



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

AKUT AUTOISSA

Ville-Petteri Lehto



Opinnäytetyö
Marraskuu 2018
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

LEHTO, VILLE-PETTERI:
Akut autoissa

Opinnäytetyö 33 sivua
Marraskuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää autoissa käytettyjen akkujen tyypit, sisärakenteet ja ominaisuudet, sekä akkujen yleiset toimintaperiaatteet. Pyrkimyksenä oli myös ymmärtää nykyaikaista akkutekniikkaa niiltä osin, kuin se kosketti autoja. Näiden asioiden selvitys tehtiin pääosin kirjallisesti kirjallisuuslähteitä käyttäen, mutta myös akkuliikkeen myyjiä haastateltiin asiantuntijoina.

Tuloksena saatiin selvitettyä akuille yleisesti käytötavat, toimintaperiaatteet ja joitain yleisesti akkuja määrittäviä ominaisuuksia. Myös autoissa käytetyt akkutyypit ja kennorakenteet selvitettiin.

Selvitystietojen nojalla voidaan todeta, että vaikka autojen akut ovat pitkään olleet keskenään samanlaisia tai -kaltaisia lyijyakkuja, joille ei ole keksitty selvästi parempaa vaihtoehtoa, on akkuja kehitetty ja vaihtoehtoisia akkuteknologioita tutkittu. Lisäksi sähkö- ja hybridautot, jotka tulevat yleistymään, tekevät akkuteknologiasta monipuolisempaa omilla lähtökohdillaan ja vaatimuksineen.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Paper, Textile and Chemical Engineering Degree Programme
Chemical Engineering

LEHTO, VILLE-PETTERI:
Secondary Batteries in Cars

Bachelor's thesis 33 pages
November 2018

The purpose of this study was to determine the different battery systems, cell constructions and performance characteristics of car batteries, as well as the general principles of operations of secondary batteries. This thesis also aimed to understand today's battery technology to the extent that it concerns car batteries. These points are answered mostly using literature sources, but the salespeople of a battery store were also interviewed.

As a result, the general ways of use, principles of operation and some defining characteristics of secondary batteries are explained. The battery systems and cell constructions of car batteries are also explained.

Based on the collected information, it can be concluded that although most car batteries still are lead-acid batteries with little variation and no clearly superior alternative, new batteries have been researched and developed. Furthermore, the increasingly used electric and hybrid cars will enrich battery technology with their own requirements and premises.

Key words: electrochemistry, secondary battery, battery technology, car

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AKKUJEN TOIMINTAPERIAATE.....	7
2.1	Yleistä akuista.....	7
2.2	Akkujen rakenne	8
2.3	Akkujen kemia.....	10
2.3.1	Galvaaniset kennot	10
2.3.2	Elektrolyysikennot	11
2.4	Akkujen ominaisuudet	12
2.4.1	Energiatiheys ja ominaisenergia	12
2.4.2	Varauksen pysyvyys.....	13
2.4.3	Purkausprofiili.....	14
2.4.4	Käyttöikä.....	15
2.4.6	Muisti-ilmiö	18
2.4.7	Jännitepolariteetin vaihtuminen	18
3	AKUT AUTOISSA	20
3.1	Autojen akkutyypit	21
3.1.1	Lyijyakku	21
3.1.2	Nikkelikadmiumakku.....	23
3.1.3	Nikkelimetallihydridiakku	24
3.1.4	Litiumioniakku.....	26
3.2	Kennotakenteet autojen akuissa.....	27
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	32
	LÄHTEET.....	33

LYHENTEET JA TERMIT

Hapettumis-pelkistymisreaktio	Kemiallinen reaktio, missä aine luovuttaa toiselle aineelle elektroneja.
Ioni	Sähköisesti varautunut atomi tai molekyyli. Elektronien liike aineesta toiseen hapettumis-pelkistymisreaktiossa tapahtuu ionien välityksellä.
Jännite	Virtapiirin osien sähkövarausten välinen ero (potentiaaliero). Sen laskuyksikkö SI-järjestelmässä on voltti (V).
Jännitelähde	Sähkölähde, joka aiheuttaa suuren jännitteen suhteessa aiheutettuun sähkövirtaan.
Kapasiteetti	Akusta saatava sähkömäärä tietyllä purkausvirralla ja lämpötilalla. Sen yksikkö on ampeeritunti (Ah) tai coulombi (C), joka vastaa ampeerisekuntia.
Mooliosuus	Tietyn seoksessa olevan aineen ainemäärän suhde kaikkeen seoksessa olevan aineen ainemäärään.
Polarisoituminen	Sähkövirran aiheuttama sähkövarauksen muutos akun kennossa tai elektrodissa.
Spontaani reaktio	Kemiallinen reaktio, joka tapahtuu itsestään ilman ulkoista energian lähdettä.
Sähkövirta	Tietyn aineen läpi kulkevan sähkövarauksen suuruus suhteutettuna kuluneeseen aikaan. Sen laskuyksikkö SI-järjestelmässä on ampeeri (A).
Virtalähde	Sähkölähde, joka aiheuttaa suuren sähkövirran suhteessa aiheutettuun jännitteeseen.
Wattitunti, Wh	Energian yksikkö. SI-järjestelmässä käytetään energian yksikkönä joulea (J) eli wattisekuntia.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään akkujen yleistä toimintaa, niiden käyttökohteita ja ominaisuuksia, sekä autoissa käytettäviä akkuja ja niiden rakenteita. Aiheen innoittajana toimi Uudenkaupungin Valmet Automotiven akkutehdas. Yhdessä Harjavaltaan suunniteltavan BASF:n akkukemikaalitehtaan kanssa ne tekevät tämän työn käsittelemistä aiheista ajankohtaisia tulevina vuosina.

Työn tiedot pohjautuvat enimmäkseen kirjallisuustietoon, mutta myös akkumyyjien asiantuntemusta on hyödynnetty. Käytetty tieto on lähes kaikki englannin kielistä, joten käytetyt tekniset termit eivät välttämättä täysin vastaa Suomessa käytettyjä alan termejä. Selvyyden vuoksi tässä opinnäytetyössä on pyritty kertomaan myös alkuperäiset englannin kieliset termit, joista tässä työssä käytetyt termit on suomennettu. Poikkeuksena ovat akkujen kemialliseen toimintaan liittyvät termit, joiden pitäisi olla yhteneviä yleisesti käytetyn termistön kanssa.

Akkujen kaikkia oleellisia ominaisuuksia ei ole käsitelty ajan puutteen vuoksi. Tästä opinnäytetyöstä jäi puuttumaan myös kehitteillä olevat natrium-nikkelikloridiakku (tunnetaan myös ZEBRA-akkuna) ja suurtehokondensaattorit akkujen korvaajina.

2 AKKUJEN TOIMINTAPERIAATE

Vaikka tämä opinnäytetyön aiheena ovat nimenomaan autojen akut, monet seikat autojen akuissa johtuvat akkujen perusominaisuuksista. Siksi on hyvä käydä ensin läpi akkujen ominaisuuksia yleisesti, ennen kuin käsitellään akkujen käyttöä autoissa.

2.1 Yleistä akuista

Akku on jännitelähde, joka on tarkoitettu ladattavaksi uudelleen, kun se on tyhjentynyt (Virrankoski, Jaakko. Peda.net).

Akkuja käytetään monessa tarkoituksessa, kuten hätä- ja varavirtalähteinä, trukeissa, työkaluissa, leluissa, valaistus- ja valokuvauslaitteissa, radioissa ja kaikenlaisissa muissa sähkölaitteissa. Akkuja käytetään paljon myös autoissa: käynnistys-, valaisu- ja sytytystarkoituksiin käytetään auton akkua. Lisäksi akkuja käytetään sähkö- ja hybridiajoneuvojen virtalähteinä. (Reddy, B. Thomas. 2011. Linden's Handbook of Batteries. 15.3)

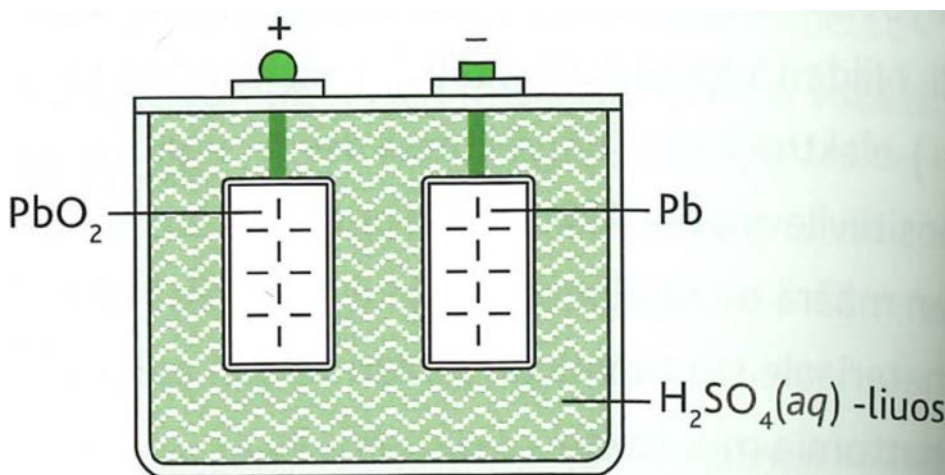
Akkuja voidaan käyttää kahdella eri tavalla. Yksi tapa on kuluttaa akku ensin loppuun (tai muuten vain alhaiselle virtatasolle), kuin tavallinen paristo, ja sitten ladata uudelleen käytettäväksi. Syitä tällaiselle käytölle voivat olla kätevyys, rahan kulutuksen vähentäminen (verrattuna paristoihin) tai niin suuri virran kulutus, että paristojen kapasiteetti ei riittäisi. Esimerkkejä tällaisesta käytöstä ovat trukit, sähköiset kulkuvälineet ja suurin osa kuluttajaelektroniikasta. (Reddy. 2011. 15.3)

