

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

**CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI
GALVANICKÝCH ČLÁNKŮ**

Lukáš Daněk

Bakalářská práce

2021

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš Daněk**
Osobní číslo: **I17295**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Charakteristika a vlastnosti galvanických článků**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

1. Obecně charakterizujte galvanické články.
2. Pro galvanické články vyjmenované na cs.wikipedia.org/wiki/galvanický_článek popište jejich princip fungování a zhodnoťte jejich výhody a nevýhody.
3. Pro pět vybraných akumulátorů proměřte jejich nabíjecí a vybíjecí charakteristiky, spočítejte kapacitu a porovnejte s údaji výrobce. Měření opakujte třikrát pro různé hodnoty proudu.
4. Jeden vybraný typ proměřte také opakovaně na pěti různých kusech a zhodnoťte výsledky.

Rozsah pracovní zprávy: **50 s.**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Elektročasopis pro elektrotechniku (různá čísla); dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/ocasopisu>.

DVOŘÁK, J.; KORYTA, J.; BOHÁČKOVÁ, V. Elektrochemie. Praha: Academia, 1975, 400 s.

BLAŽEK, J. FABINI, J. Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření. Praha: SPN 1999; ISBN 80-7235-104-4. 335 s.

VACÍK, J. a kol. Přehled středoškolské chemie. Praha: SPN 1995; ISBN 80-86937-08-5. 365 s.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Milan Javůrek, CSc.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2020**

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. ledna 2020

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. 08. 2021

Lukáš Daněk

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanovi Javůrkovi, CSc. za cenné rady a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

V Pardubicích dne 25. 08. 2021

Lukáš Daněk

ANOTACE

Bakalářskou část můžeme rozdělit na dvě části. První část se zabývá charakterizováním elektrochemických zdrojů proudů, jejich rozdělením a stručným popisem. Pojednává také o principech fungování těchto článků a zhodnocení jejich výhod a nevýhod. V druhé části jsou změřeny nabíjecí a vybíjecí charakteristiky některých typů těchto akumulátorů při různých hodnotách proudu. Výsledky jsou zhodnoceny a porovnány s údaji výrobce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Baterie, akumulátor Ni-MH, Li-ion, charakteristiky vybíjecí a nabíjecí, charakterizace galvanických článků.

TITLE

Characteristics and properties of galvanic cells

ANNOTATION

We can divide this bachelor work to two parts. First part include characterization of electrochemical sources of electric current, partition of them and short describe. There is also treatise about functioning of these sources and evaluation of their positives and negatives. In second part is measuring of charging and discharging characteristics for some types of these sources during different values of current. Results are evaluated and compared with values from manufacturer.

KEYWORDS

Battery, accumulator Ni-MH, Li-ion, discharge and recharging characteristics, characterization of galvanic cells

OBSAH

	SEZNAM ILUSTRACÍ	9
	SEZNAM TABULEK	11
	SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	12
	ÚVOD	13
1	Teoretická část	14
1.1	Elektrochemické zdroje	14
1.2	Historie:	16
1.3	Rozdělení galvanických článků	17
1.4	Parametry galvanických článků	18
1.5	Primární (galvanické) články	19
1.5.1	Použití primárních článku a využití	19
1.5.2	Voltův sloup (článek)	19
1.5.3	Danielův článek	21
1.5.4	Zinko – uhlíkový (Leclancheův článek)	22
1.5.5	Alkalický článek	24
1.5.6	Stříbro – oxidový článek (zinko-stříbrný článek)	25
1.5.7	Lithiový článek	26
1.6	Sekundární články (akumulátory):	26
1.6.1	Olověný akumulátor	26
1.6.2	Využití olověného akumulátoru	27
1.6.3	Alkalické akumulátory	31
1.6.4	Lithiové akumulátory	32
1.6.5	Základní vlastnosti baterií	34
1.7	Kam s vybitými články	35
2	Praktická část	36
2.1	Měření kapacity baterie	36
2.2	Vybíjecí charakteristiky akumulátorů	37
2.3	Nabíjecí charakteristiky	42
2.3.1	Vybíjecí a nabíjecí charakteristiky na různých kusech stejného typu	45
2.3.2	Použité součástky	47

