin sekä näiden välisiin reaktioihin, joita ei ole vielä kunnolla saatu ratkaistuksi. Ongelmia on saatu osittain hieman pienennettyä akun katalyyttejä kehittämällä.

2.2.5 Sulasuola-akku

Myös sulasuola-akku käyttää reaktiossa apuna ilmaa, kuten edellä mainittu sinkki-ilma-akku. Sulasuola-akku on kehittyvässä tilassa oleva akkujärjestelmä ja siitä odotetaan ratkaisijaa sähköautojen akkuongelmaan. Tämän akun tehokapasiteetti Wh/l saattaa olla jopa nelinkertainen litium-ilma-akkuun nähden. Energiatiheys on noin 90 Wh/kg ja toimintalämpötila noin 300 - 400 astetta. [13]

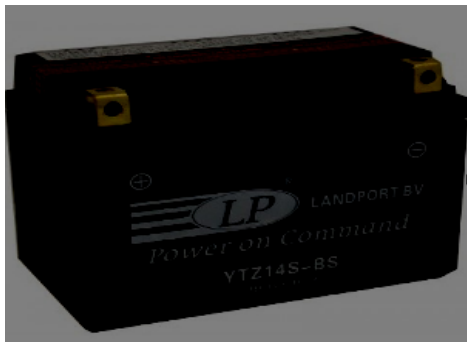
Latausta purettaessa rauta muuttuu rautaoksidiksi, ja kun akkua ladataan, rautaoksidi muuttuu takaisin raudaksi vapauttaen samalla hapen ilmaan. Kyseisen kemiallisen tapahtuman johdosta akku kuumenee huomattavan paljon, koska akku vaatii korkean lämpötilan toimiakseen. Akun kennostot on kuitenkin eristetty hyvin, ja tästä syystä akkua voidaan käyttää sähköautossa. Elektrolyytteinä sulasuola-akuissa toimii yleensä nimensämukaisesti sula-suola, kuten esimerkiksi natriumkloridi. [13 ; 14.]

Koska akulla on hyvä energiatiheys sekä akun valmistamiseen tarvittavat raaka-aineet ovat kohtuullisen halpoja, akku kiinnostaa sähköautojen valmistajia. Sulasuola-akusta on kehitetty nyt ilmaa hyödyntävä versio, joka mahdollistaa sen, että yksi molekyyli voi varastoida tarvittaessa useita elektrodeja. Ilmaa myös saa ilmaiseksi, minkä lisäksi ilman käyttäminen akussa tekee akusta kevyemmän sekä sen energiatiheys kasvaa. Tästä uudesta sulasuola-ilma-akusta odotetaan uutta ratkaisijaa sähköautojen akustoja koskevaan ongelmaan. [13; 14.]

2.2.6 Lyijyakku

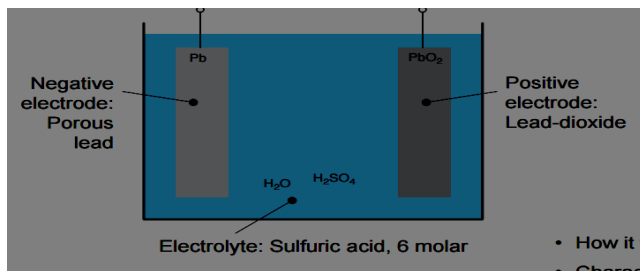
Lyijyakku on yksi eniten käytetty akkutyyppeistä henkilöautoissa, joka on kuitenkin nyt väistymässä sähköautoista uudempien akkutyyppeiden tieltä. Lyijyakkua on kahta erilaista versiota: lyijyhappoakku tai lyijyhyytelöakku, jonka valmistamiseen on käytetty piitä, jolloin akkuhappo on muuttunut hyytelömäiseksi. Toinen lyijyakun versio on niin sanottu suljettu lyijyakku, jonka sisällä oleva happo on imeytetty lasikuitumattoon.

Kuvassa 3 perinteinen henkilöautossa oleva 12 V:n lyijyakku.



Kuva 3. Useissa henkilöautoissa käytössä oleva lyijyakku [15].

Lyijyakku sisältää nimensämukaisesti kaksi kappaletta lyijylevyjä, jotka ovat peittyneet lyijysulfaattilla, silloin kun akku on tyhjä. Kuvassa 4 akun elektrodit ovat lyijyä ja elektrolyyttinä toimii rikkihappoliuos.