Toinen tapa käyttää akkua on ladata sitä jatkuvasti (sikäli kuin latausvirtaa on tarjolla), jolloin akun käyttö ja lataus eivät välttämättä ole erillisiä, vuorottelevia vaiheita. Tällä tavalla käytettynä akku varastoi päävirtalähteen virtaa, jota voidaan käyttää silloin, kun päävirtalähteen virta ei riitä. Esimerkkejä tällaisesta käytöstä ovat autojen ja lentokoneiden laitteistot, hybridikäyttö, varavirtalähteet ja keskeytymättömiksi tarkoitettut virtalähteet. (Reddy. 2011. 15.3)

2.2 Akkujen rakenne

Kaikki akut sisältävät yhden tai useamman sähkökemiallisen kennon, joiden sisäisten kemiallisten reaktioiden vuoksi akku voi varastoida ja luovuttaa energiaa. Sähkökemialliset kennot sisältävät elektrolyyttiä, sekä positiivisen ja negatiivisen elektrodin, joilla on molemmilla omat napansa. (Reddy. 2011. 1.3.)

Kuvassa 1 on esimerkkinä lyijyakku, jossa on negatiivinen Pb-elektrodi ja positiivinen PbO_2 -elektrodi. Elektrolyytti on kennossa väliaineena elektrodien välillä niin, että elektrodit voivat reagoida keskenään koskettamatta toisiaan. Kuvassa 1 elektrolyytinä on H_2SO_4 -liuos (Hänninen H. Karppinen M. Leskelä M. & Pohjakallio M. 2018. Tekniikan kemia. 140-164).



KUVA 1. Leikkauskuva yksikennoisesta lyijyakusta (Hänninen H. Karppinen M. Leskelä M. & Pohjakallio M. 2018. 164)

Kennoissa on myös erottimia, jotka estävät elektrodin koskemasta toisiinsa ja aiheuttamasta sisäistä oikosulkua, mutta jotka silti antavat elektronien päästä läpi hapetus-pelkistysreaktioita varten. Lisäksi kennoilla on kuoret, ja mahdollisesti myös venttiili, jonka kautta sisälle kerääntynyt kaasu pääsee ulos tarvittaessa (esim. lyijyakkuihin voi kerääntyä vety- ja happikaasua (Reddy. 2011. 17.3)). (Reddy. 2011. 1.4.)

Akkujen elektrodit ovat useimmiten metalleja tai metalliyhdisteitä (Reddy. 2011. 1.6), mutta myös hiilipitoisia aineita, kuten grafiittia (Reddy. 2011. 26.4-5), tai jopa ilmaa voidaan joissain tapauksissa käyttää elektrodina (Reddy. 2011. 18.15 & 33.6). Kiinteissä elektrodeissa voi olla sisällä sähköä johtava tukirakenne (grid), jonka on tarkoitus laskea sisäistä resistanssia (Reddy. 2011. 1.4) tai tukea elektrodia (Reddy. 2011. 14.49).

Elektrodien koko ja muoto vaikuttavat akun ominaisuuksiin. Kun akulta vaaditaan pitkää käyttöikää tai suurta kapasiteettia, käytetään mahdollisimman suuria elektrodeja. Tällä tavoin valmistettu akulla on kuitenkin heikko toimintakyky. Jos akulta vaaditaan suurta toimintakykyä, panostetaan elektrodien määrään ja ulkopinta-alaan (ja lasketaan akun sisäistä resistanssia esim. sähköä johtavilla tukirakenteilla). Akun käyttöikä tai kapasiteetti kuitenkin kärsivät tällaisella rakenteella. (Reddy. 2011. 3.17.)

Elektrodien muoto vaihtelee akun kennorakenteen mukaan, joita puolestaan käsitellään tarkemmin osiossa 3.2.

Useimmat elektrolyytit ovat suolojen, emästen ja happojen vesi- tai nesteliuoksia (kuten kuvassa 1). Elektrolyytti voi myös olla kiinteä tai geelimäinen, ja esim. litiumakuissa käytetään sulasuolaa ja vedettömiä elektrolyyttejä. Elektrolyytillä on oltava hyvä ionijohtavuus, mutta ei saa olla sähköisesti johtava. (Reddy. 2011. 1.3-4.)

Nestemäinen elektrolyytti voidaan myös imeyttää kiinteään väliaineeseen, kuten AGM-akuissa, sen sijaan että olisi vapaana (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. Lead-Acid Batteries for Future Automobiles. 185) (Takkunen, M. myyjä. 2018).

Jotta akun hapettumis-pelkistymisreaktio toimisi, tarvitaan ulkoinen suljettu virtapiiri. Reagoinnin aikana elektronit kulkevat positiivisesta elektrodista takaisin negatiiviseen elektrodiin virtapiirin kautta, ja elektronien liike antaa energiaa virtapiiriin kytketyille laitteille. Myös latautuminen tapahtuu virtapiirin kautta. (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. Electric Vehicles: Prospects and Challenges. 103.)

Kennot on suljettu akun sisälle niin, että ne eivät vuoda tai kuivu (Reddy. 2011. 1.4). Lisäksi akussa saattaa olla lisäosia estämässä vikoja, kuten sulakkeita tai virrankatkaisijoita estämässä oikosuluilta, tai lämpökatkaisin liiallista lämpenemistä varten (Reddy. 2011. 5.3-6). Autojen akuissa on laite estämässä liiallista latautumista (Naukkarinen, T. myyjä. 2018).

2.3 Akkujen kemia

Akut ovat galvaanisia kennoja tai kennostoja, mutta samalla myös elektrolyysikennoja (tai kennostoja) (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 163). Akkujen ymmärtämistä varten on ymmärrettävä galvaanisia kennoja ja elektrolyysikennoja.

2.3.1 Galvaaniset kennot

Kun akku purkautuu, se käyttäytyy galvaanisen kennon tavoin. Galvaanisessa kennossa kaksi eri ainetta, elektrodit, reagoivat hapettumis-pelkistymisreaktiossa keskenään elektrolyytin välityksellä, tuottaen sähköenergiaa.

Galvaanisen kennon hapettumis-pelkistymisreaktiossa negatiivinen elektrodi luovuttaa elektroneja positiiviselle elektrodille. (Silloin kuin elektrodit eivät ole akun, vaan esimerkiksi patterin osia, elektronin luovuttavaa elektrodia kutsutaan katodiksi ja vastaanottavaa anodiksi.) Kuvan 1 lyijyakussa PbO₂-elektrodi on positiivinen ja Pb-elektrodi negatiivinen. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 140-148, 163) (Ahoranta Jukka. 2015. 314).

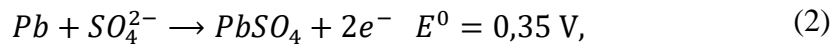
Elektronien liike positiivisesta takaisin negatiiviseen elektrodiin tapahtuu virtapiirin kautta (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 103), joten reaktio tarvitsee suljetun virtapiirin toimiakseen.

Akuissa tapahtuva hapettumis-pelkistymisreaktio on spontaani. Tämä johtuu siitä, että akkujen elektrodeilla ja elektrolyytissä tapahtuvat osareaktiot tuottavat yhdessä enemmän energiaa kuin kuluttavat. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 140-148.)

Kun esimerkiksi lyijyakku purkautuu, positiivisella elektrodilla (yhtälö 1) ja negatiivisella elektrodilla (yhtälö 2) tapahtuvat osareaktiot



ja

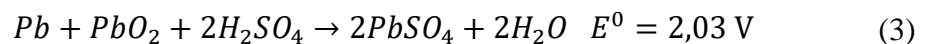


joista nähdään, että myös elektrolyytti (SO_4^{2-} ja $4H^+$ -ionit) reagoi elektrodien kanssa (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 143, 163).

Elektrolyytin reagointi on tavallista useimmissa akuissa, mutta esim. nikkeli-rauta-akuissa sitä ei tapahdu (Reddy. 2011. 7.2-5, 18.1).