ZÁVĚR	49
POUŽITÁ LITERATURA	50
PŘÍLOHY	52

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1 - Sériové zapojení baterie	14
Obrázek 2 - Paralelní zapojení baterie	14
Obrázek 3 - Průběh reakce Voltova článku	20
Obrázek 4 - Konstrukce Voltova článku.....	21
Obrázek 5 - Průběh reakce Daniellova článku.....	22
Obrázek 6 - Průběh reakce Leclancheova článku	23
Obrázek 7 - Konstrukce Leclancheova článku	23
Obrázek 8 - Průběh reakce alkalického článku.....	24
Obrázek 9 – Řez alkalického článku.....	25
Obrázek 10 – Řez stříbro – oxidového článku.....	25
Obrázek 11 - Baterie lithium – chlorid thionylu.....	26
Obrázek 12 - Vybíjení olověného akumulátoru.....	29
Obrázek 13 - Nabíjení olověného akumulátoru	30
Obrázek 14 - Řez olověného akumulátoru	31
Obrázek 15 - Alkalický akumulátor.....	32
Obrázek 16 – Nabíjecí průběh Ni-MH akumulátoru	32
Obrázek 17 - Princip činnosti Li-ion akumulátoru	33
Obrázek 18 - Nabíjecí charakteristika Li-Ion článku obsahující	34
Obrázek 19 - Vybíjecí charakteristiky Li-Ion baterie	34
Obrázek 20 - Li-ion akumulátor	37
Obrázek 21 - Vybíjecí charakteristiky Li-ion akumulátoru.....	38
Obrázek 22 – Graf vybíjecí charakteristiky Li-ion akumulátoru.....	39
Obrázek 23 - Graf vybíjecí průběhy Ni-MH AAA akumulátoru	39
Obrázek 24 - Ukázka vybíjení 9 V akumulátoru	40
Obrázek 25 - Graf vybíjecí průběhy Ni-MH 9 V akumulátoru	40
Obrázek 26 - Graf vybíjecí charakteristiky Ni-MH akumulátoru 550 mAh.....	41
Obrázek 27 - Graf vybíjecí průběhy Ni-MH akumulátoru 350 mAh.....	41
Obrázek 28 - Graf nabíjecí průběh Li-ion akumulátoru	42
Obrázek 29 - Graf nabíjecí průběh Ni-MH AAA akumulátoru.....	43
Obrázek 30 - Ukázka nabíjení AAA Ni-MH akumulátoru.....	43
Obrázek 31 - Graf nabíjecí průběh Ni-MH 9 V akumulátoru	44
Obrázek 32 - Graf nabíjecí průběh Ni-MH knoflíkový akumulátoru.....	44

Obrázek 33 - Graf nabíjecí průběh Li-ion 3,2 V akumulátoru	45
Obrázek 34 - Vybíjecí charakteristika stejného typu, ale na různých kusech	46
Obrázek 35 - Nabíjecí charakteristika stejného typu, ale na různých kusech.....	47
Obrázek 36 - Použité součástky.....	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Tabulka hodnot standardních redukčních potenciálů při 25 °C (Břížďala, 2021)	16
Tabulka 2 - Přehled primárních článků.....	17
Tabulka 3 - Přehled sekundárních akumulátorů	18
Tabulka 4 - Porovnání vlastností Li-Ion článků	33
Tabulka 5 - Porovnání základních vlastností nejpoužívanějších baterií.....	35
Tabulka 6 - Hodnoty Li-lion akumulátoru.....	38
Tabulka 7 - Celkové kapacity jednotlivých nabíjecích akumulátorů	46
Tabulka 8 - Použité součástky	47

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

18650	označení Li-ion akumulátoru
AA	tužková baterie
AAA	mikrotužková baterie
I	proud, A
KOH	hydroxid draselný
Li-Ion	lithium-iontová baterie
Li-pol	lithium-polymerová baterie
MnO ₂	oxid manganičitý
NiMH	nikl-metal hydridová baterie
Q	kapacita akumulátoru, Ah
R	rezistor (odporová zátěž), Ω
t	čas, h
U	napětí, V