Kuva 4. Lyijyakun kemiallinen rakenne [16]

Ladattaessa akkua anodi puhdistuu lyijymetalliksi ja katodi peittyy lyijyoksidilla. Mikäli akku on syystä tai toisesta menettänyt elektrolyyttejään, niin akussa on avattavat kennot ja niihin voi lisätä tislattua vettä paikkaamaan elektrolyyttien vajetta. Kaikkiin lyijyakuihin tätä ei kuitenkaan voi tehdä, koska osa niistä on niin sanottuja huoltovapaita malleja eli suljettuja lyijyakkua. [17; 14]

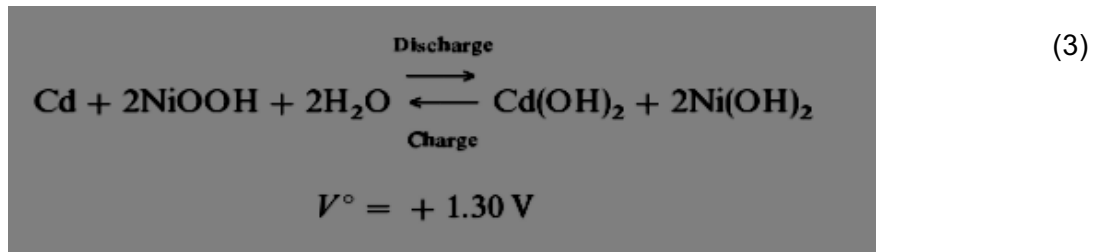
Akun sisältämän lyijyn takia akulle kertyy nopeasti painoa kun sen kokoa kasvatetaan. Tästä syystä lyijyakut eivät sovellu kovin hyvin sähköautoihin.

Normaalissa henkilöautossa on 12 V:n käyttöjännite, joka tarkoittaa, että auto vaatii kuusi kappaletta sarjaan kytkettyjä lyijylevyparia, jotta kyseinen käyttöjännite saavutetaan. Yksi lyijylevy pari tuottaa 2 V:n jännitteen. [18]

Lyijyakku sisältää nimensä mukaisesti lyijyä joka on ympäristölle myrkyllistä. Akku tulee toimittaa elinkaarensa loputtua vaarallisenjätteen keräyspisteeseen.

2.2.7 Nikkeli-kadmiumakku (NiCd)

NiCd-akun positiivinen elektrodi on materiaailtaan nikkelihydroksidia ja negatiivinen elektrodi taas on kadmiumia. Positiivisen elektrodin nikkelihydroksidi on valmistettu kemiallisesti nikkelijauheesta. Elektrolyyttinä toimii kaliumhydroksiliuos. Kaavassa 3 näkyy, kuinka akun sisältämät kemikaalit reagoivat keskenään kun akkua ladataan tai puretaan:



[19, s. 164]

Akku on kestoiältään pitkä (noin 800 - 1000 latauskertaa), ja sisäisen resistanssin ollessa pieni virranantokyky on suuri. Energiatiheys noin 50 Wh/kg.

Akkua kuitenkin hieman vaivaa muisti-ilmiö eli mikäli akkua ei hoideta oikein, niin se menettää kapasiteettiaan. Etenkin jos akun varausta ei pureta säännöllisesti vaan aina akun varausta kulutetaan esimerkiksi 20 %, alkaa akun sisäinen kapasiteetti laskemaan. Tämä ongelma voidaan välttää, kun akku puretaan noin kerran kuukaudessa tyhjäksi. Muisti-ilmiö johtuu siitä, että elektrodien aktiivisaineissa olevaa kahden arvon oksidi muuttuu alempiarvoiseksi. Tämä näkyy akusta saatavan jännitteen noin 0,2 V:n

alenemana. Muisti-ilmiötä on kuitenkin saatu vähennettyä viime aikojen kehitystyön ansiosta [19, s. 133 – 134; 9].

Akkua voidaan ladata pikalatausjärjestelmällä, mikäli lämpötila on akulle sopiva, joka on tässä tapauksessa noin 5 - 45 astetta. Etenkin matalemmissa lämpötiloissa akun sisälle alkaa muodostumaan kaasua, ja näin akun sisäinen paine alkaa kasvamaan.

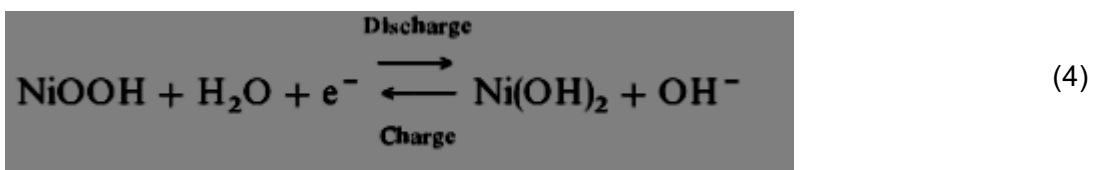
Akuissa käytetään vahvasti emäksistä kaliumhydroksiliuosta, joka on erittäin kova ympäristömyrky, ja tästä syystä uusissa sähköautoissa ei kyseisiä akkuja enää käytetä. [20]

