

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Elektroniikan koulutusohjelma

Mikko Liutu

NiCd- ja NiMH-akkujen testaus

Insinööriyö 3.12.2009

Ohjaaja: yliopettaja Kari Salmi
Ohjaava opettaja: yliopettaja Kari Salmi

Tekijä Otsikko	Mikko Liutu NiCd- ja NiMH-akkujen testaus
Sivumäärä Aika	36 sivua 3.12.2009
Koulutusohjelma	elektroniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	yliopettaja Kari Salmi yliopettaja Kari Salmi
<p>Työn aiheena oli NiCd- ja NiMH-akkujen testaus. Akuista testattiin itsepurkautumista, muisti-ilmiön vaikutusta ja kapasiteetin säilymistä useiden purkukertojen jälkeen. Lisäksi piirrettiin akkujen purkukäyrät.</p> <p>Testit toteutettiin purkamalla akkuja kuormavastuksien avulla. Jokaisella purkukerralla akkujen kapasiteetti määritettiin purkuvirrasta mittalaitteen avulla. Itsepurkautumista tutkittiin kymmenen ja kahdenkymmenen päivän jaksoissa. Muisti-ilmiötä tutkittaessa akuista purettiin noin puolet niiden kapasiteetista pois, ja sen jälkeen akut ladattiin uudelleen ja mitattiin, tapahtuiko kokonaiskapasiteetissa muutoksia. Tutkittaessa kapasiteetin säilymistä useiden purkukertojen jälkeen akut ladattiin ja purettiin 12 kertaa, ja jokaisella purkukerralla akkujen kapasiteetti mitattiin. Purkukäyrien piirtämistä varten akkujen jännitettä tarkkailtiin akkua purettaessa. Saaduista mittaustuloksista piirrettiin kuvaajat, joissa akun jännite on puretun kapasiteetin funktiona.</p> <p>Testit osoittivat, että NiCd- ja NiMH-akkujen jännite pysyy tasaisena niitä purettaessa. Akkuja pystyy käyttämään kymmeniä kertoja ilman kapasiteetin pienenemistä. Itsepurkautumista havaittiin tapahtuvan akuissa, joka asettaa rajoituksia niiden käytölle. Muisti-ilmiön vaikutusta akuissa ei havaittu.</p>	
Hakusanat	akku, NiCd, NiMH, kapasiteetti

Helsinki Metropolia University of Applied Sciences Abstract

Author Title	Mikko Liutu Testing of NiCd and NiMH secondary batteries
Number of Pages Date	36 3 December 2009
Degree Programme	Electronics
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Kari Salmi, Principal Lecturer Kari Salmi, Principal Lecturer
<p>The topic of this thesis was <i>Testing of NiCd and NiMH secondary batteries</i>. The tested aspects of the secondary batteries were self discharge, memory effect and remain capacity after several discharges. Furthermore, discharge curves were drawn.</p> <p>The tests were carried out by discharging the secondary batteries with load resistors. The capacity of the secondary batteries was determined from a discharge current with a measurement device at each discharge. Self discharge was examined in periods of 10 and 20 days. In memory effect tests, the capacities of the secondary batteries were first measured. Then the secondary batteries were discharged to half capacity. After that, the secondary batteries were charged, and capacity was measured. This capacity was compared to the original capacity. Remain capacity after several discharges was tested by charging and discharging the secondary batteries 12 times. Remain capacity was measured at each discharge. The voltage of the secondary batteries was monitored during discharge for the discharge curves. From the values obtained, curves that had voltage as a function of discharged capacity were drawn.</p> <p>The tests indicated that the voltage of NiCd and NiMH secondary batteries stays constant during discharge. The secondary batteries can be used dozens of times without loss of capacity. Self discharge was found to occur on the secondary batteries, which sets limits to their usage. No memory effect was observed.</p>	
Keywords	secondary battery, NiCd, NiMH, capacity

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Akkuihin liittyviä suureita	6
3 Akkujen ja paristojen toiminta	7
4 Akkujen ja paristojen historiaa	10
5 NiCd-akut	16
6 NiMH-akut	21
7 Testausjärjestelyt	23
8 Testitulokset	26
9 Päätelmät	29
Lähdeluettelo	30
Liite 1: Vansonin BC-1HU-akkulaturin tekniset tiedot	32
Liite 2: NiCd-akun purkukäyrä	33
Liite 3: NiMH-akun purkukäyrä	34
Liite 4: NiCd-akun kapasiteetti jokaisella purkukerralla	35
Liite 5: NiMH-akun kapasiteetti jokaisella purkukerralla	36

1 Johdanto

Akut ja paristot ovat tärkeä osa jokapäiväistä elämää. Jokaisessa kodissa on useita laitteita, jotka käyttävät akkua tai paristoa jännitelähteenä, esimerkiksi kaukosäätimet, kannettavat tietokoneet, herätyskellot, taskulaskimet ja matkapuhelimet. Akkutekniikassa tapahtunut kehitys on omalta osaltaan mahdollistanut nykyaikaisen langattoman maailman.

Maailman öljyvarojen väheneminen lisää akkujen kysyntää, koska on löydettävä uusia ja tehokkaampia tapoja tuottaa ja säilöä energiaa. Akut ovat varmasti yksi lähitulevaisuuden merkittävimmistä kehityskohteista, joilla yritetään vastata öljyn vähenemisen aiheuttamiin haasteisiin. Esimerkiksi sähköautoja kehitetään polttomoottorilla toimivien autojen tilalle ja akkutekniikalla on keskeinen asema tässä kehitystyössä.

Koska akut ovat tärkeässä osassa monissa nykyajan tekniikan sovelluksissa ja koska niiden merkitys vain kasvaa tulevaisuudessa, syntyi mielenkiinto tutkia akkuja. Tässä työssä vertailtiin NiCd- ja NiMH-akkuja. NiCd-akkuja käyttö on vähenemässä kadmiumin vaarallisuuden takia. Kadmium on karsinogeeninen aine ja RoHS-direktiivi rajoittaa sen käyttöä elektroniikkalaitteissa. NiMH-akut ovat korvanneet NiCd-akut monissa sovelluksissa. Sen vuoksi tässä työssä vertailtiin näitä kahta akkutyyppejä. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle.

2 Akkuihin liittyviä suureita

Sähkövirta on sähköisten varauksenkuljettajien liikettä. Sähkövirran SI-yksikkö on ampeeri [A]. Ampeeri on sellainen ajallisesti muuttumaton sähkövirta, joka kulkiessaan kahdessa suorassa, yhdensuuntaisessa, äärettömän pitkässä ja ohuessa johtimessa, joiden poikkileikkaus on ympyrä ja jotka ovat 1 metrin etäisyydellä toisistaan, saa aikaan johtimien välille $2 \cdot 10^{-7}$ newtonin voiman johtimien metriä kohti. Varauksenkuljettajat ovat yleensä johtimissa elektroneja ja elektrolyytissä ioneita. Kun sähkövirta on 1 ampeeri johtimessa kulkee sekunnissa $6.2415 \cdot 10^{18}$ elektronia. Sähkövirta riippuu jännitteestä, joka nähdään Ohmin laista:

$$U = RI,$$

jossa I on sähkövirta, U on jännite ja R on resistanssi. [10; 11.]

Jännite on sähköinen potentiaaliero. Jännitteen SI-yksikkö on voltti [$V=J/C$], jossa J on joule, joka on energian yksikkö ja C on coulombi, joka on sähkövarauksen yksikkö. [10; 12.]

Akun kapasiteetilla tarkoitetaan pohjimmiltaan sitä, kuinka monta elektronia akusta voidaan purkaa. Akkujen kapasiteetti ilmoitetaan yleensä ampeeritunneissa (Ah). Yksi ampeeritunti on yhden ampeerin suuruisen sähkövirran tunnissa kuljettama sähkövarauksen määrä. [3, s. xx; 9, s. 10; 13.]

3 Akkujen ja paristojen toiminta

Akkujen ja paristojen (kuva 1) tehtävä on muuttaa kemiallinen energia sähköenergiaksi. Niitä voidaan käyttää kannettavina virtalähteinä. Akut ja paristot koostuvat yhdestä tai useammasta sarjaan- tai rinnankytketystä sähköparista eli galvaanisesta kennosta. [1, s. 159; 3, s. 1; 4, s. 1.3; 9, s. 10.]



Kuva 1. Erilaisia akkuja ja paristoja [14].

Sähköpareissa kemiallinen energia muuttuu sähköenergiaksi spontaanissa hapettumis-pelkistymisreaktiossa. Sähköpari sisältää kaksi elektrodia, joiden pinnalla reaktiot tapahtuvat. Elektrodia, jolla hapettumisreaktio tapahtuu, sanotaan anodiksi, ja elektrodia, jolla pelkistymisreaktio tapahtuu, sanotaan katodiksi. Anodi on negatiivinen elektrodi ja katodi positiivinen. Kun aine pelkistyy, se vastaanottaa elektroneja. Hapettumisessa aine luovuttaa elektroneja. Aineen hapettuessa on oltava aina myös toinen aine, joka pelkistyy. [1, s. 157-158; 2, s. 456; 6, s. 908-909; 7, s.823-824.]

Anodit ja katodit ovat elektrolyytissä. Elektrolyytti on aine, joka sisältää liikkumiskykyisiä ioneja. Elektrolyytti on tavallisesti suolan, emäksen tai hapon vesiliuos. Jos anodilla ja katodilla on eri elektrolyytti, niiden väliin tarvitaan eriste, joka erottaa elektrolyytit toisistaan fyysisesti, mutta päästää ionit läpi. Eristettä tarvitaan myös, jos anodi ja katodi ovat lähellä toisiaan, kuten tilanne usein on, jotta paristo tai akku saataisiin riittävä pienikokoiseksi. Ilman eristettä

sähköpari olisi sisäisesti oikosulussa. [1, s. 157-158; 3, s. 10; 6, s. 910; 9, s. 12-13.]