ÚVOD

V dnešní době jsou galvanické články a akumulátory hojně využívány jak v profesionální, průmyslové, tak soukromé, osobní sféře. Jako příklad lze uvést např. hodiny, hodinky, powerbanky, mobilní telefony, bezdrátové myši atd. K výhodám baterií nebo akumulátorů patří: velký výběr rozměrů, různé typy článků, cenová dostupnost, vysoká účinnost, velké rozmezí dodávaných výkonů. Jako nevýhodu prodáváných galvanických článků lze brát to, že způsobují znečištění životního prostředí díky obsahu vzácných kovů, které ničí přírodu. Při špatném používání může dojít k explozi a poté k požáru. Pokud se chystáme nějakou baterii nebo akumulátor koupit, je dobré vědět, jak si ověřit kapacitu článků. Proto cílem této práce je ověření kapacity jednotlivých typů článků a jejich vybíjecích a nabíjecích charakteristik.

Vývoj baterií a akumulátorů jde neustále dopředu a pořád se vyvíjejí lepší a lepší články. Do budoucna by se mělo vyrábět i větší množství akumulátorů, které budou využity v elektrických autech. Asi v roce 2030 – 2035 by se měly přestat vyrábět auta se spalovacími motory. Dalším plánem, který se rozvíjí, jsou elektrická úložiště pro případ výpadku elektrické energie.

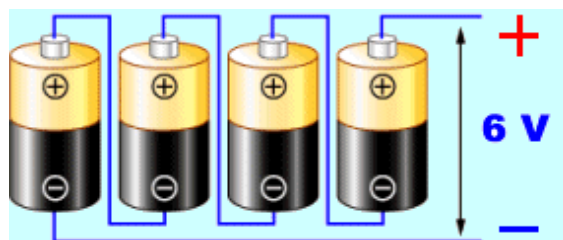
1 Teoretická část

1.1 Elektrochemické zdroje

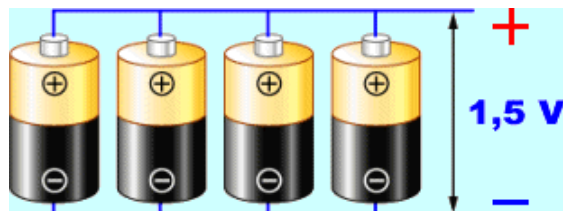
Elektrochemický zdroj elektrické energie je zařízení, který přeměňuje chemickou energii na energii elektrickou. Galvanický článek se skládá ze dvou elektrod, kladné a záporné.

Mezi elektrodami je elektrolyt. Elektrolyt je látka, která je schopná v roztoku se štěpit na anionty a ionty, toto štěpení způsobuje vedení proudu v článku. Další částí je izolátor, který zabraňuje zkratu elektrod opačné polarity a tuto část nazýváme separátor.

Tyto články mají obvykle dosti malé napětí od 0,5 V do 3,7 V. Hodnota napětí je závislá na rozdílu použitých kovů. Pokud bychom potřebovali větší napětí, musíme spojit jednotlivé články do série. Celkové napětí získáme součtem jednotlivých napětí článků. Dříve používaná plochá baterie 4,5 V byla spojena ze tří sériově zapojených suchých článků o napětí 1,5 V. Baterie 9 V je zapojená se šesti suchých nebo alkalických článků také o napětí jednoho článku 1,5 V. Pokud bychom spojili články paralelně (vedle sebe), tak poté napětí baterie je stejné, ale snese vyšší zatížení a může dodávat vyšší elektrický proud (Pind'ák, 2019).



Obrázek 1 - Sériové zapojení baterie



Obrázek 2 - Paralelní zapojení baterie

Nernstova rovnice

Někdy se jí také říká Nernstova-Petersova rovnice. Tato rovnice definuje vztah mezi potenciálem kovové elektrody a aktivitou jejích iontů v roztoku u jejího povrchu.

Nernstovu rovnici můžeme ověřit pomocí elektrochemického článku tvořeného indikační elektrodou. Potenciál indikační elektrody je monitorován prostřednictvím rovnovážného napětí článku v závislosti na koncentraci elektrolytu (Rovnovážné napětí článku, 2013).