2.2.8 Nikkelimetallihydridiakku (NiMH)

Nikkelimetallihydridiakun toiminta on hyvin samanlainen kuin nikkelikadmiumakussa, mutta varauskapasiteetti saattaa olla jopa kolme kertaa suurempi kuin vastaavankokoisessa nikkelikadmiumakussa ja energiatiheys on myös korkeampi sen ollessa nikkelimetallihydridiakussa 60 Wh/kg. Myös tämä akku kärsii muisti-ilmiöstä, mutta ei yhtä pahasti kuin nikkelikadmiumakku. Vaikka varauskapasiteetti on suurempi kuin samankaltaisessa nikkelikadmiumakussa, niin kestoikä on tätä lyhyempi ja lämpötilaherkkyys suurempi, eli akku ei kestä suuria lämpötilan vaihteluita. Tästä syystä akun lataus pitäisi suorittaa 10-45 asteen lämpötilassa. Kylmemmässä ladattaessa saattaa akkukennojen paine päästä nousemaan ja tämä on haitallista akulle. Myös virranantokyky on matalampi kuin nikkelikadmiumakulla. [21; 11; 10]

Akussa olevat positiiviset elektrodit ovat nikkelihydroksidia ja negatiiviset elektrodit ovat vetyä adsorboivia metalliseoksia. [11]

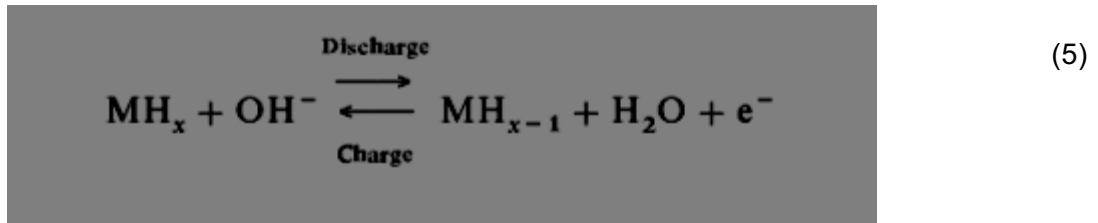
Kaavassa 4 nähdään miten nikkelihydroksidiakun positiiviset elektrodit käyttäytyvät kemiallisesti sitä ladattaessa tai purkaessa.



[19, s. 169]

Kaavassa 5 nähdään vastaavasti, miten negatiiviset elektrodit käyttäytyvät lataus ja

purkautumistilanteissa.



[19, s. 170]

Nikkelimetallihydridiakku sisältää myös nikkeli-kadmiumakun lailla nikkeliä, joka on hyvin haitallinen ympäristölle. Siksi akku tulee hävittää sille kuuluvalla tavalla viemällä se akkujenkeräyspisteeseen.

3 Sähköautot

3.1 Sähköautoista yleisesti

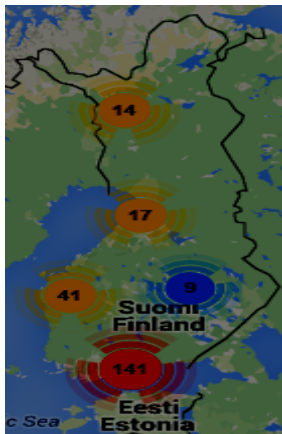
Sähköauto tarkoittaa autoa, joka käyttää liikkumiseen tarvittavana energiana sähköä, joka on latautunut auton akkuihin. Autot voi saada automaattivaihteisina, kokonaan vaihteettomina tai manuaalivaihteistolla. Sähköautot ovat viime vuosina alkaneet yleistyään useissa maissa, mutta polttomoottorilla varustetut autot kuitenkin edelleen kiinnostavat kuluttajia enemmän. Tähän suurimpia syitä ovat sähköautojen hinta ja toimintasäde, joka on auton painosta, akustosta ja ajotavasta riippuen 50 - 500 km.

Vaikka polttomoottorilla toimivat autot ovatkin edelleen kysytympiä kuin sähköautot, niin kaupungeissa ovat ihmiset alkaneet ostamaan myös sähköllä toimivia autoja, kun autojen latauspisteitä on sijoitettu kaupunkeihin. Helsingin Kampin kaupunginosasta, Sähkötalon vierestä löytyy esimerkiksi tällainen latauspiste. Ihmiset ovat myös alkaneet kiinnittämään enemmän huomiota ilmanlaatuun, ja valtio tukee sähköautoilua monissa maissa veronkevennyksillä.

Vaikka esimerkiksi Norjassa Teslan Model S oli monena kuukautena peräkkäin maan myydyin auto, niin silti sähköautot ja niiden kauppa odottavat vielä läpimurtoaan. Suomessa Teslan Model S maksaa varustuksesta riippuen 80 000 eurosta ylöspäin, ja sillä saa myös edustus tason polttomoottorilla toimivan auton. Auto on hintava Suomen mitapuulla perheautoksi ja siksi Model S:stä on tullutkin keskivertoa varakkaampien ihmisten auto. [22] Nissan Leaf on lähtöhinnaltaan 34 990 €, eli Tesla on hinnaltaan yli kaksinkertainen, mutta toimintasäteeltään Tesla on huomattavasti Nissania parempi [23].