Kun anodi ja katodi kytketään johtimella toisiinsa, elektronit alkavat virrata johdinta pitkin anodilta katodille eli syntyy sähkövirta. Elektrolyytissä olevat positiiviset ionit pelkistyvät katodilla. Anodilla muodostuneet kationit siirtyvät elektrolyyttiin ja alkavat kulkeutua kohti katodia, ja katodilla muodostuneet anionit taas alkavat kulkeutua kohti anodia, jotta kennon varaustasapaino säilyisi. [4, s. 1.7; 6, s. 914; 7, s. 824-825; 8, s. 18-19.]

Sähköparin lähdejännite on elektrodien välinen potentiaaliero. Lähdejännite ilmoitetaan tasapainotilassa olevalle virrattomalle sähköparille. Lähdejännitteen suuruus riippuu elektrodien materiaaleista, elektrolyytin konsentraatiosta ja lämpötilasta. Sähköparin peruslähdejännite voidaan laskea taulukoiduista normaalipotentialiarvoista, jotka kuvaavat aineen hapettumis- pelkistymistäipumusta. Taulukon arvot on saatu käyttämällä toisena elektrodina normaalivetyelektrodia. Normaalivetyelektrodin potentiaaliksi on sovittu 0,00 voltia, ja muiden aineiden potentiaalit saadaan vertaamalla ainetta normaalivetyelektrodiin. Usein reaktiot eivät kuitenkaan tapahdu perustilassa. Silloin lähdejännite on laskettava Nernstin yhtälöstä [1, s. 163, 165-167; 3, s. 14; 6, s.917-918, 926; 7, s. 828-829] :

$$E(\text{kenno}) = E^0(\text{kenno}) - \frac{RT}{zF} * \ln\left(\frac{[P]^p [R]^r}{[A]^a [B]^b}\right),$$

jossa E^0 = kennon lähdejännite perustilassa

R = yleinen kaasuvakio = 8,314 J/(Kmol)

T = lämpötila kelvineinä

z = kokonaisreaktiossa siirtyvien elektronien lukumäärä

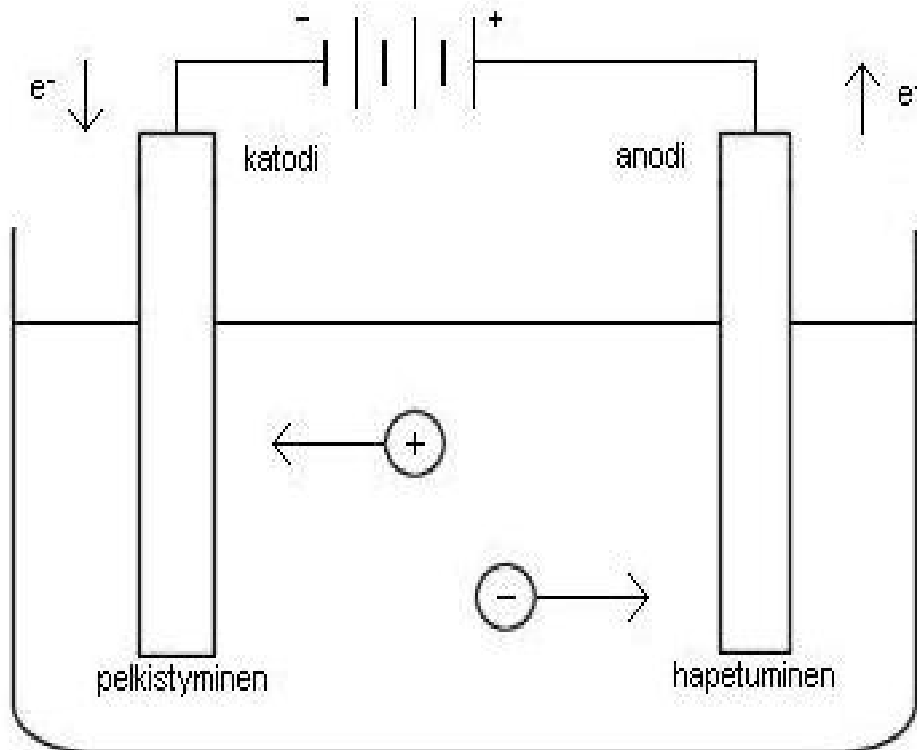
F = Faradayn vakio = 96 485 C/mol

[P], [R] = reaktiotuotteiden konsentraatiot yksikössä mol/dm³

[A], [B] = lähtöaineiden konsentraatiot yksikössä mol/dm³

p, r, a, b = sähköparin kokonaisreaktion $aA + bB \rightarrow pP + rR$ kertoimia

Paristot (primaariparistot) ovat kertakäyttöisiä, mutta akut (sekundaariset paristot) voi ladata uudelleen purkamisen jälkeen. Akun latauksessa hapettumis-pelkistymisreaktiot pakotetaan sähkövirralla tapahtumaan käänteisesti, eli tapahtuu elektrolyysi. Elektrolyysikennossa anodi on positiivinen elektrodi ja katodi negatiivinen (kuva 2). [1, s. 160, 164; 3, s. 13; 4, s. 1.5; 9, s. 9.]



Kuva 2. Elektrolyysikemmo [15].

Tietyissä akkutyypeissä voi tapahtua muisti-ilmiö. Tällä tarkoitetaan sitä, että jos akku ei pureta tyhjäksi ennen latausta, akku "muistaa", mihin asti se purettiin, eikä sitä enää pysty purkamaan enempää eli akun kapasiteetti pienenee. Muisti-ilmiötä ei pidä sekoittaa akun kapasiteetin pienenemiseen useiden latauskertojen jälkeen. Akuissa tapahtuu myös itsepurkautumista. Tällöin akusta katoaa varausta, vaikka sitä ei purettaisi. Paristoissa itsepurkautuminen on yleensä pientä. [3, s.29; 4, s. 3.22-3.23; 9, s. 202.]

4 Akkujen ja paristojen historiaa

Monet historioitsijat pitävät ensimmäisenä paristona Alessandro Voltan vuonna 1792 kehittämää Voltan patsasta (kuva 3). Ennen Voltan patsasta ei ollut keinoa tuottaa tasaista sähkövirtaa, koska ainoat keinot sähkön tuottamiseen olivat staattisen sähkön purkaukset. Voltan patsas koostuu vuorotellen päällekkäin asetetuista sinkki- ja kupari- tai hopealevyistä, jotka on eristetty toisistaan suolavedellä kyllästetyllä kankaalla. Kun alin ja ylin levy yhdistetään johtimella toisiinsa, sähkövirta alkaa kulkea levyissä ja johtimessa. [3, s. 2; 9, s. 6; 16; 17.]

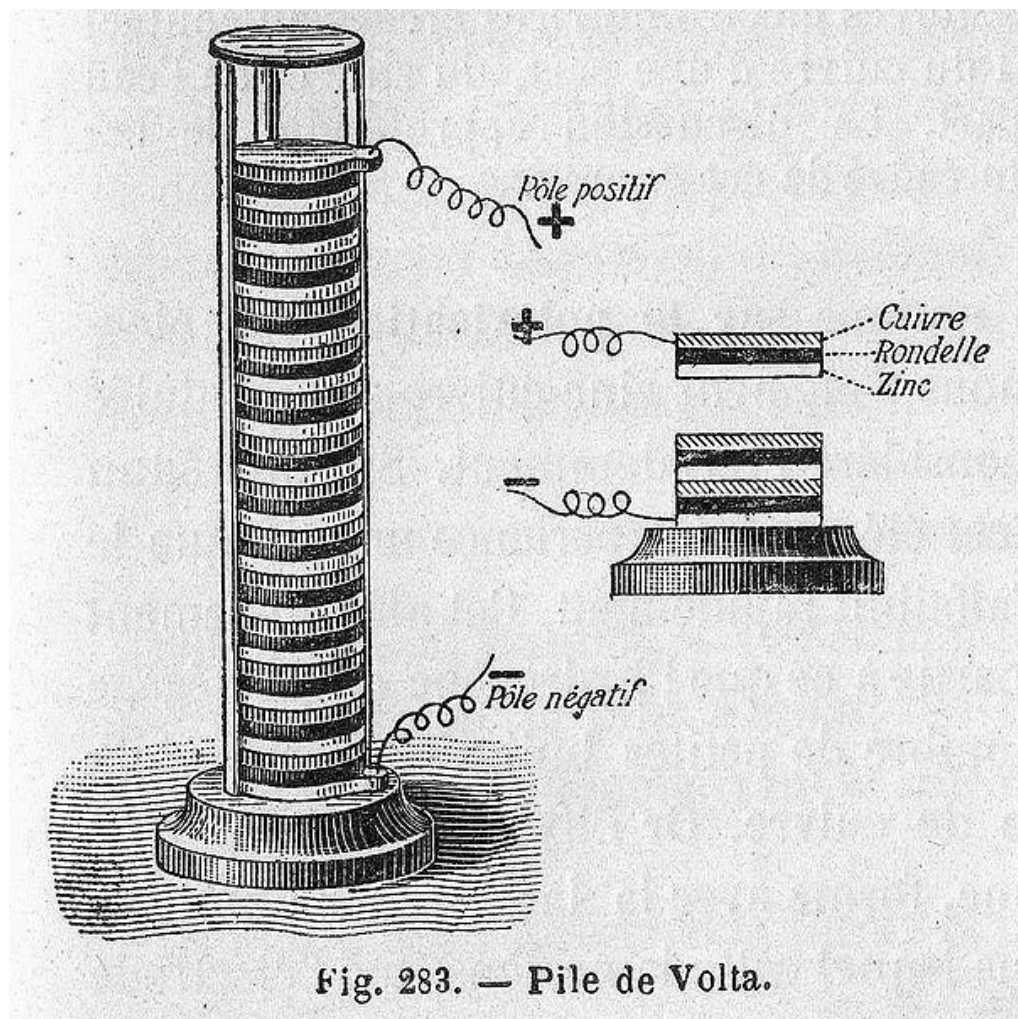
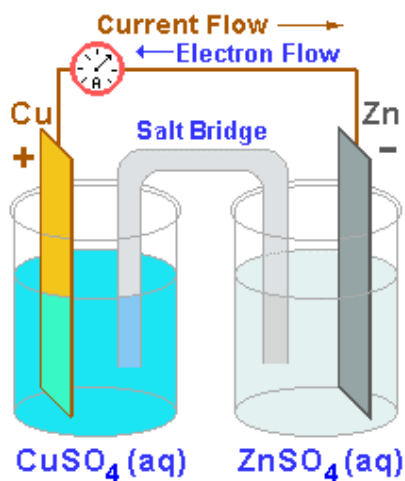


Fig. 283. — Pile de Volta.