Pro elektrodový děj $ox + z e^- \rightleftharpoons red$ platí rovnice v následujícím tvaru:

$$E = E^0 - \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{red}}{a_{ox}} = E^0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}} \quad (1.1)$$

Kde E – elektrodový potenciál, V,

E^0 – standardní elektrodový potenciál, V,

R – molární plynová konstanta, 8,314 J/K.mol,

T – teplota, K,

z – počet vyměněných elektronů,

F – Faradayova konstanta 96485, C/mol,

a – aktivita oxidové nebo redukované formy (Nernstova rovnice wikipedie, 2021).

Elektrochemický článek se skládá ze dvou elektrod - katody a anody. Na katodě dochází k redukci (přijímání elektronů, zvyšování záporného náboje) a na anodě dochází k oxidaci (odevzdávání elektronů, snižování záporného náboje). Mezi elektrodami vzniká napětí. Napětí článku je dáno rozdílem potenciálu katody a anody.

$$E = E_{katoda} - E_{anoda} \quad (1.2)$$

Tento elektrodový potenciál napětí je vždy kladný (Rovnovážné napětí článků, 2013)

Tabulka 1 - Tabulka hodnot standardních redukčních potenciálů při 25 °C (Břížďala, 2021)

Kov	Elektroodový potenciál E°/V	Kov	Elektroodový potenciál E°/V
Li ⁺ /Li ⁰	-3,045 V	Ni ²⁺ /Ni ⁰	-0,250 V
K ⁺ /K ⁰	-2,925 V	Sn ²⁺ /Sn ⁰	-0,140 V
Ba ²⁺ /Ba ⁰	-2,906 V	Pb ²⁺ /Pb ⁰	-0,126 V
Ca ²⁺ /Ca ⁰	-2,284 V	H ⁺ /H ⁰	0 V
Na ⁺ /Na ⁰	-2,713 V	Cu ²⁺ /Cu ⁰	0,339 V
Mg ²⁺ /Mg ⁰	-2,363 V	Cu ⁺ /Cu ⁰	0,520 V
Al ³⁺ /Al ⁰	-1,662 V	Hg ²⁺ /Hg ⁰	0,798 V
Zn ²⁺ /Zn ⁰	-0,736 V	Ag ⁺ /Ag ⁰	0,799 V
Fe ²⁺ /Fe ⁰	-0,440 V	Br ⁻ /Br ₂ ⁰	1,066 V
Cd ²⁺ /Cd ⁰	-0,408 V	Cl ⁻ /Cl ₂ ⁰	1,359 V
Tl ⁺ /Tl ⁰	-0,335 V	Au ³⁺ /Au ⁰	1,420 V
Co ²⁺ /Co ⁰	-0,271 V	F ⁻ /F ₂ ⁰	2,850 V

1.2 Historie:

První zmínky o primitivních akumulátorech pocházejí z doby mezi lety 248 př. n. l. a 225 př. n. l.. Akumulátor byl znám jako „Bagdádská baterie“. Bagdádská baterie byla objevena v roce 1936 na území Iráku. Velmi jednoduchý princip byl popsán v roce 1938. Jedná se o hliněnou zaobalenou láhev, ve které byl měděný válec sletovaný olovem a železnou tyčinkou, to vše bylo utěsněno asfaltem. To, že šlo skutečně o galvanické články, bylo prokázáno až při pokusu s replikou této láhve. Tato replika byla naplněna vinným octem a dokázalo vyvinout napětí 1,5 V, respektive 0,85 V. Zjistilo se, že se jedná o zdroj stejnosměrného proudu a poté se začalo mluvit a psát o bagdádské baterii. Zatím ale není známo a stále přetrvávají dohady, k čemu byly používány tyto baterie. Píše se o léčebných metodách, jinde zase o pozlácování kovových předmětů. Možná se jednalo o svítidla, nebo o předmět používaný i v jiných oblastech. Ale jisté je, že Voltův sloup (Alessandro Volta) první nebyl.