Myös latauksen kesto vaikuttaa kuluttajien ostohalukkuuteen kun polttomoottorilla käyvän auton tankkaa huoltoasemalla muutamassa minuutissa, niin sähköauton lataus kestää 15 minuuttia (pikalataus) -12 tuntia, minkä jälkeen autolla voi ajaa 50 - 500 km. Tämä on iso ongelma etenkin Pohjois-Suomessa, jmissä julkisia latauspisteitä on hyvin vähän ja välimatkat ovat pitkiä. Pohjois-Suomen pakkasia akut kestävät hyvin, kun ne on suunniteltu toimimaan -25 - 65 asteen välillä. Koteloimalla akut saadaan pakkasen kesto jopa -40 asteeseen asti.

Yksi iso syy myös kuluttajien ostopäätökseen on sähköautojen julkisten latausverkostojen vähyys. Esimerkiksi koko Suomen kattavan latausverkoston rakentaminen maksaisi miljoonia, kun pitää ottaa huomioon toistaiseksi sähköautojen lyhyet ajomatkat. Tällä hetkellä Suomesta löytyy 222 julkista sähköauton latauspistettä, joista suurin osa (141 kappaletta) sijaitsee Etelä-Suomessa [24]. Kuvasta 5 näkee loppujen latauspisteiden sijainnit [24]



Kuva 5. Suomessa sijaitsevat julkiset sähköautojen latauspisteet [24]

Vaikka sähköauton lataus ja toimintasäde ovat vielä tällä hetkellä tietynlaisia ongelmia lataamisen hitauden ja toimintasäteen puutteellisuuden vuoksi, niin osa sähköautoista pystyy kuitenkin hyödyntämään jarrutustilanteissa syntyvää energiaa, jolloin auton moottori toimii generaattorina ja jarrutuksessa luotu energiaa käytetään auton kiihdyttämiseen uudestaan haluttuun nopeuteen. Joissain sähköautomalleissa taas jarrutustilanteessa ei syntyvää energiaa varastoida auton akkujen kennoihin, vaan energia varastoituu kondensaattoreihin, jotka pystyvät käsittelemään suuria sähkövarauksia akkuja paremmin. Tämä on sähköautojen iso etu verrattuna polttomoottorilla varustettuihin henkilöautoihin, joissa suurin polttoainetta kuluttava teki on juuri liikkeellelähtö pysähdyksistä. Tämä on iso etu etenkin kaupungissa ajettaessa, kun pysähdyksiä tapahtuu paljon.

Jos verrataan polttomoottori- ja sähköautoa energiatehokkuudeltaan, niin sähköauto on huomattavasti energiatehokkaampi. Sähköauto vie huomattavasti vähemmän energiaa kuin polttomoottorilla varustettu auto. Sähköauto kuluttaa keskimäärin 10 - 15 kWh / 100 km, kun taas diesel moottorilla varustettu auto vie noin 5 l / 100km, joka on energiana noin 50 kWh / 100 km ja bensiinimoottori kuluttaa 8 l / 100 km, joka energiaksi muutettuna 72 kWh / 100 km.

Energiatiheydeltään sähköautot ovat reilusti polttomoottoriautoja jäljessä. Kun sähköauton energiatiheys on noin 0,1 kWh/kg, niin dieselillä vastaava luku on 12 kWh/kg. Jos dieselauton polttoainetankin tilavuus on 50 l ja toimintasäde tällöin on keskiarvoisella kulutuksella noin 1000 km, niin tämä tarkoittaa sitä, että sähköauto pääsee vastaaviin toimintasäteisiin, kun akut painavat noin 1000 kg. [25]

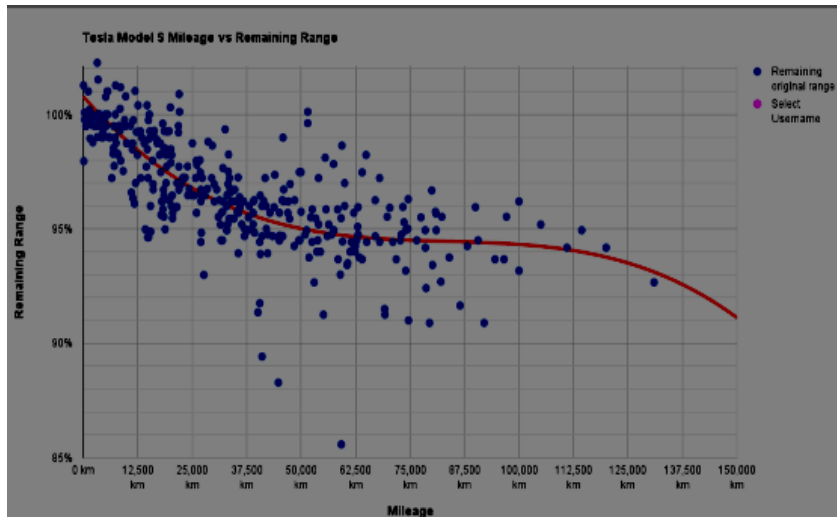
Sähköautot ovat yleistyneet voimakkaasti viime vuosien aikana etenkin isompien kaupunkien lähistöllä, missä sijaitsee julkisia latauspisteitä enemmän ja ajettavat välimatkat ovat lyhyempiä. On todennäköistä että sähköautot tulevat yleistymään lisää tulevaisuudessa, kun akkujen tekniikka saadaan kehitettyä eteenpäin, niin että yhdellä latauksella autolla voidaan ajaa pidempiä matkoja ja julkisia latauspisteitä lisätään. Monen mielestä sähköauto on myös halvempi vaihtoehto polttomoottorikäyttöiselle autolle ainakin Suomessa, jossa polttoaineet ovat korkeasti verotettuja. Sähköauton huoltaminen on myös edullisempaa verrattuna polttomoottorilla varustettuun henkilöautoon, koska auton moottorista ei löydy öljyä, mutta sähköautojen akustojen vaihto maksaakin jo huomattavan paljon.