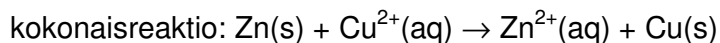
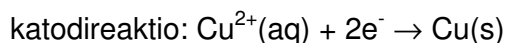
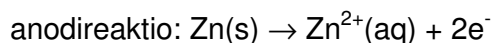
Kuva 3. Voltan patsas [18].

Ensimmäinen käytännöllinen sähköpari, joka pystyi tuottamaan tasaista sähkövirtaa riittävän suurella jännitteellä, oli englantilaisen John Daniellin (1790-1845) vuonna 1836 kehittämä Daniellin kenno (kuva 4). Sitä käytettiin jännitelähteenä esimerkiksi sähkötysjärjestelmissä. Nykyään monissa kemian oppikirjoissa sähköparin toimintaa havainnollistetaan Daniellin kennon avulla. [1, s. 158; 3, s. 2; 17; 19.]

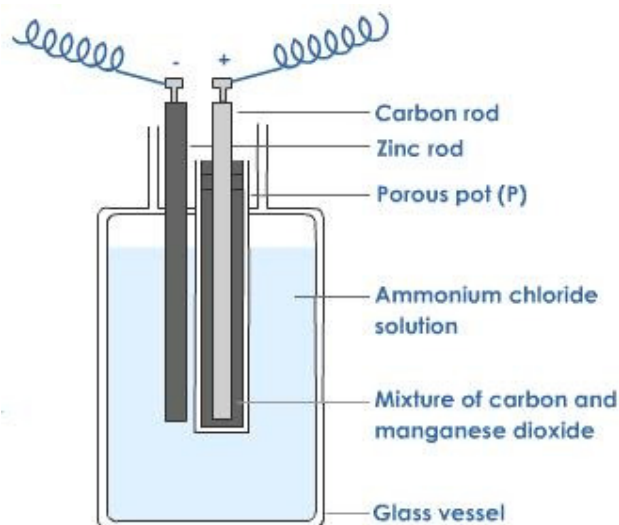


Kuva 4. Daniellin kenno [20].

Daniellin kennossa anodina toimii sinkkilevy ja katodina kuparilevy. Sinkkilevy on upotettu sinkkisulfaattiliuokseen ja kuparilevy kuparisulfaattiliuokseen. Liuokset on yhdistetty suolasillalla, jonka läpi ionit pääsevät kulkemaan. Kun elektrodit yhdistetään johtimella, elektronit alkavat kulkea johdinta pitkin anodilta katodille. Sinkkilevy hapettuu ja siitä irtoaa positiivisia sinkki-ioneita sinkkisulfaattiliuokseen. Kuparisulfaattiliuoksesta tulevat positiiviset kupari-ionit pelkistyvät kupariksi kuparilevyllä. Muodostuvat negatiiviset sulfaatti-ionit kulkeutuvat suolasiltaa pitkin kohti anodia ja positiiviset sinkki-ionit kohti katodia. Daniellin kennon teoreettinen lähdejännite on 1,1 voltia, joka nähdään sinkin ja kuparin normaalipotentialiarvoista. Daniellin kennossa tapahtuvat seuraavat hapettumis-pelkistymisreaktiot: [1, s. 158; 2, s. 453-455; 3, s. 2; 6, s. 910-911.]



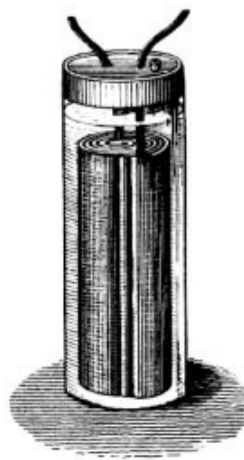
Seuraava merkittävä edistysaskel paristoissa otettiin vuonna 1866, kun ranskalainen kemisti Georges Leclanché (1839-1882) keksi Leclanchén märkäparin (kuva 5). Siinä sinkkisauva toimii anodina ja hiilisauva katodina. Molemmat elektrodit on upotettu lasiastiassa olevaan ammoniumkloridiliuokseen, joka toimii elektrolyytinä. Katodia ympäröi huokoinen keramiikkaseinä, jonka sisällä on hiili- ja mangaanidioksidijauhe. Leclanchén parin lähdejännite on 1,5 V. Leclanchén parilla oli suuri merkitys sähköjärjestelmien jännitelähteenä 1800-luvun loppupuolella. Ensimmäiset versiot Leclanchén parista olivat nykypäivän mittapuulla melko alkeellisia, mutta 1800-luvun lopulla tapahtui merkittävää edistystä, kun keksittiin käyttää sinkkiä sekä anodina että parin kotelona ja nestemäinen elektrolyytti korvattiin tahnamaisella elektrolyytillä. Tällaiset kuivaparit olivat merkittävin paristotyyppi vielä 50 vuotta sitten. [3, s. 2-3, 53-54; 4, s. 8.2; 8, s. 66-67; 21.]



Kuva 5. Leclanchén märkäpari [21].

Ensimmäisen käytännöllisen akun kehitti ranskalainen fyysikko Gaston Planté (1834-1889) vuonna 1859. Tämä lyijy Akku (kuva 6) koostuu kahdesta lyijylevystä, jotka on kierretty rullalle ja joiden välissä on huokoinen kangas. Lyijylevyt on upotettu lasiastiassa olevaan laimeaan rikkihappoliuokseen, joka toimii elektrolyytinä. Yhden tällaisen sähköparin lähdejännite on 2 V. Suuri kehitysaskel lyijyakuissa tapahtui vuonna 1881, kun ranskalainen kemian insinööri Camille Fauré (1840-1898) keksi, että akkujen kapasiteettia voidaan

suurentaa päällystämällä lyijylevyt tahnalla, joka on tehty lyijydioksidista ja rikkihaposta. Tämän keksinnön ansiosta myös lyijyakkujen teollinen valmistus kehittyi ja lyijyakuista tuli kaupallisesti merkittäviä. Lyijyakuja alettiin käyttää jännitelähteinä esimerkiksi puhelinkeskuksissa ja valaisujärjestelmissä. Lyijyakkujen kehitys on jatkunut näihin päiviin asti, ja niillä on nykyäänkin monia käyttökohteita, esimerkiksi autojen käynnistysakkuina. [1, s. 160; 3, s. 4-5, 100-102; 8, s. 142-143; 9, s. 6-7.]



Kuva 6. Plantén kehittämä lyijyakku [22].

1800- ja 1900-luvun vaihteessa kehitettiin NiCd- ja nikkeli-rauta-akut. Nikkeli-rauta akun patentoi kuuluisa yhdysvaltalainen keksijä Thomas Alva Edison (1847-1931) ja NiCd-akun ruotsalainen Waldemar Junger. Nämä kaksi akkua olivat hyvin samantapaisia. NiCd-akussa negatiivisena elektrodina toimii kadmium- ja rautajauheen seos ja positiivisena elektrodina nikkelihydroksidi. Nikkeli-rauta-akussa negatiivisena elektrodina toimii pelkkä rauta ja positiivisena elektrodina nikkelihydroksidi. Molemmissa akuissa elektrolyytinä toimii kaliumhydroksidiliuos. Lähdejännite näissä akuissa on noin 1,2 V. Molemmat akkutyypit saavuttivat kaupallista menestystä, mutta lopulta NiCd-akut syrjäyttivät nikkeli-rauta-akut monissa kohteissa paremman suorituskykynsä ansiosta. [3, s. 5; 8, s. 162-163; 9, s. 7; 17.]

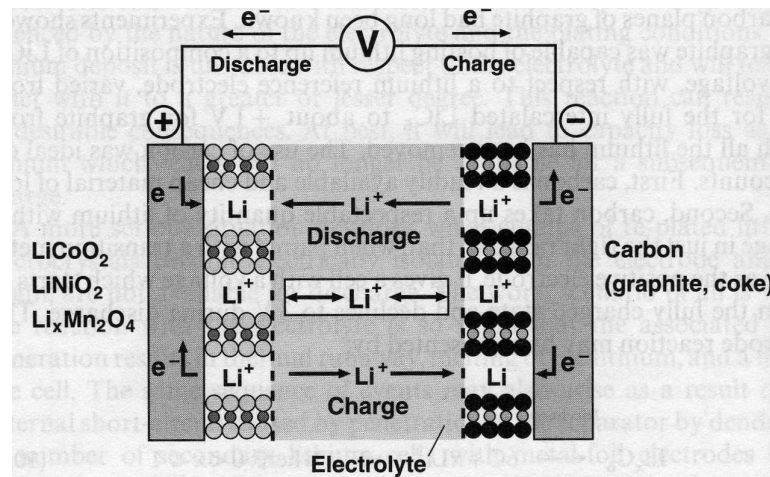
1900-luvulla akku- ja paristotekniikka kehittyi paljon ja elektroniikan kehittymisen ansiosta on tullut paljon uusia sovelluksia, joissa akkuja tarvitaan, esimerkiksi matkapuhelimet, mikä on lisännyt akkujen kysyntää. Jo keksittyjä akku- ja paristotyyppjä kehitettiin paremmiksi ja monia uusia tyyppjä keksittiin, esimerkiksi NiMH-akut ja alkaliparistot. Erityisesti litium-akuissa ja paristoissa on tapahtunut suurta kehitystä viime aikoina. [1, s. 162; 3, s. 5; 9, s. 8; 17.]

Sony toi markkinoille ensimmäiset litium-akut 1990-luvun alkupuolella, ja siitä lähtien niiden käyttö on koko ajan lisääntynyt. Litiumakuissa on monia etuja verrattuna muihin akkutyyppeihin, ja sen vuoksi niitä on alettu käyttää monissa sovelluksissa. Erityisesti kannettavissa elektroniikkalaitteissa litiumakut (kuva 7) ovat lyöneet itsensä läpi, esimerkiksi matkapuhelimissa. [4, s. 35.4; 5, s. 3; 7, s. 845; 8, s. 226.]