Yhtälöissä 1 ja 2 on kemiallisten yhtälöiden lisäksi näkyvillä osareaktioiden normaalipotentiaaliarvot, joiden avulla tiedetään, tarvitsevatko osareaktiot tapahtuakseen energiaa, vai tuottavatko ne energiaa spontaanisti. Reaktio on spontaani ja tuottaa energiaa, kun sen normaalipotentiaaliarvo on positiivinen. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 140.)

Yhtälö 3 on saatu yhdistämällä yhtälöt 1 ja 2, ja niiden normaalipotentiaaliarvot. Tällä tavoin saadaan lyijyakun purkautumiselle kokonaisreaktio



jonka normaalipotentiaaliarvo on sekin positiivinen. Reaktion tuottama energia voidaan muuttaa suoraan sähköenergiaksi, jolloin akku saa aikaan sähkövirtaa. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 140-148, 163.)

2.3.2 Elektrolyysikennot

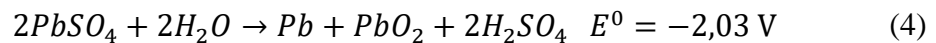
Kun akku latautuu, se käyttäytyy elektrolyysikennon tavoin. Kuten galvaanisessa kenossa, elektrolyysikennossa kaksi eri aineista valmistettua elektrodia reagoivat hapettumis-pelkistymisreaktiossa keskenään elektrolyytin välityksellä. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 148.)

Toinen elektrodeista luovuttaa elektronin toiselle, mutta käänteisesti verrattuna galvaaniseen kennoon, niin että positiivinen elektrodi luovuttaa elektronin negatiiviselle elektrodille. Tämän takia akun elektrodeja ei kutsuta katodeiksi ja anodeiksi; anodeista tulee

katodeja ja katodeista anodeja, kun siirrytään latautumisesta purkautumiseen tai toisin päin. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 163.)

Elektrolyysikemien hapettumis-pelkistymisreaktio tarvitsee tapahtuakseen energiaa, jota saadaan akkuja ladattaessa tasavirtajännitteellä (jos kenno kytketään vaihtovirtaan, pysyvää muutosta ei pääse syntymään erisuuntaisten virtasysäysten takia (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 157)). Latautumisella on omat osa- ja kokonaisreaktionsa, jotka ovat käänteisiä purkautumisreaktioihin nähden (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 163).

Esimerkiksi lyijyakun kokonaisreaktion yhtälö (yhtälö 4) akun latautuessa on



joka on käänteinen yhtälöstä 3. Normaalipotentialiarvo on negatiivinen, mikä kertoo ulkoisen energian tarpeesta. (Hänninen, Karppinen, Leskelä, & Pohjakallio. 2018. 140 & 163.)

2.4 Akkujen ominaisuudet

Jotkin akut soveltuvat toisia paremmin tiettyihin käyttökohteisiin, ja toisia taas ei voi käyttää ollenkaan joihinkin käyttötarkoituksiin. Akuilla on monia ominaisuuksia, jotka erottavat ne toisistaan joko edukseen tai haitakseen.

2.4.1 Energiatiheys ja ominaisenergia

Energiatiheys (energy density) ja ominaisenergia (specific energy) ovat molemmat suureita, jotka ilmaisevat sitä, kuinka tiheään käytettävissä olevaa energiaa voidaan varastoida tiettyyn akkuun.

Energiatiheydessä sähköenergian määrä suhteutetaan virtalähteen tilavuuteen. Energiatiheyden yksikkö on $\frac{Wh}{l}$ (wattituntia per litra). Akkujen energiatiheydet vaihtelevat välillä

$15 \frac{Wh}{l}$ (nikkelikadmiumakku pienimmillä energiatiheyksillään) ja $570 \frac{Wh}{l}$ (litiumioniakku). (Reddy. 2011. 1.14, 15.10-11 & A.7.)

Ominaisenergiassa sähköenergian määrä suhteutetaan virtalähteen painoon. Ominaisenergian yksikkö on $\frac{Wh}{kg}$ (wattituntia per kilogramma). Akkujen ominaisenergiat vaihtelevat välillä $10 \frac{Wh}{kg}$ (lyijyakuakku pienimmillä ominaisenergioillaan) ja $203 \frac{Wh}{kg}$ (litiumioniakku). (Reddy. 2011. 1.14, 15.10-11 & A.11.)

Jotkin seikat akkujen valmistuksessa vaikuttaa energiatiheysten tai ominaisenergian suuruuteen. Tällaisia seikkoja ovat: akussa käytetyt reagoivat aineet ja niiden määrä (määrittävät akun teoreettisen energiamäärän), elektrolyytit ja akun reagoimattomat osat (nostavat akun painoa ja tilavuutta) ja reagoivien aineiden määrien suhde (määrät ovat harvoin reaktioihin nähden optimaalisessa tasapainossa, joten ylimääräinen aine nostaa painoa ja mahdollisesti tilavuutta). Akut eivät myöskään purkaudu teoreettisella jännitteellään, tai purkaudu nolnaan volttiin asti, mikä laskee saatavissa olevaa energiaa teoreettisesta luke-
masta. (Reddy. 2011. 1.14.)

2.4.2 Varauksen pysyvyys

Akuilla on yleensä heikko varauksen pysyvyys (charge retention) verrattuna paristoihin. Mikäli akku halutaan pitää käyttövalmiina pitkiä aikoja, on sitä ladattava jatkuvasti tai jaksoittain. (Reddy. 2011. 15.13.)

Litiumioniakuilla on verrattain hyvä varauksen pysyvyys. Tyypillinen litiumioniakku purkautuu 2 % kuukaudessa huoneenlämmössä. Varauksen pysyvyys lyijyakuissa on riippuvainen monista seikoista, kuten akun mallista, elektrolyytin konsentraatiosta ja tukirakenteiden metalliseoksesta. Autojen standardimallisessa lyijyakuissa, jossa on standardimallinen antimoni-lyijy tukirakenne, on huono varauksen pysyvyys. Niiden kapasiteetti laskee mitättömäksi kuuden kuukauden säilytyksen jälkeen huoneenlämmössä. Varauksen pysyvyys kuitenkin paranee, jos akku on huoltovapaa ja jos antimonin määrää on pienempi. (Reddy. 2011. 15.13, 15.16, 16.13.)

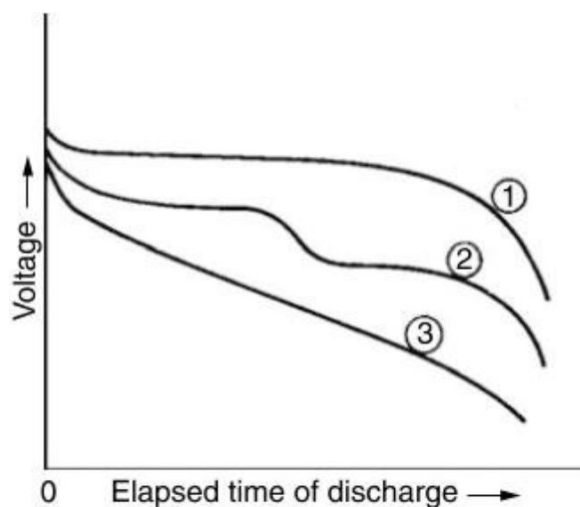
Eri akut kestävät tyhjinä säilömistä eri tavoin (Reddy. 2011. 15.13), joten varauksen menetys on vakavampaa joillekin akuille kuin toisille.

2.4.3 Purkausprofiili

Akut eivät käyttäydy ideaalisesti purkautuessaan. Purkautumisjännite on teoreettista jännitettä matalampi akun kennojen sisäisen resistanssin ja reagoivien aineiden polarisoitumisen vuoksi. Jännite ei myöskään pysy vakiona akun tyhjenemiseen asti, vaan laskee edelleen purkautumisen edetessä. Tämän johtuu purkautumistuotteiden kasautumisesta ja joistain muista kennoissa tapahtuvista muutoksista, jotka nostavat sisäistä resistanssia. Jännite laskee myös purkausnopeuden (discharge rate) mukaan niin, että suuremmilla nopeuksilla jännite jää pienemmäksi. (Reddy. 2011. 3.2.)

Akun todellista käyttäytymistä purkautumisen aikana voidaan kuvata purkauskuvajalla, missä akun purkautumisjännitettä kuvataan ajan kuluessa. Kuvajajan käyrän muoto vaihtelee akkutyypin, rakenneseikkojen ja purkausolosuhteiden mukaan. Tyypillisesti purkauskäyrät kuitenkin noudattavat tiettyä muotoa, eli profiilia. Akuilla ilmenee kolmenlaisia purkausprofiileja (discharge profile): litteitä, kaltevia ja tasanteisia (plateau). (Reddy. 2011. 3.2-3.)

Kuviossa 1 on kuvitteelliset esimerkit kustakin näistä purkausprofiileista.



KUVIO 1. Litteä (1), tasanne (2) ja kalteva (3) purkausprofiili (Reddy. 2011. 3.3).