Nykyisten sähköautojen akkujen kapasiteetti laskee noin 10 % ensimmäisen vuoden aikana, eli kohtalaisen paljon. Akkujärjestelmät on kuitenkin nykyisin niin hyvin rakennettu, että akkutekniikka kompensoi tuota 10 % kapasiteetin menetystä, eivätkä normaalit autonkäyttäjät tuota menetystä juurikaan huomaa.

3.2 Sähköautojen akustojen kestoikä

3.2.1 Tesla Model S

Oheisesta kuvasta 6 huomataan, että esimerkiksi Teslan Model S-mallissa akkukapasiteetti laskee noin 40 000 km:iin asti, jonka jälkeen kapasiteetin lasku tasaantuu. Laskun osuudessa on noin 5 %:in luokkaa eli kohtalaisen pieni. Seuraava lasku tulee noin 100 000 km:in jälkeen, mutta niin paljon ajettuja autoja ei tuossa datassa juurikaan ole ja ne muutammat, joita on, vetävät linjaa voimakkaasti alaspäin. Kuva 6:n tiedot eivät ole Teslan julkaisemia tietoja, vaan Teslojen omistajien itse keräämää dataa akkujen kapasiteeteista. [24]



Kuva 6. Tesla Model S-henkilöauton akkukapasiteetin lasku suhteessa kilometreihin [27]

Teslan Model S -on automallina vielä niin tuore, että luotettavaa dataa sen akkujen kapasiteetista ei ole saatavilla. Muutaman vuoden päästä, kun autoja on enemmän liikenteessä ja osalla on jo ajettu enemmän, saadaan paremmin tietoa, miten akut keskimääräisesti kestävät ennen vaihtoa.

Tällä hetkellä kuitenkin Tesla lupaa Model S-malliin 8 vuoden takuun akuille ilman kilometrirajoituksia (60 kWh:n akulla olevissa autoissa akkujen takuulle on myös kilometri-rajana 200 000 km). Tästä voisi päätellä että akkuja pidetään hyvin luotettavina ja pitkäikäisinä moniin muihin sähköautoihin nähden. [28; 26]

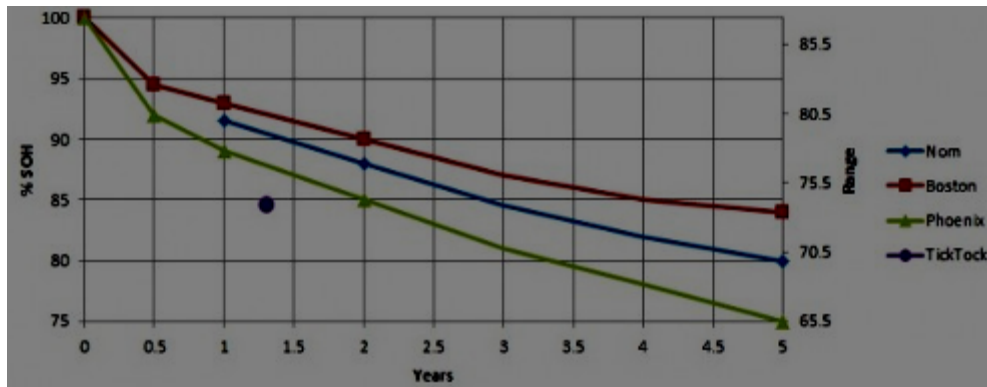
3.2.2 Nissan Leaf

Nissan Leaf oli Trafín tietojen mukaan vielä joulukuussa 2015 Suomen suosituin sähköauto [29]. Kuvassa 7 näkyy auton mittaristo ja mittariston ihan oikeassa reunassa oleva palkki kertoo auton akuston kapasiteetin tilan.