Galvanické články získaly svůj název podle italského lékaře, přírodovědce a fyzika Luigiho Galvani, který zpozoroval pokus při pitvání žabích stehýnek jejich záškuby po dotyku kovovým předmětem, podobné záškubům vyvolaných elektrickým nábojem. L. Galvani došel k závěru, že ve svalech je živočišná elektrina, jelikož kladný pól je v nervech a záporný pól ve svalech. Stažení svalu je jako elektrický výboj, to vzniká spojením obou pólů kovovým vodičem (Novotný, 2012).

Tento jev poté vysvětlil a sestavil italský fyzik Alessandro Guiseppe Antonio Anastasio Volta. Volta předpokládal, že elektrické napětí vzniká mezi dvěma kovy (nástrojem a kovovým podkladem), které jsou vodivě propojeny elektrolytem (obsažený v buňkách). Na základě těchto úvah sestavil v roce 1800 článek. Galvanická baterie byla tvořena několika sériově zapojenými elektrickými články s měděnou a zinkovou elektrodou. Voltův sloup se skládal z navrstvených zinkových a měděných plíšků, které byly proloženy plátkou kůže a pohlcené okyseleným roztokem. První a druhý konec sloupu, měděný a zinkový, nazval Volta póly. Při spojení pólů vodiči jimi procházel elektrický proud. Dnes je nám známý jako Voltův sloup a podle Volty je pojmenována jednotka elektrického napětí – jeden volt. Voltův sloup má napětí přibližně 1 V a jak už je psáno výše, byl to spíše druhý zdroj stálého elektrického proudu, před touto dobou se elektrina vytvářela třením nebo indukční elektrikou. Objev Voltova článku umožnil obrovský rozvoj zkoumání elektrických jevů (Novotný, 1974).

1.3 Rozdělení galvanických článků

Tabulka 2 - Přehled primárních článků

Název článku	Elektrody	Elektrolyt	U_e , V	Poznámka
Primární články				
Voltův článek	+ měď - zinek	Kyselina sírová H_2SO_4	1	Historicky první zdroj elektrického proudu
Leclancheův článek	+ uhlík - zinek	Salmiak NH_4Cl	1,5	Obyčejná baterie
Alkalický článek	+ burel MnO_2 - zinek	Hydroxid draselný KOH	1,2	Kvalitnější baterie
Zinko-stříbrný článek	+ stříbro - zinek	Hydroxid draselný KOH	2,2	Velmi kvalitní baterie
Lithiový článek	+ burel MnO_2 - lithium	Hydroxid draselný KOH	3,1	Dlouhá životnost

Tabulka 3 - Přehled sekundárních akumulátorů

Název článku	Elektrody	Elektrolyt	U_e, V	Poznámka
Sekundární akumulátory				
Olověný akumulátor	+oxid olovičitý PbO ₂ - olovo	Kyselina sírová H ₂ SO ₄	2,2	Tvrký zdroj
Nikl-ocelový akumulátor	+ nikl - ocel	Hydroxid draselný KOH	1,2	Nízká účinnost
Nikl-kadmiový akumulátor	+ nikl - kadmium	Hydroxid draselný KOH	1,2	Obyčejný dobíjecí akumulátor
Nikl-metal hydridový akumulátor	+ oxid-hydroxid niklitý - vodík vázaný v hydroxidu kovu	Hydroxid draselný KOH	1,2	Kvalitní akumulátory

Galvanické články se dají rozdělit do 3 skupin:

- Primární články (baterie)
- Sekundární články (akumulátory)
- Palivové články

1.4 Parametry galvanických článků

Kapacita článku

Kapacitou článku označujeme náboj, který můžeme odebrat, než se zcela rozpustí anoda nebo dokud nedojde ke spotřebování depolarizátoru a tím se zvýší vnitřní odpor. Kapacita článku je udávána v ampérhodinách (Ah) a představuje součin vybíjecího proudu a celkové doby vybíjení.

Elektromotorické napětí

Jde o napětí nezátíženého článku mezi elektrodami, ke kterému není připojený žádný spotřebič (Fyzika 007).