Kuva 7. Matkapuhelimen litiumakku [23].

Litiumakuissa on eri variaatioita. Elektrodimateriaalit ja elektrolyytti voivat olla erilaisia eri akuissa. Yhteistä niille on se (kuva 8), että purkauksessa positiiviset litiumionit liikkuvat negatiiviselta elektrodilta positiiviselle ja latauksessa positiiviselta elektrodilta negatiiviselle. Negatiivinen elektrodi valmistetaan yleensä litiumyhdisteistä ja positiivinen elektrodi hiilestä. Litiumkennon lähdejännite on yleensä yli 3 voltia, mikä huomattavan paljon enemmän kuin muissa akkutekniikoissa. Se on litiumakuille suuri etu. Elektrolyyttinä käytetään yleensä orgaanisia liuottimia. Vesipohjaisia elektrolyyttejä ei voida käyttää, koska litium reagoi herkästi veden kanssa. [3, s. 147-148; 4, s. 35.1-35.2; 5, s. 527; 7, s. 844-845.]

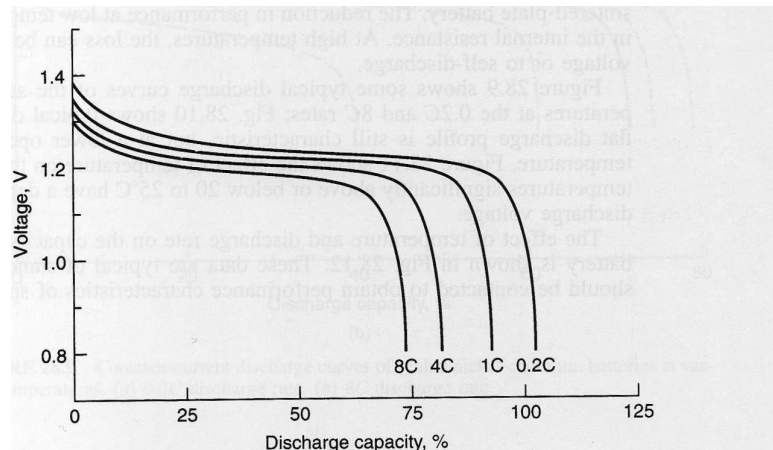


Kuva 8. Litium-akkujen toimintaperiaate [3, s. 148].

Litium-akkuja käytettäessä pitää olla huolellinen. Jos akun jännite nousee liian korkeaksi, voi akku räjähtää. Jos akun jännite laskee liian alas, voi akun kapasiteetti laskea pysyvästi. Siksi litiumakuissa on yleensä suojapiiri, joka estää jännitteen nousemisen liian korkeaksi tai laskemisen liian alas. [1, s. 162; 3, s. 151; 4, s. 35.3; 8, s. 227.]

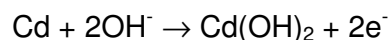
5 NiCd-akut

NiCd-akut eli nikkeli-kadmiumakut ovat käyttökelpoisia akkuja moniin eri tarkoituksiin. Niitä valmistetaan pienikokoisina elektroniikkalaitteisiin ja suurikokoisina teollisuuden käyttöön. Akkujen kapasiteetti voi vaihdella 10 mAh:sta yli tuhanteen Ah:iin. NiCd-akkuja on kokeiltu myös sähköautoissa. NiCd-akkujen hyviä puolia ovat pitkäikäisyys, toimiminen matalissa lämpötiloissa, lähes vakiona pysyvä jännite purkauksessa (kuva 9), ylilatauksen kesto ja erinomainen luotettavuus. Huonona puolena on kadmium, joka on myrkyllinen ja melko kallis aine. NiCd-akuista valmistetaan sekä suljettua että avointa mallia. Avoimesta akusta akun sisäisissä reaktioissa muodostuvat kaasut pääsevät purkautumaan ulos. [1, s. 162; 3, s. 133-134; 8, s. 163; 9, s. 15.]

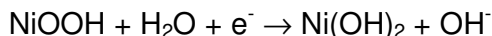


Kuva 9. NiCd-akun purkukäyriä, varaus 0,1C, 16 h [4, s. 28.7].

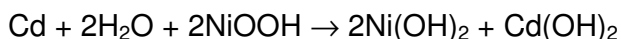
Kaikkien NiCd-akkujen kemiallinen toiminta on perusteiltaan samanlaista. Lähdejännite on noin 1,2 V. Elektrolyytinä toimii kaliumhydroksidiliuos. Elektrodiin aktiiviset aineet reagoivat hapetus-pelkistysreaktioissa siten, että ne eivät itse kulu reaktioissa. Näin ollen elektrolyytin konsentraatio ei juurikaan muutu. Negatiivisella elektrodilla aktiivisena aineena toimii kadmium. Purkauksessa se hapettuu kadmiumhydroksidiksi seuraavassa reaktiossa:



Positiivisella elektrodilla aktiivisena aineena toimii nikkelioksohydroksidi, joka pelkistyy purkauksessa nikkelihydroksidiksi seuraavan reaktion mukaan:

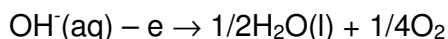


Kennon lähdejännite on noin 1,3 V ja kokonaisreaktio purkauksessa on

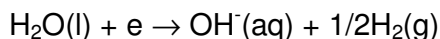


Latauksessa reaktiot tapahtuvat vastakkaiseen suuntaan. [4, s. 28.2; 7, s. 844; 8, s. 163; 9, s. 15.]

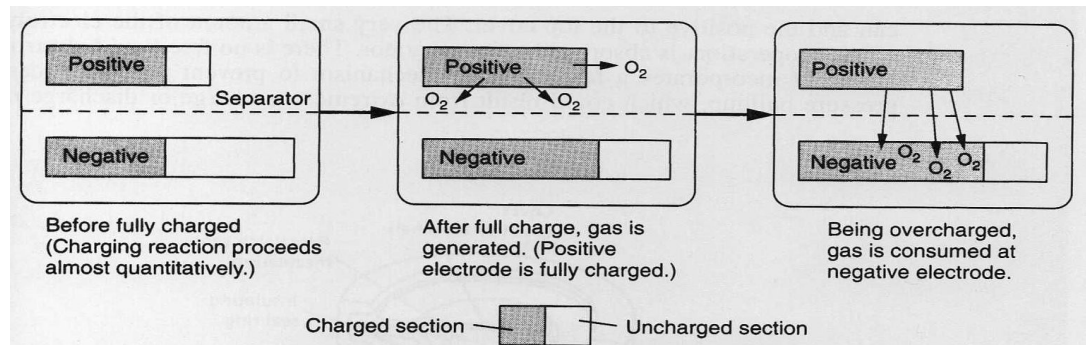
Suurin osa kuluttajalaitteisiin suunnatuista NiCd-akuista on suljettuja. Suljetut NiCd-akut on suunniteltu toimimaan siten, että akun sisälle ei muodostuisi kaasun aiheuttamaa painetta. Kaasua voi muodostua akun sisään esimerkiksi ylilatauksen yhteydessä. Positiivisella elektrodilla muodostuu happea seuraavan reaktion mukaisesti:



Negatiivisella elektrodilla muodostuu vetyä seuraavan reaktion mukaisesti:



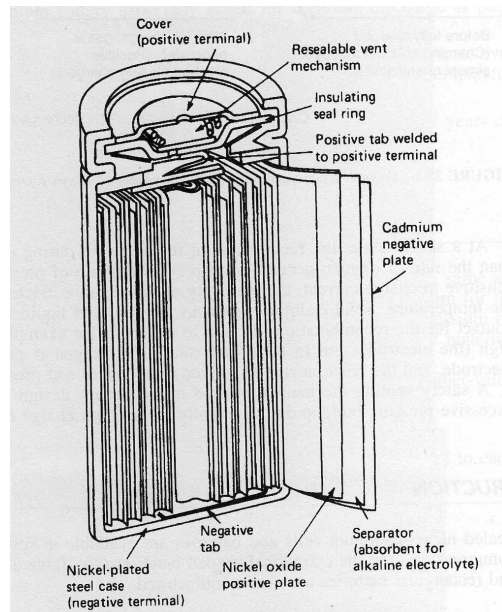
Kaasun muodostumisen ehkäisemiseksi ylilatauksessa negatiiviselle elektrodille on laitettu ylimäärä kadmiumhydroksidia. Siten positiivisen elektrodin ollessa täysin varautunut negatiivinen elektrodi voi vielä varautua. Jos latausta jatketaan, alkaa positiivisella elektrodilla muodostua happea ja negatiivisella elektrodilla jatkuu kadmiumhydroksidin pelkistyminen kadmiumiksi. Nyt positiivisella elektrodilla muodostunut happikaasu hapettaa negatiivisella anodilla kadmiumia takaisin kadmiumhydroksidiksi, eikä paine akun sisällä kasva, koska happikaasu kuluu hapetusreaktioissa negatiivisella elektrodilla. Kuvassa 10 näkyy elektrodien toimintaperiaate, jolla kaasunmuodostumista pyritään estämään. [4, s. 28.2-28.3; 8, s. 171-172; 9, s. 16-17.]



Kuva 10. NiCd-akkujen elektrodien toiminta latauksessa [4, s. 28.3].

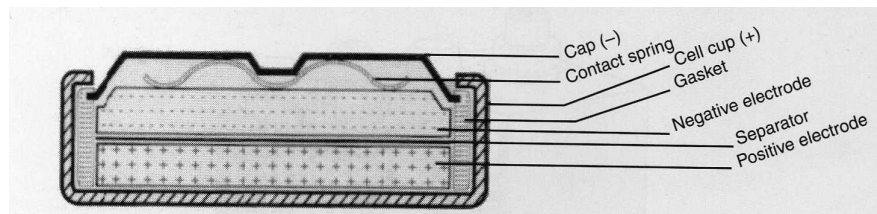
Avonaisissa NiCd-akuissa on venttiili, jonka kautta akun sisällä muodostuvat kaasut pääsevät poistumaan. Avoimia akkuja pitää huoltaa, sillä elektrolyytin määrä vähenee kaasunmuodostumisreaktioissa. Avoimia akkuja käytetään lähinnä teollisuussovelluksissa ja isojen koneiden käynnistämiseen. [3, s. 136; 4, s. 27.3; 8, s. 174-175; 9, s. 19-20.]