Kuva 7. Nissan Leaf -sähköauton mittaristo. Ohut oikean puoleisin palkki kertoo akun kapasiteetin. [30]

Kuvasta 8 nähdään Suomen toiseksi yleisimmän sähköauton Nissan Leafin akku kapasiteetin käyttäytyminen. Huomataan, että samalla tavalla kuin Teslan Model S -mallissa ensimmäinen lasku Leafin akun kapasiteetissa on melko jyrkkä ja laskeutuu niin, että kapasiteettia jää jäljelle noin 95 %, minkä jälkeen tasaantuu. Lasku on kuitenkin vielä tämän jälkeen tasaista, noin 3 - 5 %:n vuosivauhtia.



Kuva 8. Nissan Leafin akun kapasiteetin lasku suhteessa vuosiin [31]

Nissan Leafin akusto kestää oletettavasti noin 10 vuoden käytön ilman että kapasiteetti laskee merkittävästi 80%:in alapuolelle. Tähän vaikuttaa kuitenkin olosuhteet, joissa auto käytetään sekä se kuinka usein käyttää pikalatausta. Näiden lisäksi vielä kapasiteetin keston vaikuttaa ajotavat, maasto, ilmastointin käyttö, nopeus ja lämmityksen käyttö eli on erittäin hankala arvioida, mikä mahdollinen yksittäinen tekijä kuluttaa kapasiteettia eniten. Nissan on myös lähtenyt kilpailemaan Teslan kanssa akkujen takuuajoissa ja lupaa akuilleen 8 vuoden tai 160 000 km:in takuun, jos kyseessä on Leafin versio, jossa on 30 kWh:n akku. [32]

Pakkanen myös syö akun kapasiteettia ja tämä asia on hyvä ottaa huomioon, jos asuu Pohjois-Euroopassa. Kun otetaan esimerkiksi huomioon Pohjois-Suomen kylmät talvet, niin viimeisten 70 vuoden aikana talvien keskilämpötilat ovat olleet Sodankylässä -10:n ja -16:n asteen väliltä. Voikin siis olettaa, että jos asuu Pohjoisessa-Euroopassa, niin Leafin akun kapasiteetti kuluu nopeammin kuin muualla Euroopan alueella. [33]

4 Yhteenveto

Insinöörityössä tutkittiin ja selvitettiin sähköautojen akkujen kapasiteetin laskua. Sähköautot ovat viime vuosina yleistyneet voimakkaasti ympäri maailmaa ja useiden eri valtioiden tarjoamat verohelpotukset sähköautojen omistajille ovat kannustaneet yhä useampaa uuden auton ostajaa valitsemaan sähköauton polttomoottorilla toimivan auton sijasta. Myös jatkuva polttoaineiden hintojen nousu verotuksen koventuessa ja verojen muokkautuminen auton päästöjen mukaan ovat kannustaneet ihmisiä suosimaan sähköautoja.

Sähköautoissa kuitenkin iso ongelma on tällä hetkellä niiden toimintamatka. Teslan Model S -mallin isoimmalla akulla (90 kWh) varustetulla mallilla voi taittaa parhaimmillaan hieman yli 500 km. Tämä on tällä hetkellä yksi harvoista sähköautoista, joka tähän pystyy, mutta Tesla Model S on taas hinnoiteltu sen verran korkeaksi, että harva kuluttaja sitä suostuu ostamaan, koska samalla hinnalla saa jo luksusluokan BMW:n. Nissan Leaf olisi huomattavasti edullisempi vaihtoehto, mutta sen toimintamatka on vain ajotavoista sekä olosuhteista riippuen 200 - 250km, eli puolet vähemmän kuin Teslan Model S -autolla, mutta hintakin on paljon edullisempi.

Sähköautojen akustoja pitäisi kehittää eteenpäin, ja näin onkin tehty. Akkuvalmistajat ovat onnistuneet luomaan esimerkiksi sulasuola-ilmakun, josta odotetaan ratkaisijaa sähköautoja vaivaavaan akkuongelmaan. Aika kuitenkin näyttää miten akut tulevat sähköautoissa kehittymään, mutta viimeiset pari vuotta ovat näyttäneet siltä, että lujaa mennään eteenpäin.

Vaikka julkiset latauspisteet ovat Suomessakin lisääntyneet huomattavan paljon, saisi niitä tulla vielä paljon lisää etenkin Keski-Suomeen, jossa ajettavat välimatkat ovat pitkiä. Sama koskee myös Pohjois-Suomea. Ajoreitit pitäisi suunnitella huolellisesti, jos aikoo sähköautolla taittaa matkan ja auto on jonkun muun merkinen kuin Tesla. Myös jos suunnitelmassa on ajaa pidemmän matkan, tulee sähköauton akku ladata ja tämä vie laturista ja autosta riippuen 15 min - 12 h.

Siksi sähköautot ovatkin pääasiallisesti suositumpia Etelä-Suomessa verrattuna muuhun Suomeen. Ajomatkat ovat täällä lyhyempiä, ja autot voi ladata yön aikana kotona.