Litteän profiilin esittämässä tilanteessa reagoivissa aineissa tapahtuvat muutokset ja reaktiotuotteet vaikuttavat vain vähän purkautumiseen, paitsi akun ollessa melkein ehtynyt. Kalteva profiili taas kuvaa sellaista tilannetta, missä reagoivien aineiden koostumus, sisäinen resistanssi tai jokin muu merkittävä seikka muuttuu sitä mukaan, kun akku purkautuu. Tasanneprofiili kuvaa muutosta reaktiomekanismissa ja reagoivien aineiden potentiaalissa, mikä tekee purkautumisesta askelmaista. (Reddy. 2011. 3.3.)

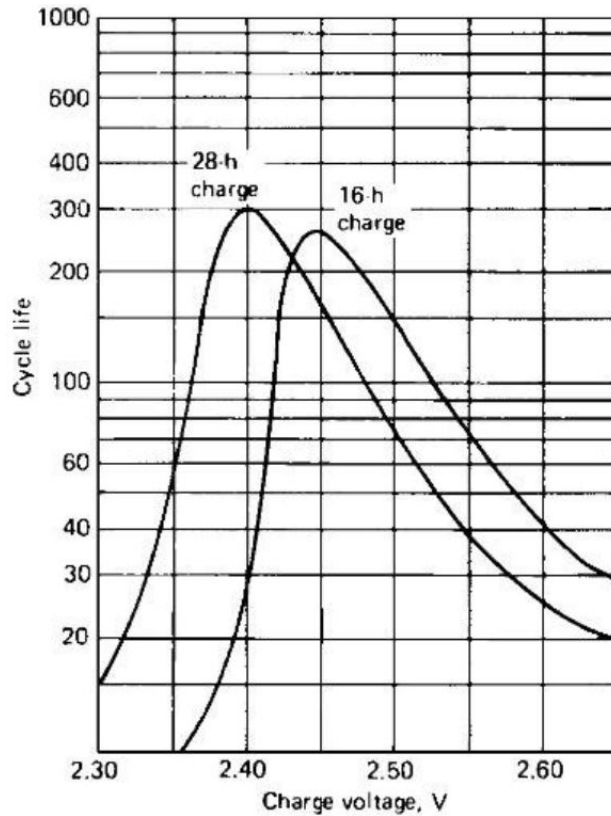
Akuilla on pääsääntöisesti litteät purkausprofiilit. Kaikkia kolmea purkausprofiilia kuitenkin esiintyy, ja esim. litium-ioniakuilla on kalteva purkausprofiili. Saman profiilin omaavien akkujen kuvaajilla on myös eroja: esim. tasaisuuden aste vaihtelee tasaisten profiilien kesken. (Reddy. 2011. 15.9-11.)

Jotta akkujen purkauskuvauja voitaisiin verrata keskenään, on kuvaajat oltava laadittu samoille olosuhteille. Purkauskuvaujien muotoon vaikuttavat ympäristölämpötila, sekä myös purkausvirta, sähköteho ja resistanssi, joista jokin on vakioitava vertailua varten. Lisäksi on päätettävä, onko verrattavilla kuvaajilla sama purkausjakson pituus, sama sähköteho kuvaajien päättyessä, vaiko sama sähkövirta ja teho kuvaajien alussa. Nämä valinnat kannattaa tehdä niin, että purkauskuvaujat kuvaavat käyttöolosuhteita. (Reddy. 2011. 3.5-6.) (Ahoranta, Jukka. 2015. Sähkötekniikka. 310.)

2.4.4 Käyttöikä

Akun käyttöiälle on kaksi eri määritelmää: käyttöikä säilytettynä jatkuvassa heikossa jännitteessä (float life) ja käyttöjaksot (cycle life). Akkujen käyttöikä vaihtelee paljon käytötavan, ympäristön, käyttöjaksojen ja akun saaman latauksen mukaan. (Reddy. 2011. 17.16.)

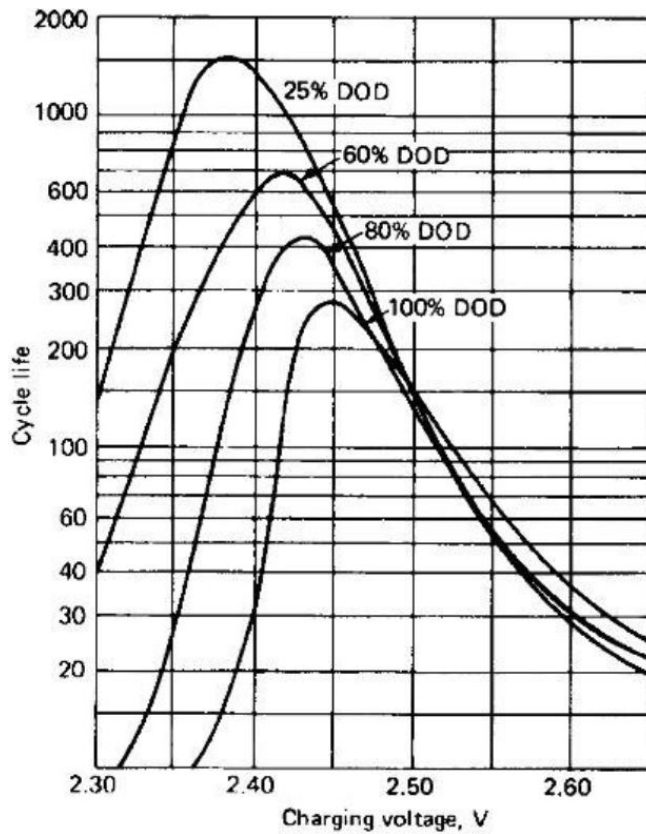
Latauksen on oltava oikeanlaista, jotta akulla olisi mahdollisimman paljon käyttöikää. Kuvion 2 esimerkin mukaan, jos VRLA-lyijyakkua ladataan 2,4 V:n jännitteellä 28:n tunnin ajan, ja puretaan 5:n tunnin aikana 1,6 V:n jännitteelle, voidaan tällaisia käyttöjaksoja tehdä noin 300, ennen kuin akun kapasiteetti on vain 80 % entisestä. (Reddy. 2011. 17.16.)



KUVIO 2. VRLA-lyijyakun käyttöjaksojen riippuvuus latausajasta ja -jännitteestä (Reddy. 2011. 17.16).

Kuvion käyrät pätevät, kun lämpötila on 25 °C. Kyseisen akun täyteen lataamiseen riittää 16 tuntia. (Reddy. 2011. 17.16.)

Myös purkausten suuruus vaikuttaa suuresti akun käyttöikään. Kuviosta 3 nähdään, kuinka purkauksen suuruus ja latausjännite vaikuttavat VRLA-lyijyakun käyttöjaksojen määrään. DOD (depth of discharge) -lukemat näyttävät, kuinka monta prosenttia jännitteestä purettiin ennen uudelleen latausta. Kuvion käyrän pätevät lämpötilan ollessa 25 °C, ja latausajan 16 tuntia. (Reddy. 2011. 17.16.)



KUVIO 3. VRLA-lyijyakun käyttöjaksosten riippuvuus purkausten suuruudesta ja latausjännitteestä (Reddy. 2011. 17.16).

Mikäli akku halutaan pitää käyttövalmiina pitkän aikaa, on sitä ladattava joko ajoittain tai jatkuvalla heikolla jännitteellä (Reddy. 2011. 15.13). Akun käyttöikä jatkuvalla jännitteellä säilöttynä ilmoitetaan vuosissa, ja lämpötila ja käytetyn latausvarauksen suuruus vaikuttavat siihen (Reddy. 2011. 17.16-17).

Nikkelimetallihydridiakuilla, ja erityisesti nikkelikadmiumakuilla, on hyvä käyttöikä. Litiumioniakuilla on myös hyvä käyttöikä, jos niitä puretaan vain osittain. Lyijyakun käyttöikä ei ole yhtä hyvä, mutta se vaihtelee akun sisärakenteiden mukaan. (Reddy. 2011. 15.10-11.)

2.4.6 Muisti-ilmiö

Jotkin akut menettävät osan kapasiteettiaan, jos niitä jatkuvasti puretaan samalle, vain osittain purkautuneelle varauksen tasolle. Purkausprofiili saattaa myös muuttua tasan-teiseksi. Ilmiö tunnetaan muisti-ilmiönä (memory effect) tai jännitteen romahduksena (voltage depression). Muutoksia voidaan kuitenkin perua purkamalla akku mahdollisimman tyhjäksi. Joka kerran kuin akku tyhjenetään, on kapasiteetti seuraavalla kerralla suurempi, kunnes se on taas sama kuin ennen muisti-ilmiön ilmaantumista. (Reddy. 2011. 21.17 & A.9.)

Muisti-ilmiö syntyy, kun vain osittain puretussa, ja sen jälkeen ladatussa akussa, vain osa akun reagoivasta aineesta käyttäytyy halutulla tavalla. Siinä osassa reagoivaa ainetta, joka ei osallistu purkautumiseen ja latautumiseen, ilmenee tällöin aineellisia muutoksia, jotka kasvattavat akun sisäistä resistanssia. (Reddy. 2011. 21.18.)