Akkuja on saatavilla useilla eri rakenteilla. Yleisin rakenne on sylinterimäinen rakenne (kuva 11). Tällä rakenteella saavutetaan erinomaiset mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet. Elektrodit ovat levyjä, joiden pinnalla on aktiivisia materiaaleja. Levyt kieritetään rullalle siten, että niiden välissä on eriste. Rulla asetetaan koteloon siten, että negatiivinen elektrodi koskettaa koteloa. Kotelo täytetään elektrolyytillä ja suljetaan. Positiivinen elektrodi on sähköisessä kosketuksessa kotelon kanteen, joka on sähköisesti eristetty muusta kotelosta. Muita rakenteita suljetuille NiCd-akuille ovat nappiparistorakenne ja laatikkorakenne. [3, s.136; 4, s. 28.3-28.5; 8, s. 172-173; 9, s. 17-19.]



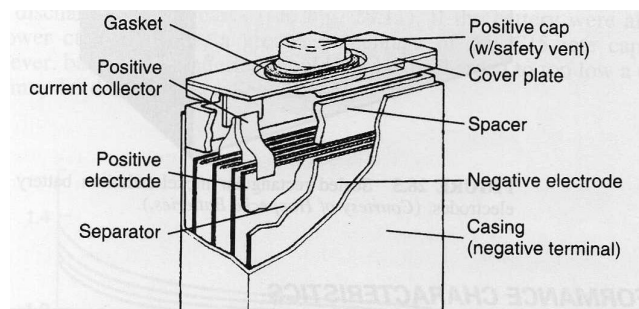
Kuva 11. Sylinterimäinen NiCd-akun rakenne [4, s. 28.4].

Nappiparistomallirakenteiset akut (kuva 12) sopivat hyvin sovelluksiin, jotka vaativat vähän sähkövirtaa [4, s. 28.4].



Kuva 12. NiCd-akun nappiparistorakenne [4, s. 28.5].

Laatikkomaisella rakenteella (kuva 13) saavutetaan suurempi energiatiheys kuin sylinterimäisellä rakenteella [4, s. 28.5].



Kuva 13. NiCd-akun laatikkomainen rakenne [4, s. 28.5].

NiCd-akuista purkautuu varausta itsestään, kun niitä ei käytetä.

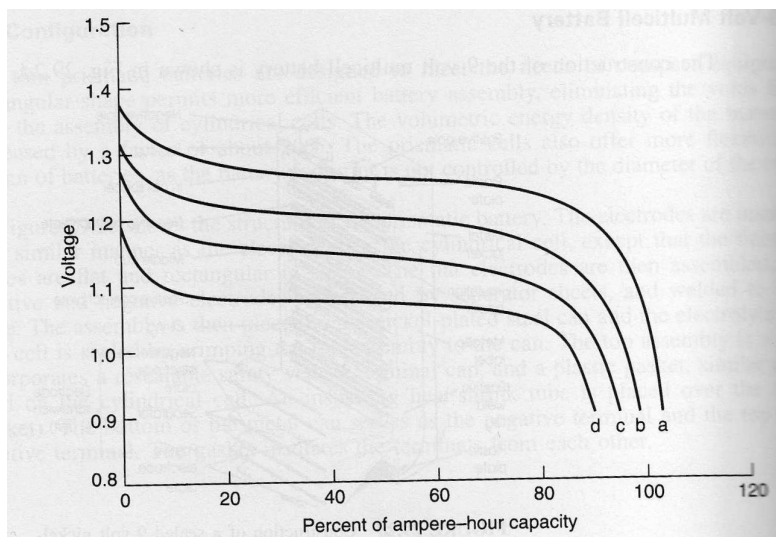
Itsepurkautumisen suuruus riippuu lämpötilasta ja akun rakenteesta.

Tärkeimmät itsepurkautumisen aiheuttajat ovat hapenmuodostumisreaktiot ja muodostuneen hapen reagoiminen kadmiumin kanssa ja akussa tapahtuvat sivureaktiot, esimerkiksi ammoniakkin muodostuminen. [3, s. 29; 4, s. 28.12; 8, s. 339; 9, s. 105-106.]

NiCd-akuissa esiintyy myös muisti-ilmiötä. Jos akkua ei toistuvasti pureta tyhjäksi ennen latausta, voi akun kapasiteetti pienentyä. Kapasiteetin palauttaminen voi onnistua purkamalla akku tyhjäksi ja lataamalla se sen jälkeen uudestaan. Muisti-ilmiön aiheuttajaa ei täysin tiedetä, mutta se liittyyneen muutoksiin elektrodien aktiivisissa aineissa osittaisten purkujen aikana. [1, s. 162; 3, s. 137; 4, s. 28.18-28.19; 8, s. 175-176.]

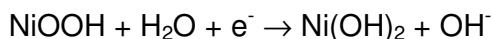
6 NiMH-akut

NiMH- eli nikkeli-metallihydridiakku on ominaisuuksiltaan samantapainen kuin NiCd-akku. NiMH-akuissa negatiivisen elektrodin aktiivisena aineena on kadmiumin sijasta metalliseokseen imeytetty vety. NiMH-akut ovat ympäristöystävällisempiä kuin NiCd-akut, koska ne eivät sisällä kadmiumia. Niissä on myös suurempi energiatiheys ($W \cdot h/kg$), joten niiden kapasiteetti on suurempi kuin samankokoisilla NiCd-akuilla. NiMH-akuissa jännite pysyy tasaisena purkauksessa (kuva 14). NiMH-akuilla on yleensä suurempaa itsepurkautumista ja huonompi ylilatauksen sieto kuin NiCd-akuilla. [1, s. 162; 3, s. 138; 4, s. 29.1-29.2; 8, s. 177.]

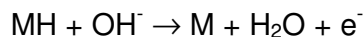


Kuva 14. NiMH-akun purkukäyriä, a – 0,2C , b – 1C , c – 2C , d – 3C [4, s. 29.8].

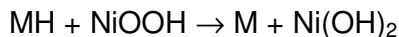
Lähdejännite NiMH-akuissa on noin 1,2 V. NiMH-akuissa positiivisen elektrodin aktiivisena materiaalina toimii nikkeli happihydroksidi samoin kuin NiCd-akuissa. Negatiivisen elektrodin aktiivisena aineena toimii metalliseoksessa oleva vety. Purkauksessa positiivisella elektrodilla nikkelioksidihydroksidi pelkistyy nikkelihydroksidiksi seuraavalla reaktiolla:



Negatiivisella elektrodilla metallihydridi hapettuu metalliseokseksi seuraavan reaktion mukaisesti, jossa M tarkoittaa metalliseosta:



Kokonaisreaktio on:



Latauksessa reaktiot tapahtuvat käänteisesti. Elektrolyytinä toimii kaliumhydroksidi. [3, s. 138-139; 4, s. 29.2; 7, s. 844; 8, s. 178.]

Suljetuissa NiMH-akuissa pyritään myös estämään kaasun muodostumista ylilatauksen yhteydessä. Negatiivisella metallihydridielektrodilla on suurempi kapasiteetti kuin positiivisella nikkeli-happihydroksidielektrodilla. Sen vuoksi positiivinen elektrodi saavuttaa täyden varauksen ennen negatiivista elektrodia. Latauksen jatkuessa positiivisella elektrodilla alkaa muodostua happea, joka kulkeutuu negatiiviselle elektrodille. Negatiivisella elektrodilla happi reagoi vedyn kanssa muodostaen vettä, eikä paine näin ollen pääse kasvamaan akun sisällä. NiMH-akut kuumenevat latauksessa, joten senkin vuoksi ylilatausta on syytä välttää. [4, s. 29.2-29.3; 8, s. 178; 9, s. 21.]

NiMH-akuissa negatiivisen elektrodin metalliseos on yleensä AB₂- tai AB₅-tyyppiä. AB₂-seoksessa A on titaani tai zirkonium tai näiden seos ja B on nikkeli, esimerkiksi ZrNi₂. AB₅-seoksessa A on harvinaisten maametallien seos ja B on nikkeli, esimerkiksi LaNi₅. Eri metalliseoksilla on erilaisia ominaisuuksia, joten niillä voidaan hienosäätää akun ominaisuuksia. [3, s. 139; 4, s. 29.3-29.4; 8, s. 177.]

Rakenteeltaan NiMH-akut ovat samankaltaisia kuin NiCd-akut (sylinteri, nappi, laatikko). NiMH-akkujen kapasiteetti vaihtelee parista sadasta milliampeeritunnista aina tuhansiin ampeeritunteihin. NiMH-akkuja käytetään laajasti kulutuselektroniikkalaitteiden jännitelähteinä, mutta niillä on käyttöä myös teollisuussovelluksissa ja sähkökulkuneuvoissa. [3, s. 140; 4, s. 29.4-29.6, 29.32-29.33; 8, s. 178-180.]

7 Testausjärjestelyt

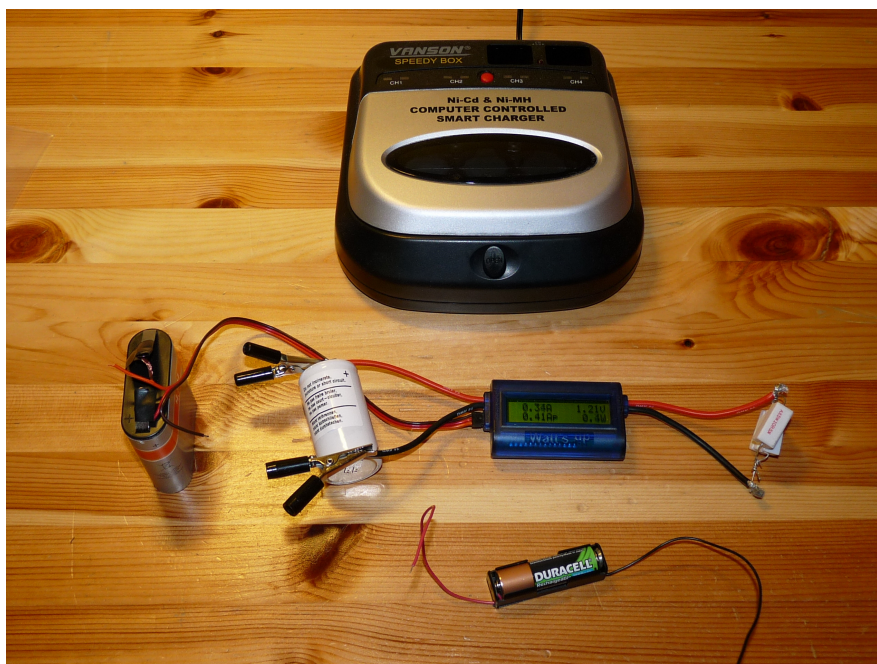
Työssä testattiin NiCd- ja NiMH-akkujen itsepurkautumista, kapasiteetin säilymistä useiden purkaukertojen jälkeen ja muisti-ilmiötä. Lisäksi mitattiin molemmille akuille purkauskäyrät. Testit tapahtuivat huoneenlämmössä.