Vnitřní odpor

Jedná se o odpor vnitřních vodivých částí galvanického článku (elektrody, elektrolyt). Články s malým vnitřním odporem značíme jako tvrdé zdroje a články s velkým odporem značíme jako zdroje měkké, odpor článku se při odběru proudu postupně zvětšuje, tím jak se článek vybíjí.

Životnost článku

Jde o počet nabíjecích cyklů udávaný výrobcem.

Hluboké vybíjení

Hluboké vybíjení článku je způsobené např. opakovaným zapínáním notebooku při úplně vybitém akumulátoru. Tímto může dojít k úplnému poškození akumulátoru (Wikipedie, 2021).

1.5 Primární (galvanické) články

Po zapojení galvanického článku do elektrického obvodu nastává vybíjecí proces a to z důvodu reakcí uvnitř tohoto článku. Tyto primární články můžeme použít pouze jednou, je to z důvodu, že se po vybití nedají znovu dobít a opět použít.

1.5.1 Použití primárních článku a využití

Tyto primární články využíváme všude, kde se není možné připojit k elektrické energii. Používáme je hlavně v přenosných spotřebičích, jako jsou svítilny, ovladače, hodinky, dětské hračky, budík atd. V každé domácnosti lze nějaké primární články najít, určitě by se dalo vyjmenovat více spotřebičů. Výhoda primárních článků jsou malé rozměry a nízká hmotnost. Nevýhodou těchto článků je malá životnost, malé napětí a fakt, že se i při nepoužívání článku s postupujícím časem samovolně vybije.

1.5.2 Voltův sloup (článek)

Jedná se o primární zdroj stejnosměrného napětí. Tento článek je pojmenován po italském fyzikovi Alessandru Voltovi. V roce 1800 vytvořil zdroj elektrického proudu, který

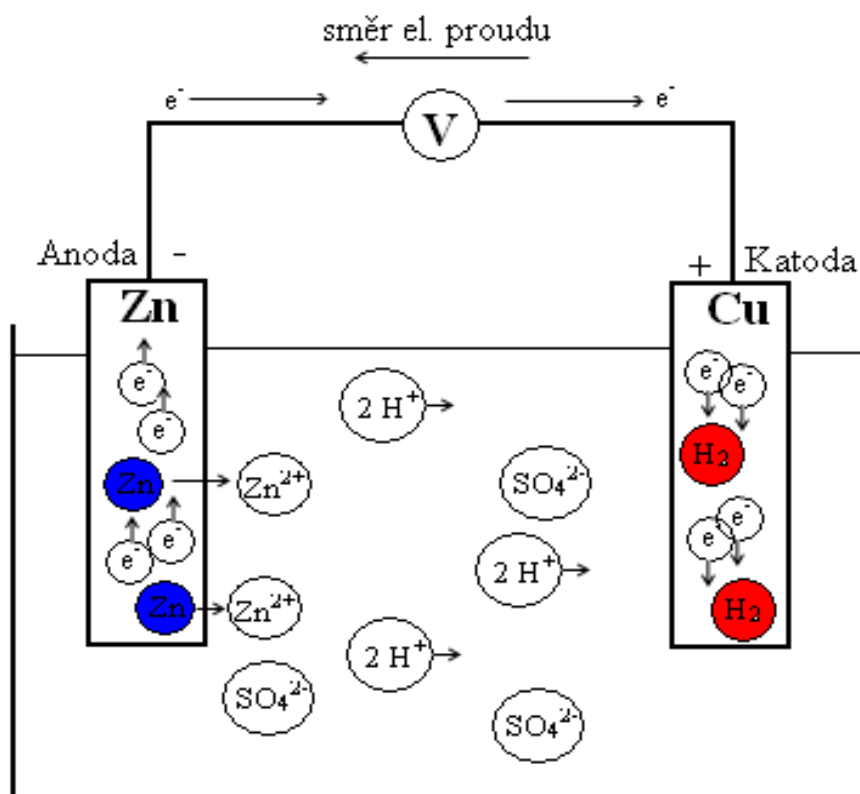
použil při konstrukci první baterie, Voltova sloupu. Tento typ článku je možná prvním elektrickým zdrojem v historii. Neví se přesně, zda bagdádská baterie byla brána jako baterie. Voltův článek, který se skládá ze soustavy dvou poločlánků, neboli elektrod, a elektrolytu. Pro elektrolyt se využívá kyselina sírová. První elektroda je kladná z mědi a druhá záporná ze zinku. Voltův článek je tvořen zinkovou a měděnou elektrodou, které musí být ponořeny do roztoku kyseliny sírové. Elektrochemický potenciál pro elektrolyt a měď (katoda) má hodnotu + 0,34V a pro elektrolyt a zinek (anoda) -0,76, V. Výpočet napětí mezi elektrodami je (Wikipedie, 2020).