Muisti-ilmiötä esiintyy nikkelikadmiumakuissa (Reddy. 2011. 15.10) ja jossain määrin nikkelimetallihydridiakuissa (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 31), mutta sen vaikutuksia voidaan ehkäistä niin, että useimmat käyttäjät eivät huomaa siitä johtuvaa toimintakyvyn laskua. Ehkäisy perustuu oikeanlaisiin elektrodirakenteisiin ja kokoonpanomenetelmiin. Myös akun purkaminen riittävän pienelle varaukselle käytön aikana ehkäisee muisti-ilmiötä. (Reddy. 2011. 21.18.)

2.4.7 Jännitepolariteetin vaihtuminen

Muisti-ilmiöstä huolimatta, akkuja ei kannata aina purkaa tyhjiksi. Kun vähintään kolme sarjaan kytkettyä akkua puretaan pienelle varaukselle, sarjan suuremman kapasiteetin akut saavat vähäisemmän kapasiteetin akut vaihtavat jännitteen polariteettia (reversal of voltage polarity). Akun purkaminen polariteetin vaihtumisen aikana voi aiheuttaa happi- ja vetykaasun muodostumista joissakin akun kennoissa. Jos näin tehdään jatkuvasti, kerääntynyt kaasu purkautuu venttiilin kautta ja elektrolyytin määrä vähenee, laskien kapasiteettia entisestään. (Reddy. 2011. 21.12-13.)

Niissä akuissa, joiden positiivisissa elektrodeissa on kadmiumhydroksidia, eivät vaihda polariteettia yhtä helposti kuin ilman. Ilmiötä voidaan ehkäistä myös välttämällä akun

purkamista niin, että kullakin akun kennolla olisi vain 0,8 V:n verran jännitettä jäljellä. Akku voidaan myös varustaa jänniterajoituslaitteella akkuihin suuntautuvan virran ehkäisemiseksi. (Reddy. 2011. 21.12-13.)

3 AKUT AUTOISSA

Autoissa akkujen tehtävänä on tuottaa virtaa moottorin käynnistämistä varten, ja auton valoille ja elektroniikalle silloin, kun auton moottori ei käy. Auton työntövoima ei tule akusta vaan moottorista. Poikkeuksena ovat sähkö- tai hybridautot, tai jos auton polttoaine on loppu, jolloin polttomoottoriautolla voi ajaa vähän aikaa. (Naukkarinen, T. myyjä. 2018.)

Autojen akuilla on laajempi kirjo vaatimuksia täytettäväksi kuin millään muiden käyttötarkoitusten akuilla. Ollakseen käytettävä autoissa, akun on voitava purkautua yli 1000:n A:n sähkövirralla millisekuntien ja sekuntien ajan, purkautua 5:stä 30:n A:n sähkövirralla minuuttien ajan, purkautua jollain sähkövirran määrällä tuntien ja päivien ajan, latautua rajallisella jännitteellä, tasata jännitteen vaihteluja sähköjärjestelmässä (board net), toimia -30:n ja +75:n °C:ksen välisissä lämpötiloissa ja kestää tärinää auton mallin mukaisesti. (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. Lead-Acid Batteries for Future Automobiles. 149-150.) (Nieminen S. 2007. Auton sähkölaitteet. 108)

Lisäksi akkua valittaessa on otettava huomioon auto- ja tilannekohtaisia seikkoja, kuten akun hinta, koko ja muoto, ja halutut suoritusvaatimukset. Autojen moottorit ym. osat on suunniteltu toimimaan tietynlaisen akun kanssa, joten autoon ei voi helposti vaihtaa toisenlaisista akkua, kuin mikä siinä alun perin oli. Poikkeuksena on AGM-lyijyakku, joka voidaan joissain tapauksissa vaihtaa tavallisen lyijyakun tilalle. (Naukkarinen, T. myyjä. 2018.)

Lähes kaikki autojen akut ovat muuttuneet huoltovapaiksi siinä merkityksessä, että niihin ei tarvitse lisätä akkuvettä. Vaikka useimmat akut ovatkin lyijyakkuja, vain jotkin raskaan kaluston akut ja vanhojen autojen akut vaativat tällaista huoltoa. Myös loput suurten autojen akut tulevat luultavasti muuttumaan huoltovapaiksi. Sähkö- ja hybridautot tulevat myös yleistymään, kuten varmasti niitä varten suunnitellut akutkin. (Naukkarinen, T. myyjä. 2018.)

3.1 Autojen akkutyypit

Autoissa käytetään enimmäkseen lyijyakkuja, mutta myös muita akkutyyppejä käytetään, varsinkin hybridi- ja sähköautoissa.

3.1.1 Lyijyakku

Lyijyakkuja on käytetty autoissa suunnilleen vuodesta 1900 alkaen (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 3), ja se on edelleen yleisin autoissa käytetty akkutyyppeistä (Nieminen, S. 2007. 108). Vuonna 2008 lyijyakkujen maailmanlaajuinen markkinaosuus kaikista akuista oli noin 70% (Reddy. 2011. 16.1). Lyijyakkujen suuri suosio autoissa perustuu niiden kykyyn tyydyttää autojen akuille asetamat vaatimukset (katso edellinen sivu), halpaan ja helposti monistettavaan valmistukseen ja hyvin helppoon kiertävyyteen (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 150).

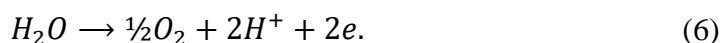
Lyijyakkuja on monenkokoisia ja -mallisia. Autojen lisäksi lyijyakkuja käytetään mm. meren- ja lentokulkuvälineissä, trukeissa, golf-autoissa, kaivosvaunuissa, miehistönkuljetusajoneuvoissa, sukellusveneissä ja varavirtalähteinä. (Reddy. 2011. 16.4.)

Autoissa käytettävät akut ovat useimmiten sähköjännitteeltään 12 V suuruisia (Takkunen, M. myyjä. 2018.). Luku on parillinen, koska yksi kenno, jotka ovat yleensä ohutlevyrakenteisia, on jännitearvoltaan n. 2 V. Myös 24 V:n akkuja käytetään raskaissa ajoneuvoissa. (Nieminen, S. 2007. 108.)

Lyijyakun purkautumisen- ja latautumisen kemialliset kaavat käsiteltiin esimerkkeinä osioissa 2.3.1-2 (Yhtälöt 1-4). Jos lyijyakkuja ladataan liiaksi, on sillä taipumuksena muodostaa elektrolyytin vedestä kaasukuplia (Yhtälö 7). Näin käy sekä positiivisella elektrodilla (Yhtälö 5), jolle voidaan soveltaa kemiallista yhtälöä



että negatiivisella elektrodilla (Yhtälö 6), jolle voidaan soveltaa yhtälöä



Näistä yhtälöistä voidaan johtaa kokonaisyhtälö

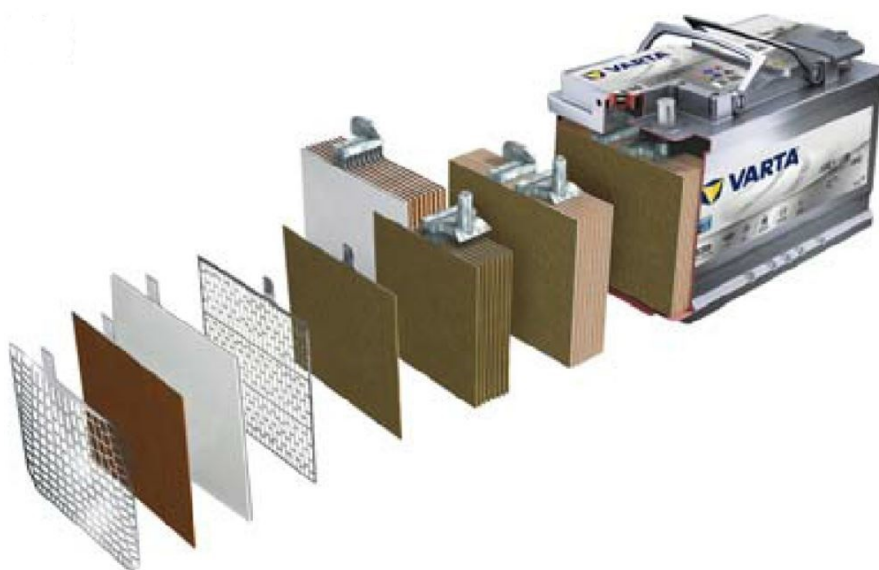


(Reddy. 2011. 16.8-9.)

Lyijyakut kestävät myös huonosti säilytystä tyhjinä. Pitkäaikainen, varaukseton säilytys johtaa elektrodien rikkiytymiseen (sulfation), mikä aiheuttaa niissä pysyvää polarisoitumista. (Reddy. 2011. 16.3.)