Taulukossa 1 on lueteltu työssä käytetyt laitteet.

Taulukko 1. Työssä käytetyt laitteet

Duracellin AA-kokoinen NiMH-akku mallia Supreme (2650 mAh)
RS Mobilen D-kokoinen NiCd-akku mallia 508-2934 (4 Ah)
Watt's up meter
akkulaturi Vanson BC-1HU
jännitelähteenä Watt's up meterille toimiva 4,5 voltin litteä paristo
paristonpidin NiMH-akulle
tehovastuksia
liittimiä

Työssä käytetyt laitteet eivät vieneet paljon tilaa, mikä nähdään kuvasta 15.



Kuva 15. Työssä käytetyt laitteet. NiCd-akku on testauksessa.

Akkujen lataamiseen käytettiin Vansonin BC-1HU-akkulaturia. Kyseisellä laturilla voi ladata NiCd- ja NiMH-akkuja. Testissä käytetyn NiMH-akun lataus kesti noin 4 tuntia ja NiCd-akun lataus noin 7 tuntia. Liitteessä 1 on esitetty laturin tekniset tiedot. [24.]

Ongelmana työssä oli aluksi sopivan mittalaitteen löytäminen. Tarkoitukseen sopivia mittalaitteita ei löytynyt tai ne olivat liian kalliita. Lopulta Powerwerx'n verkkokaupasta löytyi Watt's up meter, jolla suunnitellut mittaukset voitiin toteuttaa, eikä se ollut liian kalliskaan. Laite tilattiin ja sen saavuttua voitiin testit aloittaa.

Watt's up meter on muun muassa akkujen tarkkailuun tarkoitettu mittalaite. Sillä voi mitata kahdeksaa eri parametria, sähkövirtaa (A), huippusähkövirtaa (Ap), jännitettä (V), minimijännitettä (Vm), energiaa (Wh), varausta (Ah), tehoa (W) ja huipputehoa (Wp). Mittalaite täyttää ISO 9001 - standardin vaatimukset. Mittaus ei vaikuta mitattaviin kohteisiin juuri lainkaan, sillä mittarin virtaa mittaava vastus on resistanssiltaan vain 1 mΩ. Watt's up meter käyttää digitaalista signaalin käsittelyä mittauksen resoluution parantamiseen ja differentiaalista mittausta kohinan vaikutuksen heikentämiseksi. Mittaustulokset tulevat näkyviin Watt's up meterin näytölle, joten mitään erillistä laitetta ei tarvita mittaustuloksien näyttämiseen. Tässä työssä tarvittiin paristo Watt's up meterin jännitelähteeksi, koska mitattavissa akuissa oli liian pieni jännite mitattavaksi ilman sitä. [25.]

Akkujen kapasiteetti mitattiin siten, että akku liitettiin Watt's up meterin lähdepuolelle. Akun negatiivinen napa kytkettiin mustaan johtoon ja positiivinen napa punaiseen johtoon. Watt's up meterin kuormapuolelle kytkettiin kolme rinnankytkettyä 10 Ω:n tehovastusta, jolloin kuormavastuksen

kokonaisresistanssiksi tuli $\frac{10\Omega * 10\Omega}{10\Omega + 10\Omega} * 10\Omega \approx 3,3 \Omega$. Nyt elektronit alkavat virrata

akun negatiivisesta navasta Watt's up meterin ja kuormavastuksen kautta akun

positiiviseen napaan, eli syntyy sähkövirta. Watt's up meter mittaa sen läpi kulkevan sähkömäärän, ja sen perusteella saadaan määritettyä akun kapasiteetti, kun akku puretaan tyhjäksi. Sähkövirran suuruus riippuu akun jännitteestä ja kuormavastuksen resistanssista; mitä suurempi jännite ja mitä pienempi resistanssi, sitä suurempi sähkövirta. Sähkövirta akkujen normaalilla toiminta-alueella näissä mittauksissa oli noin 0,35 A.

Itsepurkautumista tutkittaessa kaksi NiMH-akkua ja kaksi NiCd-akkua ladattiin ensin täyteen. Sen jälkeen akut purettiin ja mitattiin akkujen kapasiteetti. Sitten akut ladattiin taas täyteen ja 10 päivän jälkeen ensimmäisistä akuista mitattiin jäljellä oleva varaus ja 20 päivän jälkeen toisista. Vertaamalla tuloksia akkujen täyteen kapasiteettiin saatiin selville kuinka paljon akuissa oli tapahtunut itsepurkautumista.

Muisti-ilmiötä tutkittaessa yksi NiCd-akku ja yksi NiMH-akku ladattiin ensin täyteen, minkä jälkeen akut purettiin ja mitattiin akkujen kapasiteetti. Sen jälkeen akut ladattiin täyteen ja niistä purettiin noin puolet varauksesta pois. Tämän jälkeen akut ladattiin täyteen ja purettiin ja mitattiin akkujen kapasiteetti. Nyt saatua kapasiteettia verrattiin ensimmäisellä purkukerralla saatuun kapasiteettiin.

Akkujen purkukäyrien mittauksessa täydet akut purettiin tyhjäksi. Purun aikana akun jännitettä ja purkautunutta varausta mitattiin ja saadut arvot koottiin taulukoksi. Taulukon arvoista piirrettiin regressioanalyysin avulla kuvaaja, jossa on akun jännite purkautuneen varauksen funktiona. Käytetty ohjelma kuvaajan piirtämisessä oli Advanced Grapher.

8 Testitulokset

Liitteissä 2 ja 3 on akkujen purkukäyrät. Käyristä nähdään, että akkujen jännite on aluksi noin 1,4 V. Jännite laskee nopeasti reiluun 1,2 V:iin, jossa se pysyy, kunnes akut ovat lähes tyhjiä. Kun akut on purettu lähes tyhjäksi, jännite alkaa laskea jyrkästi. Purkuvirta oli akkujen normaalilla toiminta-alueella noin 0,35 A. Kuvaajat piirrettiin Advanced Grapher-ohjelmalla. NiCd-akun purkukäyrän piirroksessa käytettiin regressioanalyysiä. NiMH-akun purkukäyrässä regressioanalyysi ei tuottanut todellisuutta vastaava kuvaaja, joten sen purkukäyrä on piirretty yhdistämällä mittauspisteet toisiinsa. Kuvaajista voidaan päätellä, että NiCd- ja NiMH-akut ovat hyviä jännitelähteitä sovelluksiin, jotka vaativat tasaista jännitettä.

Taulukossa 2 on mittaustulokset, jotka saatiin, kun tutkittiin akkujen kapasiteettien säilymistä useiden purkukertojen jälkeen. Taulukossa on akkujen kapasiteetit jokaisella purkukerralla. Liitteissä 4 ja 5 on samat tiedot graafisessa muodossa. Tuloksista nähdään, että akkujen kapasiteetti ei juurikaan muutu. Tästä voidaan päätellä, että akkuja voidaan käyttää kymmeniä tai jopa satoja kertoja. NiMH-akussa ei tosin kertaakaan saavutettu 2650 mAh:n kapasiteettia, jonka valmistaja ilmoitti akun kapasiteetiksi. NiCd-akun kapasiteetin pieneneminen oli hieman suurempaa kuin NiMH-akun. Mittaustuloksissa ei otettu huomioon yhtä kertaa, kun NiMH-akun kapasiteetiksi saatiin vain noin 500 mAh. Akussa tapahtui todennäköisesti sisäinen oikosulku. Uudelleen latauksen jälkeen akku toimi moitteettomasti. Pientä virhettä mittaustuloksiin saattoi aiheuttaa se, että akkuja ei saatu aina suoraan latauksesta testaukseen, joten pientä itsepurkautumista on voinut tapahtua ennen testausta.

Taulukko 2. Akkujen kapasiteetit jokaisella purkukerralla.

pk	NiCd-kapasiteetti/Ah	pk	NiMH-kapasiteetti/Ah
1.	4,208	1.	2,451
2.	4,147	2.	2,500
3.	4,117	3.	2,489
4.	4,177	4.	2,433
5.	4,109	5.	2,500
6.	4,089	6.	2,502
7.	4,066	7.	2,506
8.	4,067	8.	2,425
9.	3,914	9.	2,441
10.	4,016	10.	2,443
11.	3,888	11.	2,443
12.	4,050	12.	2,414

Itsepurkautumisen mittaustulokset ovat taulukossa 3. Tuloksista nähdään, että molemmissa akkutyypeissä tapahtui itsepurkautumista. NiCd-akuissa tapahtui suurempaa itsepurkautumista, mikä on ristiriidassa lähdekirjallisuuden kanssa. Mittaustulosten perusteella itsepurkautumisen nopeus pienenee akuissa. Kahdenkymmenen vuorokauden jälkeen akkujen kapasiteetista pitäisi olla jäljellä noin 80 %, mikäli itsepurkautuminen tapahtuisi samalla nopeudella kuin kymmenen vuorokauden mittauksissa. Kuitenkin molemmissa akuissa on jäljellä kahdenkymmenen vuorokauden jälkeen noin 90 % kapasiteetista.