$$U = U_{\text{katoda}} - U_{\text{anoda}} = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V} \quad (2.1)$$

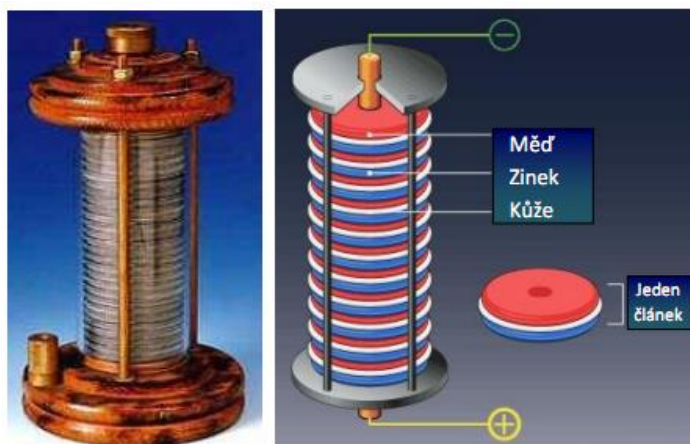
kde U – napětí článku, V,

U_{katoda} – elektrochemický potenciál katody, V,

U_{anoda} – elektrochemický potenciál anody, V.



Obrázek 3 - Průběh reakce Voltova článku



Obrázek 4 - Konstrukce Voltova článku

1.5.3 Daniellův článek

Typy, tvary a použití:

Dříve byly spíše využívány články mokré s tekutým elektrolytem, ale dnes jsou nejvíce používané suché galvanické články, Leclanchéovy, alkalické a rtuťové. Vyráběné tvary článků jsou válcové, hranaté nebo ploché. Tyto články jsou hodně používané v přenosných spotřebičích: kapesní svítilny, přenosné vysílače a přijímače, laserová ukazovátka atd.

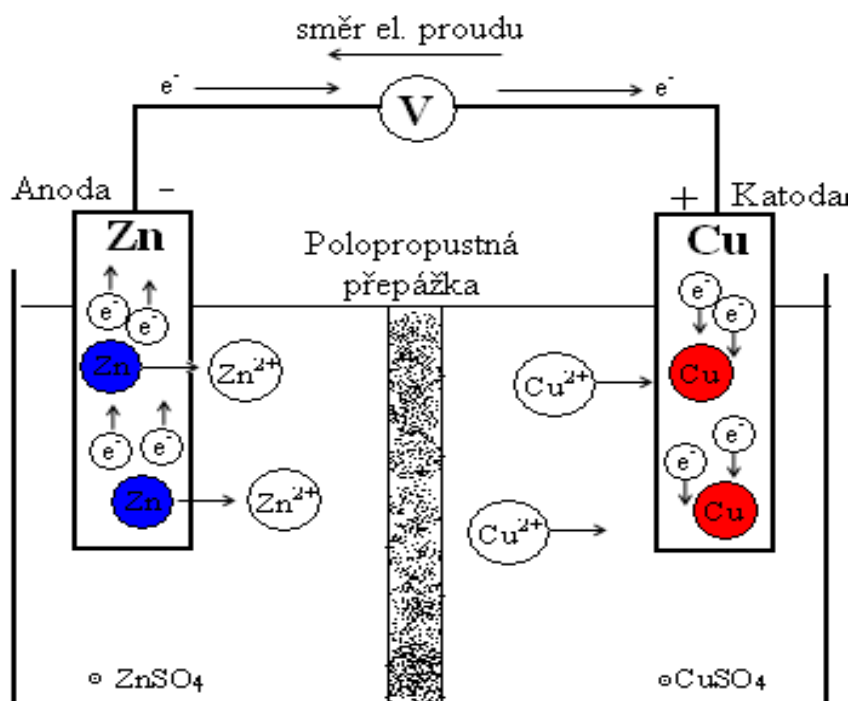
Daniellův článek nebo také gravitační článek se dá popsat jako vylepšená verze Voltova článku. Tento článek je tvořen stejnými elektrodami jako u Voltova článku (sloupu), avšak každá elektroda je ponořena do svého solného roztoku. Oba roztoky jsou od sebe odděleny polopropustnou přepážkou, která zabraňuje směšování roztoků, ale umožňuje spojení elektrické. Zinková elektroda (anoda) se rozpouští v roztoku síranu zinečnatého $ZnSO_4$. V roztoku se uvolňují elektrony a probíhá zde oxidace. Je to označováno jako záporný pól článku. Na elektrodě mědi (katoda) dochází k vylučování mědi z roztoku síranu měďnatého $CuSO_4$. V roztoku dochází k redukci měďnatých iontů Cu^{2+} a tuto elektrodu v galvanickém článku označujeme jako kladný pól článku. Tento článek vykonává elektrickou práci tak dlouho, dokud se zinková elektroda úplně nerozpustí nebo počet měďnatých iontů neklesne na nulu.