Lyijyakkujen rakennetta on kehitetty osion 2.2 esimerkistä (kuva 1) (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 112-113). Nykyaikaisissa lyijyakuissa nestemäinen elektrolyytti ja separaattorit voivat olla korvattu lasikuitumatoilla, joihin on imeytetty rikkihappoa (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017 115). Lasikuitumatot ovat asetettuina positiivisten ja negatiivisten levyjen väliin. Ne ovat tehty lasisista mikrokuiduista, ja niiden huokoinen rakenne läpäisee happikaasua, jota muodostuu positiivisella levyllä. Happi pääsee tällöin muodostamaan vettä negatiivisen levyn vetykaasun kanssa. (Reddy. 2011. 17.1-2.)

Lasikuituja hyödyntäviä akkuja kutsutaan AGM-akuiksi (absorptive glass mat) (Naukarinen, T. myyjä. 2018). Kuvassa 2 on räjäytyskuva AGM-lyijyakusta.



KUVA 2. Räjäytyskuva AGM-lyijyakusta (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 196)

Elektrolyytti voi myös olla geeliä, joka toimii myös separaattorina, ja joka AGM-lasikuitujen tapaan läpäisee kaasua (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 115). Geeliä hyödyntäviä akkuja kutsutaan geeliakuiksi (Naukkarinen, T. myyjä. 2018.). AGM-akkuja ja geeliakkuja käytetään varavirtalähteinä esimerkiksi sairaaloissa ja tehtaissa (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017 113).

VRLA-akut (valve-regulated lead-acid) hyödyntävät joko geeliä tai lasikuitumattoja (Reddy. 2011. 17.1). VRLA-akut ovat huoltovapaita, ja niitä käytetään polttomoottorikulkuvälineissä käynnistykseen ja oheislaitteita varten (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 113). VRLA-akkujen ulkokuorella on venttiili, joka estää ilman hapen pääsyn akun sisälle, mutta päästää kaasua ulos, jos paine akun sisällä kasvaa liian suureksi (Reddy. 2011. 17.1).

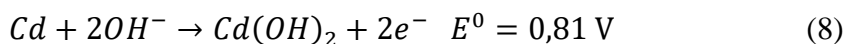
3.1.2 Nikkelikadmiumakku

Nikkelikadmiumakkuja on käytetty sähköautoissa, sekä myös moottoripyörissä (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 30) (Zal, Pawel. Automobile Catalog of Cars. 2018). Nikkelikadmiumakkujen käyttö on kuitenkin kielletty lähes täysin EU:n lainsäädäntöalueella niiden sisältämän kadmiumin vuoksi (Direktiivi 2006/66/EY).

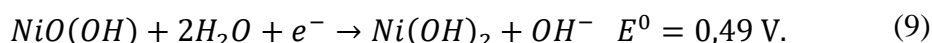
Nikkelikadmiumakuilla on joitain etuja verrattuna lyijyakkuihin. Ne kestävät paremmin syväpurkausta, eli akun kapasiteetin täyttä käyttöä, säilytystä purkautuneessa tilassa, ja niillä on parempi käyttöikä, ominaisenergia ja energiatiheys. Nikkelikadmiumakun heikkouksia lyijyakkuihin verrattuna ovat kalliimpi hinta, huonompi varauksen pysyvyys, muisti-ilmiö ja jo edellä mainitut lailliset esteet. (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 30 & 32.)

Nikkelikadmiumakku tunnetaan myös lipeäakkuna (Naukkarinen, T. myyjä. 2018), koska niissä käytetään elektrolyyttinä kaliumhydroksidia (Reddy. 2011. 19.3), ja joskus myös litium- ja natriumhydroksideja (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 32). Negatiivisena elektrodina käytetään kadmiumoksidia (CdO), josta muodostuu kadmiumhydroksidia emäsluoksessa. Positiivinen elektrodi on nikkeli(II)hydroksidia. (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 33.)

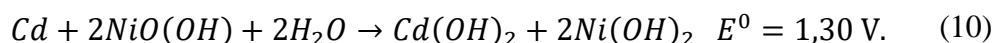
Nikkelikadmiumakun purkautumiselle on omat osareaktionsa ja kokonaisreaktionsa. Negatiivisen (yhtälö 8) ja positiivisen (yhtälö 9) levyn osareaktiot normaalipotentialiarvoineen ovat:



ja



Osareaktioiden yhtälöt ja niiden normaalipotentialiarvot yhdistämällä saadaan nikkelikadmiumakun purkautumisen kokonaisreaktioyhtälö (yhtälö 10)



(Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 32.)

Toisin kuin lyijyakkujen rikkihappoelektrolyytti, nikkelikadmiumakun elektrolyytti ei oleellisesti muutu tiheydeltään tai koostumukseltaan purkautumisen ja latautumisen aikana (Reddy. 2011. 19.3).

3.1.3 Nikkelimetallihydridiakku

Nikkelimetallihydridiakut ovat olleet yleisessä käytössä niin hybridi- kuin sähköautoissa 1990-luvulta lähtien (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 143). Niitä käytettiin myös kannettavien tietokoneiden ja kännyköiden akkuina ennen kuin litiumioniakut syrjäyttivät ne (Reddy. 2011. 22.1). Litiumioniakut ovat syrjäyttäneet nikkelimetallihydridiakuja myös autojen akkuina, mutta nikkelimetallihydridiakuilla on omat hyvät puolensa niin lyijyakkuihin kuin litiumioniakkuihin nähden, joiden ansiosta niillä on vieläkin asemaa markkinoilla (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 143).

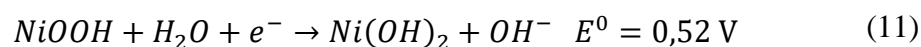
Nikkelimetallihydridiakuilla on samat edut lyijyakkuihin nähden kuin nikkelikadmiumakuilla: parempi syväpurkauksen kesto, parempi tyhjänä säilömisen sietokyky, parempi

käyttöikä, ominaisenergia ja energiatiheys (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 37). Ne ovat myös ympäristöystävällisiä ja verrattain halpoja, ja niillä on litiumioniakkuja parempi lämpötilakestävyys (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 143).

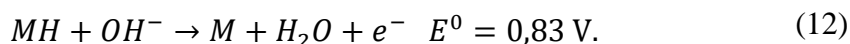
Huonoina puolina nikkelimetallihydridiakuilla on lyijyakkuja korkeampi hinta, selvästi huonompi varauksen pysyvyys ja muisti-ilmiö, jota ei toisaalta enää esiinny uusissa nikkelikadmiumakuissa (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 37). Litiumioniakkuihin verrattuna niillä on tuplasti pienempi ominaisenergia, sekä taipumus kuumeta rajun purkautumisen ja latautumisen seurauksena, mikä on haitaksi akun käyttöiälle ja turvallisuudelle (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 143).

Nikkelimetallihydridiakun elektrolyytti on kaliumhydroksidia, ja positiivinen elektrodi on nikkeli(II)hydroksidia, kuten nikkelikadmiumakuissa (Reddy. 2011. 22.5). Negatiivisena elektrodina käytetään sellaisia yhdisteitä kuin LaNi_5 ja NiTi_2 , sekä monia sellaisia metalliseoksia, jotka sisältävät mm. nikkeliä, kobolttia, ceriumia, lantaania, neodyymiä, praseodyymiä ja samariumia (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 38). Näistä ja muista alkuaineista valmistetuissa elektrodeissa on nikkeliä muita alkuaineita suuremmalla mooliosuudella, joka voi olla suurimmillaan 60,1 % (Reddy. 2011. 22.4).

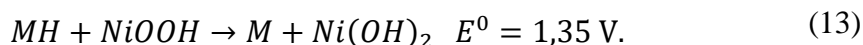
Nikkelimetallihydridiakku purkautuu alla olevien reaktioyhtälöiden mukaisesti. Yhtälöissä M merkitsee negatiivisen elektrodin metalliseosta. Positiivisella elektrodilla (yhtälö 11) tapahtuu reaktio



ja negatiivisella elektrodilla (yhtälö 12) puolestaan tapahtuu reaktio



Yhdistämällä molemmat osareaktioyhtälöt sekä niiden normaalipotentialiarvot, saadaan kokonaisreaktioyhtälö (yhtälö 13)



(Reddy. 2011. 22.2.)

3.1.4 Litiumioniakku

Litiumioniakkuja pidetään johtavana akkuteknologiana monille kannettaville sähkölaitteille, työkaluille ja sähköautoille, sekä kasvavassa määrin sähkön varastoinnille (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 48). Miljoonat ihmiset ympäri maailman käyttävät litiumioniakkuja mm. kännyköissä, kannettavissa tietokoneissa ja kameroissa (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 143), sekä hybridi- ja sähköautoissa (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 49).

Litiumioniakuilla on lyijyakuja selvästi suurempi ominaisenergia ja energiatiheys, sekä pidempi käyttöikä (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 48). Niillä on myös hyvä varauksen pysyvyys, kyky latautua nopeasti ja hyvä toimintakyky suurella kuormituksella (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 144).