Taulukko 3. Akkujen itsepurkautuminen

	NiCd 10 vrk.	NiCd 20 vrk.	NiMH 10 vrk.	NiMH 20 vrk.
Akun kapasiteetti	4,266 Ah	4,379 Ah	2,409 Ah	2,381 Ah
Kapasiteetista jäljellä	3,914 Ah	3,852 Ah	2,224 Ah	2,155 Ah
Kapasiteetistä jäljellä	91,7 %	88,0 %	92,3 %	90,5 %

Taulukossa 4 on muisti-ilmiön tutkimuksessa saadut mittaustulokset. Tuloksista nähdään, että akuissa ei tapahtunut muisti-ilmiötä. Akuista olisi todennäköisesti pitänyt purkaa useita kertoja vain osa kapasiteetista, että muisti-ilmiö olisi vaikuttanut akkujen kapasiteettiin, mutta näissä testeissä siihen ei ollut aikaa. Akkujen kapasiteetti ei siis heti pienene, vaikka niitä ei aina pura tyhjäksi ennen latausta. Jos akuista jätetään toistuvasti osa kapasiteetista purkamatta, saattaa kapasiteetin pienenemistä tapahtua.

Taulukko 4. Muisti-ilmiön tutkimuksen mittaustulokset.

	NiCd	NiMH
Alkuperäinen kapasiteetti	3,859 Ah	2,401 Ah
Purettu kapasiteetti	2,115 Ah	1,100 Ah
Kapasiteetti latauksen jälkeen	4,049 Ah	2,453 Ah

Akuista saatu energia muuttui lämmöksi. Tämä havaittiin kuormavastuksien lämpenemisenä. Jos kuormavastusten tilalle olisi kytketty jokin sähkölaite, olisi akuista saatavaa energiaa voitu käyttää laitteen toiminnassa.

9 Päätelmät

Testit osoittivat, että NiCd- ja NiMH-akut ovat luotettavia jännitelähteitä. Ne tarjoavat tasaisen jännitteen, ja niitä voidaan käyttää kymmeniä kertoja. Vähän sähkövirtaa tarvitsevissa laitteissa, esimerkiksi kaukosäätimissä, näitä akkuja ei kannata käyttää, sillä itsepurkautumisen takia suuri osa akkujen energiasta menee sellaisissa laitteissa hukkaan. Laitteissa, joissa paristoja pitää vaihtaa usein, esimerkiksi digitaalikameroissa, voi akkujen käytöllä säästää rahaa. On kuitenkin huomioitava, että akuissa on hieman alhaisempi jännite kuin alkaliparistoissa, joten kaikki laitteet eivät välttämättä toimi akuilla.

Ajan puutteen vuoksi testit jäivät vähän vaillinaisiksi. Itsepurkautumista olisi ollut mielenkiintoista tutkia pidemmällä aikavälillä ja kaikkiin mittauksiin olisi ollut hyvä saada enemmän toistoja. Myös eri valmistajien akkuja olisi ollut kiinnostavaa tutkia. Erityyppisiä akkuja olisi myös ollut hyvä tutkia, erityisesti litiumakkuja, jotka ovat viime aikoina lyöneet itsensä läpi akkumarkkinoilla.

Lähdeluettelo

1. Anttila, Anna-Maija, Karppinen, Maarit, Leskelä, Markku, Mölsä, Heini & Pohjakallio, Maija. Tekniikan kemia. Helsinki: Edita Publishing Oy, 2003
2. Baird, Colin & Gloffke Wendy. Chemistry in your life. New York: W. H. Freeman and company, 2002.
3. Dell, Ronald M. & Rand David A.J. Understanding batteries. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2001.
4. Linden, David & Reddy Thomas B. Handbook of batteries. New York: McGraw-Hill, 2002.
5. Nazri, Gholam-Abbas & Pistoia Gianfranco. Lithium batteries: Science and Technology. New York: Springer Science+Business Media, 2009.
6. Silberberg, Martin S. Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change. New York: McGraw-Hill, 2006.
7. Tro, Nivaldo J. Chemistry: A Molecular Approach. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2008.
8. Vincent, Colin A. & Scrosati Bruno. Modern Batteries: An Introduction to Electrochemical Power Sources. London: Arnold, 1997.
9. Gates Energy Products. Rechargeable Batteries Applications Handbook. Newton: Butterworth-Heinemann, 1998
10. SI-opas. (WWW-dokumentti.) Suomen standardisoimisliitto.
<<http://www.sfs.fi/standard/si-opas.pdf>>. Luettu 15.11.2009.
11. Sähkövirta. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6virta>>. Luettu 15.11.2009.
12. Jännite. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/J%C3%A4nnite>>. Luettu 15.11.2009.
13. Ampeeritunti. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ampeeritunti>> Luettu 15.11.2009.
14. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.metalsrecycling.ie/stg/userupload/site1346/batteries.jpg>> .
Luettu 30.10.2009.
15. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/koboltti/elektrolyysi.html>>. Luettu 9.11.2009.

16. Voltaic pile. (WWW-dokumentti.) Wikipedia, the free encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic_pile>. Luettu 9.11.2009.
17. Battery history. (WWW-dokumentti.)
<<http://corrosion-doctors.org/Batteries/History.htm>>. Luettu 9.11.2009.
18. File:Pile de Volta.jpg. (WWW-dokumentti.) Wikimedia Commons.
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pile_de_Volta.jpg> Luettu 9.11.2009.
19. Daniell cell. (WWW-dokumentti.) Wikipedia, the free encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Daniell_cell> Luettu 9.11.2009.
20. Battery and Cell Chemistries. Battery primer. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.mpoweruk.com/chemistries.htm>> Luettu 9.11.2009.
21. Chemical Effect of Current. (WWW-dokumentti.) TutorVista.
<<http://www.tutorvista.com/content/physics/physics-ii/electricity/chemical-effect.php>> Luettu 9.11.2009.
22. Dunsch, Lothar. Woche3. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche3b/wochenschau3b.html>>. Luettu 9.11.2009.
23. (WWW-dokumentti.)
<<http://ecx.images-amazon.com/images/I/411p34DHh5L.jpg>>. Luettu 14.11.2009.
24. company_name. (WWW-dokumentti.) Vanson Electronics Ltd.
< <http://www.vanson.com.hk/details/vansonnell2006a.html> >. Luettu 20.11.2009.
25. Watt's UP-V2[1].pdf. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.powerwerx.com/download.asp?Action=Download&FileID=286>>. Luettu 20.11.2009.

Liite 1: Vansonin BC-1HU-akkulaturin teknisen tiedot

MODEL BC-1HU
COMPUTER CONTROLLED
UNIVERSAL NI-MH & NI-Cd SMART CHARGER

Features:

- Easy to use
- Powered by an external AC adaptor (Output: 12VDC 1000mA)
- Intelligent microprocessor controlled
- With negative delta V (-ΔV) cut-off function
- Use Constant current pulse charging system
- Each charging group is individual programmable in its function
- Recharges batteries in all capacities - 1-4pcs size AAA, AA, C, D & 1-2pcs 9V
- Ni-MH & Ni-Cd batteries can be mixed to charge at the same time
- Recharges batteries in SINGLE or GROUP
- Automatic charge & discharge function
- Automatic charge/discharge current selection for the different size of batteries
- Identification of defective cells
- With short circuit protection
- With protection against wrong polarity
- Individual LED to indicate discharge, fast charge & trickle charge
- With maximum charging timer control for overcharge protection
- Charging time for different types of empty batteries:

SIZE	RATED CAPACITY	CHARGING TIME
AAA	180mAh-800mAh	1 - 3½ hrs.
AA	500mAh-2000mAh	1½ - 5 hrs.
C	1200mAh-2600mAh	2½ - 5½ hrs.
D	1200mAh-7000mAh	3 - 10½ hrs.
9V BLOCK	100mAh-170mAh	6 - 11 hrs.



CE C UL US LISTED SH27 6182799 KEMA IEV GS GS Certificate No. 4999035.04

- Packing : Each in a giftbox.
- Export packing : 10pcs per inner box
20pcs per export carton.

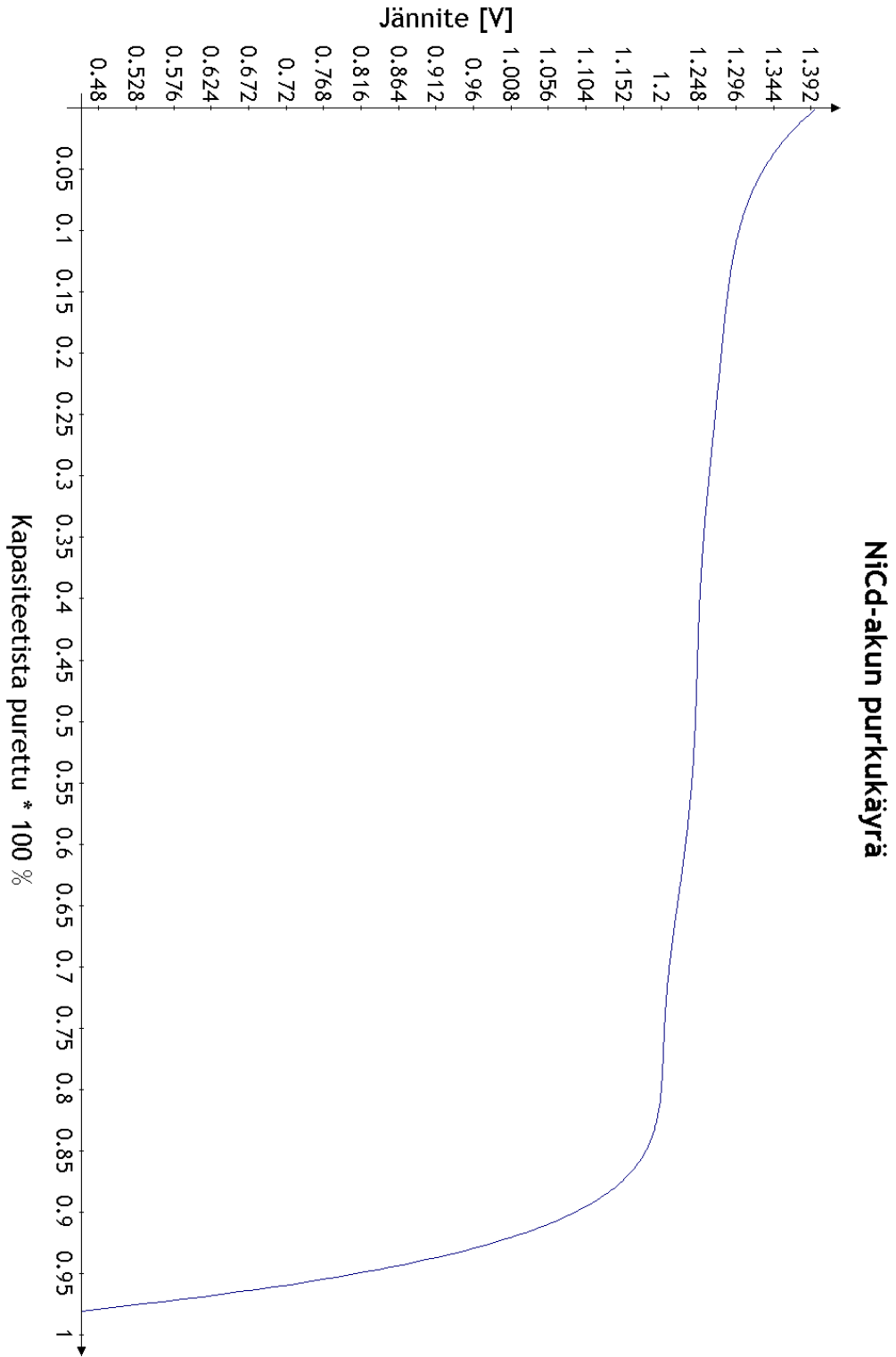
MEASUREMENT		N.W.	G.W.	QTY IN 20FT CONTAINER	
61.5 X 42.5 X 40.0CM	0.105CBM	3.71CU.FT.	22.0KG	25.0KG	5300PCS