Vaikka julkiset latauspisteet ovat Suomessakin lisääntyneet huomattavan paljon, saisi niitä tulla vielä paljon lisää etenkin Keski-Suomeen, jossa ajettavat välimatkat ovat pitkiä. Sama koskee myös Pohjois-Suomea. Ajoreitit pitäisi suunnitella huolellisesti, jos aikoo sähköautolla taittaa matkan ja auto on jonkun muun merkinen kuin Tesla. Myös jos suunnitelmissa on ajaa pidemmän matkan, tulee sähköauton akku ladata ja tämä vie laturista ja autosta riippuen 15 min - 12 h.

Sähköautojen akkujen kapasiteetin laskusta on hyvin vähän valmistajien tarjoamaa dataa tarjolla, ja etenkin Teslan Model S -mallista tarkkojen kapasiteettia koskevien tietojen löytäminen on hankalaa. Omalta osaltaan tämä selittyy sillä, että auto on mallina vielä sen verran uusi, ettei niillä ole ehditty ajamaan niin paljon kilometrejä, että akkujen kapasiteetti olisi päässyt juurikaan laskemaan. Tesla ei tarjoa mitään dataa liittyen akkujen kapasiteettien laskuun, mutta jotkut yksittäiset Teslan omistajat ovat keränneet tietoja kapasiteettien laskusta. Tarvitaan useampi vuosi, että autot ovat taittaneet riittävästi kilometrejä, jonka jälkeen voidaan saada tarkempaa tietoa, minkä verran akut oikeasti kestävät ilman, että niitä tarvitsee vaihtaa.

Yksi iso ongelma vielä on akkujen kapasiteettien laskun myötä akkujen vaihdosta tulevat kustannukset, jotka ovat korkeita. Tällä hetkellä Teslan Model S -akuston vaihto maksaa kymmeniä tuhansia dollareita ja Nissan Leafin tuhansia dollareita. Nämä ovat kertainvestointeina isoja summia ja tästä syystä akkujen hintaa tulisi saada alas. Akkujen hinnat ovat jo nyt laskeneet paljon parin viime vuoden aikana, ja uskon, että kun akuteknikka kehittyy, niin hinnat putoavat lisää ja näin akkujen kapasiteetin lasku ei enää ole taloudellisesti niin kova rasite.

Sähköautot tulevat lisääntymään voimakkaasti sitä mukaa kun niiden toimintamatkat saadaan kasvamaan ja akkujen uusiminen ei maksa niin paljoa. Kun mennään muutama vuosi eteenpäin, niin nähdään tarkemmin, mihin ollaan akkujen sekä sähköautojen kanssa päädytty.

Lähteet

1. Szemes, Michael. 2014. Panasonic will werk fuer tesla akkus investieren. Auto revue.<<http://autorevue.at/autowelt/panasonic-will-werk-fuer-tesla-akkus-investieren>>. Luettu 17.4.2016.
2. Comparing energy costs per mile for electric and gasoline-fueled vehicles. Verkkodokumentti. Idaho National Laboratory.<<https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/costs.pdf>>. Luettu 16.4.2016
3. Noland, David. 2015. Tesla Model S battery life how much range loss for electric car over time? Green Car Reports.
<http://www.greencarreports.com/news/1096801_tesla-model-s-battery-life-how-much-range-loss-for-electric-car-over-time>. Luettu 15.4.2016.
4. LiFePO4 batteries. Verkkodokumentti. AA Portable Power Group.
<<http://www.batteryspace.com/lifepo4cellspacks.aspx>>. Luettu 15.4.2016.
5. About Li-ion-batteries. Verkkodokumentti. Nexeon.
<<http://www.nexeon.co.uk/about-li-ion-batteries/>>.
6. Seppälä, Sanna. 2011. Sähköautojen akkujen kemia. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
7. Akkujen hoito-ohje. Verkkodokumentti. Voimapankki.
<<http://www.voimapankki.fi/page/6/akkujen-hoito-ohje>>. Luettu 26.4.2016
8. Haakana, Arto. 2008. Sähköautojen nykytilanne ja ja tulevaisuuden näkymät. Luentomateriaali. Tampereen Teknillinen Yliopisto.
<<https://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4050/sahkoautoluento.pdf>>.