Huonoina puolina litiumioniakuilla on lyijyakuja korkeampi hinta, kierrätysprosessin hankaluus ja turvallisuusriskit (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 48). Jotkin litiumioniakut huononevat, kun niitä puretaan alle 2 V:n jännitteelle, ja toisaalta kestävät huonosti liiallista latausta. Litiumioniakut eivät kestä korkeita lämpötiloja (65 °C) yhtä hyvin kuin lyijyakut, ja voivat toisaalta olla vaarallisia, jos niitä ladataan nopeasti matalissa lämpötiloissa (< 0 °C). (Reddy. 2011. 26.2.)

Litiumioniakut kestävät säilytystä parhaiten, kun niitä pidetään puolittain purkautuneessa tilassa (Reddy. 2011. 15.13).

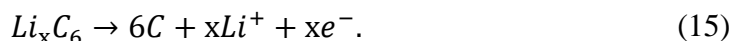
Litiumioniakuissa käytetään monenlaisia elektrodeja ja elektrolyyttejä. Positiivisena elektrodina käytetään sellaisia yhdisteitä kuin LiCoO_2 , LiMn_2O_4 , LiNiO_2 , LiFePO_4 sekä erilaisia litiummangaanioksidiyhdisteitä. Positiivisena elektrodina käytetään grafiittia, amorfista hiiltä, litiumtitanaattia, tinaa, piiseoksia, piidioksidia ja tinadioksidia. Elektrodin valinnalla on vaikutusta akun ominaisuuksille, kuten käyttöikään, hintaan, turvallisuuteen, yksittäisen kennon jännitteeseen, energiatihyyteen ja ominaisenergiaan. (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 54-55, 59, 61.)

Myös käytettäviä elektrolyyttejä on monenlaisia. On orgaanisia nestemäisiä elektrolyyttejä, jotka koostuvat karbonaateista tai estereistä, ja niiden lisäksi suoloista. Myös kiinteitä elektrolyyttejä käytetään. (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 64-65.)

Vaikka litiumioniakuissa käytetään useita erilaisia elektrodeja ja elektrolyyttejä, voidaan litiumioniakkujen purkautumiselle (ja latautumiselle) laatia yleispätevät kemialliset kaavat. Alla olevissa kaavioissa M tarkoittaa positiivisen elektrodin metallia tai metalliseosta, ja $x \leq 1$. Positiivisella elektrodilla (yhtälö 14) tapahtuu purkautumisen aikana osareaktio



Ja negatiivisella elektrodilla (yhtälö 15) osareaktio



Nämä osareaktiot yhdistämällä saadaan litiumioniakun purkautumisen kokonaisreaktioyhtälö (yhtälö 16), joka on



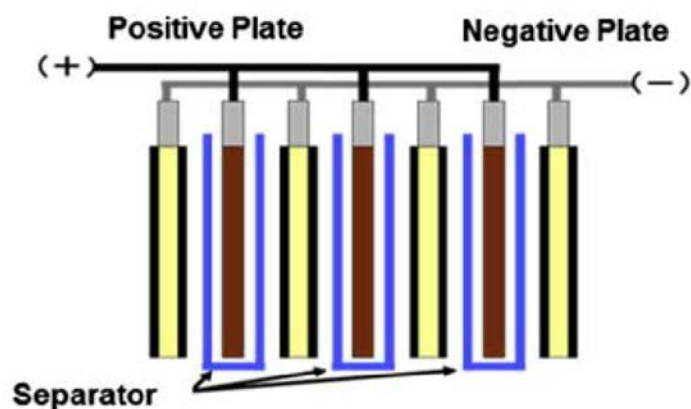
(Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 152.)

3.2 Kennorakenteet autojen akuissa

Kennot akkujen sisällä voivat olla monen muotoisia. Polttomoottoriautoissa kennosto on tyypillisesti ohutlevyrakenteinen (flat plate construction) (käytetään myös useimmissa muissa isoissa akuissa) (Reddy. 2011. 3.19).

Ohutlevyrakenteessa elektrodit ovat ohuita (ja usein neliskanttisia (Takkunen, M. myyjä. 2018.)) levyjä, jotka on asetettu akkuun kylki kylkeä vasten. Positiiviset ja negatiiviset elektrodit on asetettu akkuun vuorotaiseen järjestykseen. Lisäksi positiiviset levyt ovat kiinni yhteisessä virtakiskossa, kuten myös negatiiviset ovat kiinni omassaan, ja kiskot

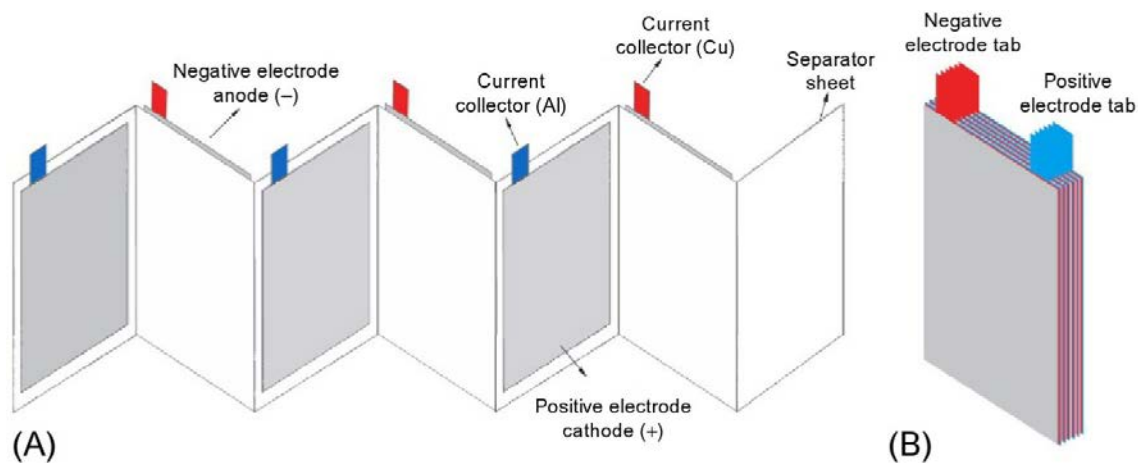
johtavat joko akun positiiviseen tai negatiiviseen napaan. Elektrolyytti ja erottimet löytyvät levyjen väleistä (Reddy. 2011. 3.19). Kuvassa 3 on havainnekuva kuvatulla tavalla kootusta kennostosta.



KUVA 3. Havainnekuva ohutlevyrakenteesta. (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. Lead-Acid Batteries for Future Automobiles. 361)

Ohutlevyrakennetta käytetään paljon autoissa, koska se on edullinen muihin rakenteisiin verrattuna, mutta myös koska se on autojen akkujen alkuperäinen kennorakenne (Takunen, M. 2018). Ohutlevyrakenne tarjoaa suuren ulkopinta-alan sähkökemiallista reagoimista varten, mutta ulkopinta-alan suhdetta elektrodien kokoon voidaan muokata käyttötarkoitukselle sopivaksi esim. levyjen paksuutta muuttamalla (Reddy. 2011. 3.19).

Sähköautojen litiumioniakuissa käytetään ohutlevyrakennetta muistuttavaa rakennetta, jota kutsutaan joskus voileipäarakenteeksi (sandwiched configuration). Kuten ohutlevyrakenteessa, voileipäarakenteessa elektrodit ovat ohuita, vuorottelevia levyjä, joiden välissä on erottimet. Voileipäarakenteen levyt ovat reunoiltaan kiinni edellisessä tai seuraavassa levyssä, mutta taiteltuna kasaan niin, että levyjen sivut ovat toisiaan vasten (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. Electric Vehicles: Prospects and Challenges. 151). Kuvassa 4 on havainnekuva voileipäarakenteesta.

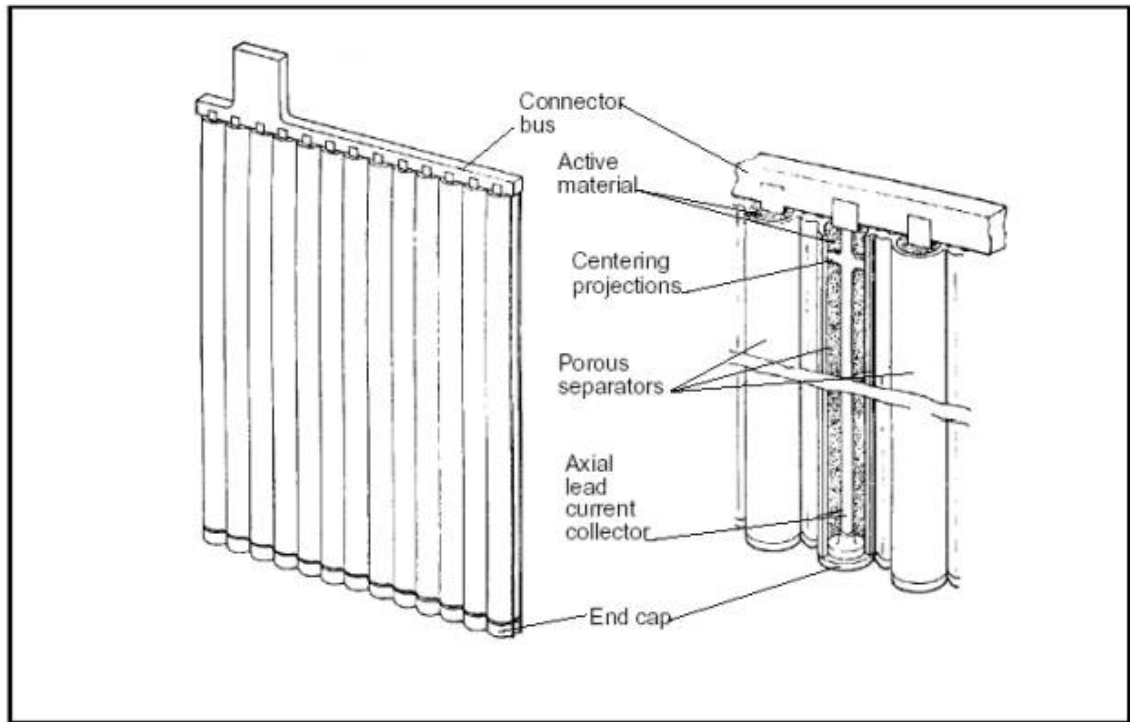


KUVA 4. Voileipärakenne avattuna (A) ja kokoon taiteltuna (B). (Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. 151)