CODE: (S) FOR SCHUKO TYPE	(UK) FOR UK TYPE	(F) FOR AMERICAN TYPE	(A) FOR AUSTRALIAN TYPE	(R) FOR EUROPEAN TYPE
				

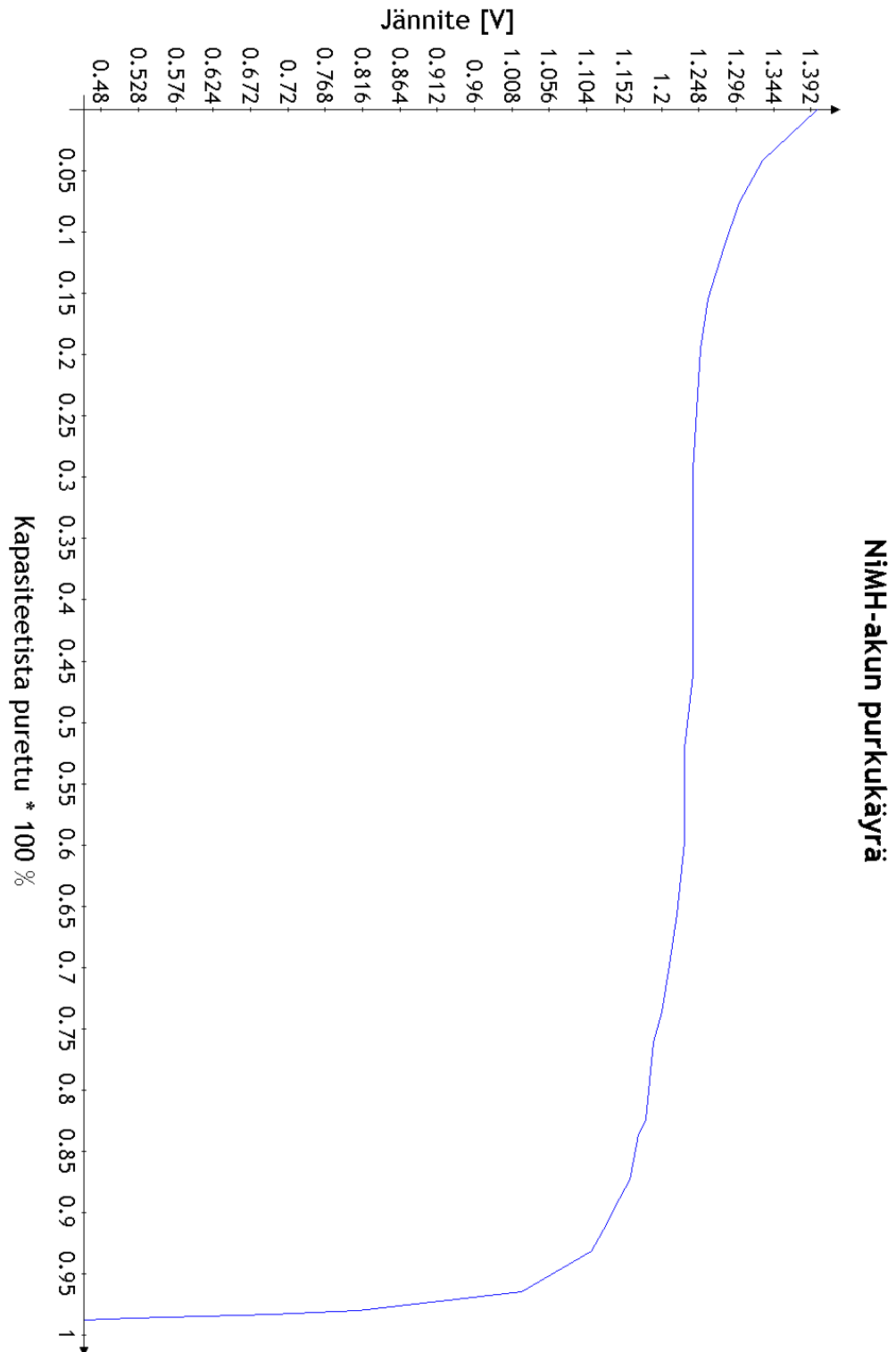


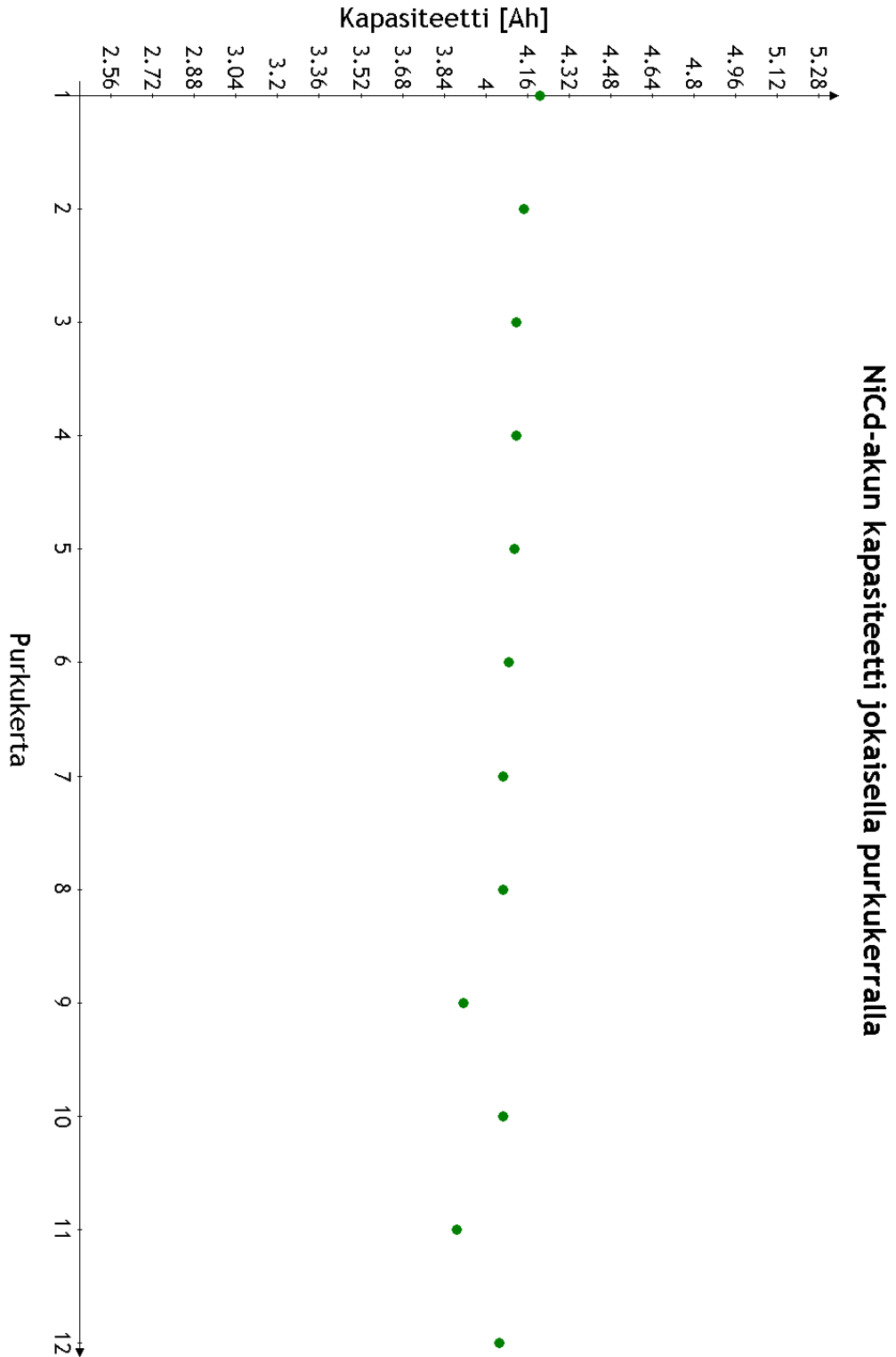
VANSON Vanson Electronics Ltd.

Liite 2: NiCd-akun purkukäyrä



Liite 3: NiMH-akun purkukäyrä



Liite 4: NiCd-akun kapasiteetti jokaisella purkukerralla

Liite 5: NiMH-akun kapasiteetti jokaisella purkukerralla