9. Cobb, Jeff. 2014. How long will an evs battery last? Verkkodokumentti. Hybrid Cars.
<<http://www.hybridcars.com/how-long-will-an-evs-battery-last/>>. Luettu 26.4.2015
10. What's the best battery? 2010. Verkkodokumentti. Battery University
<http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery>. Luettu 17.4.2016.
11. Zinc air prismatic handbook. Verkkodokumentti. Energizer.
<<http://data.energizer.com/pdfs/zincairprismatic handbook.pdf>>. Luettu 18.4.2016.
12. Advantages of zinc-air batteries. 2010. Verkkodokumentti. Bright Hub Engineering
<<http://www.brighthubengineering.com/commercial-electrical-applications/74578-advantages-of-zinc-air-batteries/>> Luettu 1.4.2016
13. Akut. 2013. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut>. Luettu 20.4.2016.
14. Luotola, Janne. 2013. Superakku kehitetty – Ratkeaako autoilun akkuongelma sulasuolalla ja ilmalla?. Tekniikka&Talous
<<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2013-09-20/Superakku-kehitetty---Ratkeaako-s%C3%A4hk%C3%B6autoilun-akkuongelma-sulasuolalla-ja-ilmalla-3315326.html>>.
15. Kuivavarattu lyijyakku. Verkkodokumentti. Akkunetti.
<<http://akkunetti.fi/akku-12ah-12v-ytx14bs-kuivavarattu-lyijyakku-landport-battery>>. Luettu 2.4.2016.

16. Yleistä tietoa lyijyakuista. Luentokalvo. University of Colorado at Boulder.
<<http://ecee.colorado.edu/~ecen4517/materials/Battery.pdf>>. Luettu 26.3.2016.
17. Esala, Mikko. Suljetun lyijyakun toiminnan peruskäsitteitä. Verkkodokumentti. Ideaport.
<<http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/slaominaisuudet.pdf>>. Luettu 1.4.2016.
18. Usein kysyttä akuista, näin akku toimii. Verkkodokumentti. Varta-Automotive.
<<http://www.varta-automotive.com/fi-fi/support/faq/>>. Luettu 18.3.2016.
19. Dell, Ronald M., Rand. David A. J. 2001. Understanding batteries. Great Britain. Cambridge Royal Society of Chemistry
20. OVA-ohje: kaliumhydroksidi - tiivistelmä. 2012. Verkkodokumentti. Työterveyslaitos. <<https://www.ttl.fi/ova/tkoh.html>>. Luettu 17.3.2016.
21. In search of the perfect battery. 2008. Verkkodokumentti. The Economist.
<<http://www.economist.com/node/10789409>>. Luettu 19.3.2016.
22. Luotola, Janne. 2014. Tesla-villitys rikkoi ennätyksen Norjassa. Tekniikka & Talous.
<<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/autot/2014-04-03/Tuet-isompia-kuin-auton-hinta-%E2%80%93Lehti-Tesla-villitys-rikkoi-enn%C3%A4tykset-Norjassa-3318812.html>>.
23. Nissan Leaf:n esittely. Verkkodokumentti. Nissan
<http://www.nissan.fi/FI/fi/vehicle/electric-vehicles/leaf.html?&cid=psm5F3hLjVL_dc>. Luettu 26.4.2015
24. Suomen julkiset latauspisteet. Verkkodokumentti. Sähköinen Liikenne.
<<http://www.sahkoinenliikenne.fi/suomen-julkiset-latauspisteet>>. Luettu 5.4.2016.

25. Sähköautot. 2015. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot>. Luettu 8.4.2016.
26. Teslan akkujen takuutiedot. Verkkodokumentti. Tesla Motors
<https://www.teslamotors.com/fi_FI/support/service-plans>
27. Steinbuch, Maarten.2015. Tesla Model S battery degradation data. Verkkodokumentti. Maarten Steinbuchin blogi <<https://steinbuch.files.wordpress.com/2015/01/range1.png>>
28. Teslan Model S – mallin teknisiä tietoja. Verkkodokumentti. Tesla Motors.
<https://www.teslamotors.com/fi_FI/models?redirect=no>. Luettu 10.4.2016.
29. Riikonen, Jose. 2015. Esittelyssä nyt Suomessa myytävät sähköautot. Helsingin Sanomat.
<<http://www.hs.fi/autot/a1450329898368>>.
30. Williams, Tony. 2013. 2013 Nissan Leaf range vs 2012 Nissan Leaf Range. Inside Evs.
<<http://insideevs.com/real-world-test-2013-nissan-leaf-range-vs-2012-nissan-leaf-range/>>. Luettu 12.4.2016.
31. Battery capacity loss. Verkkodokumentti. Electric-vehicle wiki.
<http://www.electricvehiclewiki.com/Battery_Capacity_Loss>. Luettu 15.4.2016.
32. Yleisiä tietoja Nissan Leaf:stä. Verkkodokumentti. Nissan.
<<http://www.nissan.fi/FI/fi/vehicle/electric-vehicles/leaf/charging-and-battery/charging-nissan-leaf-and-battery.html>>. Luettu 16.4.2016.
33. Suomen talvtilastot. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/talvtilastot>>. Luettu 11.4.2016.

34. Teslan akuston datalehti. Verkkodokumentti. Panasonic.

<<https://industrial.panasonic.com/cdbs/ww-data/pdf2/ACA4000/ACA4000CE417.pdf>>

Liitteet

Teslan akuston datalehti