Hybridiautoissa käytetään myös sellaisia akkuja, joissa on putkilevyrakenteinen kennosto (Reddy. 2011. 16.4). Putkilevyrakennetta käytetään paljon myös trukeissa (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. Lead-Acid Batteries for Future Automobiles. 242).

Putkilevyrakenteessa positiiviset elektrodit ovat muodoltaan pitkiä, kapeita sauvoja. Sauvoja on tyypillisesti pystysuorassa kiinni yhteisessä kiskossa 15:stä 19:än kappaletta, jotka muodostavat tällä tavoin yhteisen elektrodilevyn (Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. 242). Näillä sauvoilla on ympärillään joko iso yhteinen suojuus, tai sitten jokaiselle sauvalle oma putki. Molemmat ovat kankaasta valmistettuja, ja huokoisia. Putket ovat useimmiten kutumatonta materiaalia, kuten myös suojuukset, mutta myös lasikuidusta tai muovista kudottuja putkia käytetään. Putkien alapäässä on lisäksi tulpat (Reddy. 2011. 16.30).

Kuvassa 5 on putkia käyttävä elektrodilevy. Negatiiviset levyt ovat kuten ohutlevyrakenteessa (Reddy. 2011. 16.46).

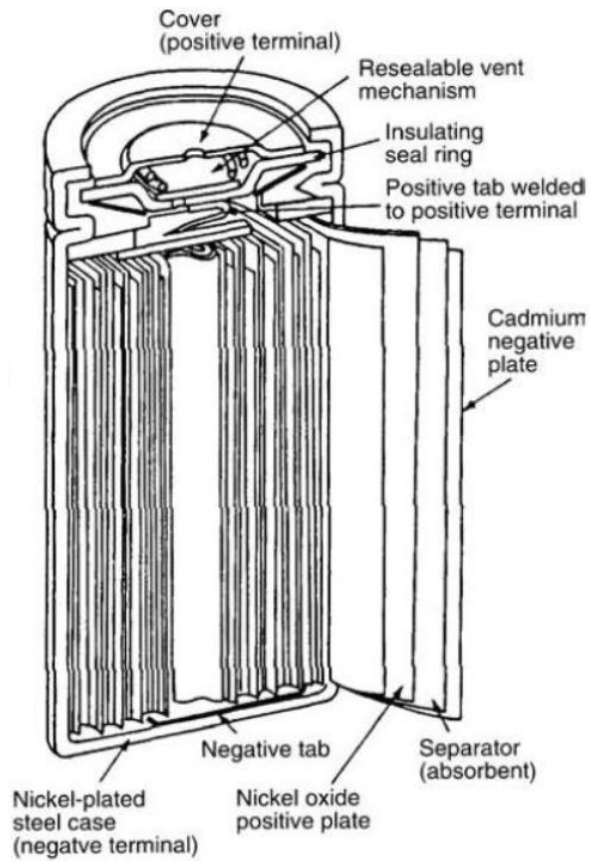


KUVA 5. Putkilevyrakenteinen positiivinen elektrodilevy. (Lead Acid Batteries. Integrated Publishing)

Putkilevyrakenteisilla akuilla on ohutlevyrakenteisia suurempi aloituskustannukset, mutta parempi käyttöikä; rakenne vähentää elektrodien tukirakenteiden syöymistä ja irtaamista (Reddy. 2011. 16.46). Tällä rakenteella saadaan heikompi virran kapasiteetti kuin ohutlevyrakenteella, mutta virran ulosanti on muutoin parempaa (Takkunen, M. 2018). Luultavasti juuri heikomman kapasiteetin takia putkilevyrakennetta ei käytetä polttomoottoriautoissa, koska se tekee tämän rakenteen ohutlevyakkua huonomman käynnistysakun.

Joskus autoissa käytetään myös spiraalikennoakkuja. Spiraalikennoakut ovat harvoin valmiiksi asennettuna autoissa, mutta auton akku voidaan vaihtaa spiraalikennoakkuun (Takkunen, M. 2018). Spiraalikennoarakennetta (spiral-wound construction) käytetään myös kannettavien laitteiden akuissa ja litiumpattereissa (Reddy. 2011. 3.18).

Spiraalikennoarakenteessa elektrodit ovat ohuita liuskoja, jotka kierretään rullalle niin, että levyjen välissä on separaattori. Rullatut elektrodit pakataan sylinterin muotoiseen astiaan. Tällä rakenteella elektrodien ulkopinta-ala korostuu reagoivan aineen määrän, ja kapasiteetin, kustannuksella (Reddy. 2011. 3.18). Kuvassa 6 on leikkauskuva spiraalikennoakusta.



KUVA 6 Leikkauskuva Ni-Cd spiraalikennoakusta (Reddy. 2011. 3.18)

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Akut ovat galvaanisen kennon tavoin toimivia virtalähteitä, jotka voidaan ladata uudelleen kuin elektrolyysikennot. Niitä voidaan käyttää monenlaisissa sähköä käyttävissä laitteissa, kuten autoissa. Autoissa käytettäessä niiden on täytettävä laaja valikoima vaatimuksia, joiden tyydyttämiseen lyijyakut useimmiten soveltuvat parhaiten.

Vaikka lyijyakkuja on käytetty jo kauan, ja ne ovat edelleen käytetyin akkutyypit autoissa, ei akkujen kehitys ole pysähtynyt. Vaihtoehtoisia akkutyyppejä ja -rakenteita on kehitetty ja tutkittu, ja niitä käytetään erityisesti hybridi- ja sähköautoissa. Näitä akkuja, joita tullaan tulevina vuosina valmistamaan myös Suomessa, nähdään enemmän tulevaisuudessa hybridi- ja sähköautojen yleistyessä.

LÄHTEET

Virrankoski, Jaakko. Peda.net. eFysiikka ja eKemia luokille 5-6. Mikä on akku? Luettu 18.6.2018.

<https://peda.net/p/Jaakko-ope/efyke5-6/1/5/mik%C3%A4-on-akku2>

Reddy, Thomas B.; Linden, David, 2011. Linden's handbook of batteries. 4. painos. McGraw-Hill. Luettu 6.11.2018. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://www.dawsonera.com/readonline/9780071624190>

Hänninen H.; Karppinen M.; Leskelä M. & Pohjakallio M. 2018. Tekniikan kemia. 14. painos. Keuruu: Edita.

Garche J, Moseley PT, Karden E & Rand DAJ. 2017. Lead-Acid Batteries for Future Automobiles. Elsevier. Oxford. Luettu 25.10.2018. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/tamperepoly-ebooks/detail.action?docID=4811243>

Naukkarinen, T. myyjä. 2018. Haastateltu 17.7. & 10.9.2018. Haastattelija Lehto, V-P. Tampere.

Takkunen, M. myyjä. 2018. Haastattelu 8.8. & 24.8.2018. Haastattelija Lehto, V-P. Tampere.

Nieminen Simo. 2007. Auton sähkölaitteet. 1.painos. WSOY

Ahoranta, Jukka. 2015. Sähkötekniikka. 14. painos. Sanoma Pro.

Muneer, T, Kolhe, M & Doyle, A. 2017. Electric Vehicles: Prospects and Challenges. Elsevier. Saint Louis. Luettu 25.10.2018. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/tamperepoly-ebooks/reader.action?docID=4913722&query=#>

Zal, Pawel. Automobile Catalog of Cars. 2018. 1998 Peugeot 106 Electric (Electrique) (aut. 1). Katalogi. Luettu 23.10.2018.

http://www.automobile-catalog.com/make/peugeot/106/106_electric/1998.html

Direktiivi 2006/66/EY. Käytettyjen paristojen ja akkujen hävittäminen. EUR-Lex-tietokanta. 19.05.2014. Luettu 23.10.2018.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121202>

Lead Acid Batteries. Integrated Publishing. Luettu 30.8.2018

<http://www.tpub.com/doeleadacid/leadacid6.htm>