Pokud elektrody, anodu a katodu, propojíme vnějším okruhem, tak tímto okruhem bude procházet elektrický proud.

V prostoru anody proběhne oxidace $Zn^0 \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$, uvolněné elektrony projdou propojeným vnějším okruhem a v prostoru měděné elektrody (katody) se účastní redukční reakce $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu^0$

Probíhající reakce v jednotlivých poločláncích jsou označovány jako poločlánekové reakce. Celkový děj $Cu^{2+} + Zn^0 \rightarrow Zn^{2+} + Cu$ představuje reakci článkovou.

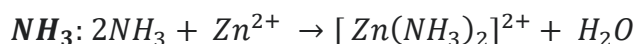
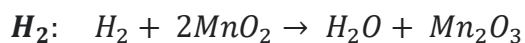
Schéma článku: $Zn | ZnSO_4 || CuSO_4 | Cu$ (Kubartová, 2008).
 (-) (+)

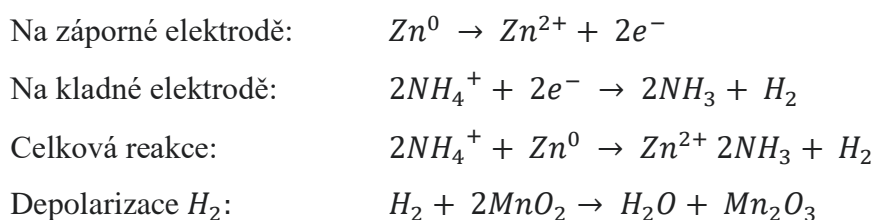


Obrázek 5 - Průběh reakce Daniellova článku

1.5.4 Zinko – uhlíkový (Leclancheův článek)

Tento článek vynalezl francouzský chemik, je to druh galvanického článku, který je společně se zinko – chloridovým článkem označován jako „suchý článek“. Byl vynalezen na základě Leclancheova článku, s nímž má stejné chemické složení. Jeho jméno je odvozeno ze zinku tvořícího zápornou elektrodu (anodu). Zinková nádoba je naplněna elektrolytem rosolovité konzistence, salmiakem NH_4Cl . Na anodě probíhá oxidace, uvolňují se z ní elektrony a postupně se rozpouští. Uhlíková tyčinka tvoří kladný kontakt článku. Je obalena vrstvou burelu MnO_2 , který slouží jako depolarizátor. Na katodě dochází k redukci amoničných iontů NH_4^+ , dochází k postupnému snížení koncentrace. Dalším problémem je, že vznikají produkty amoniaku NH_3 a vodíku H_2 . Tyto produkty způsobují polarizaci uhlíkové elektrody, které je nutno následně odstranit reakcemi





Vzniklé zinečnaté ionty následně reagují s amoníkovými ionty NH_4^+ :

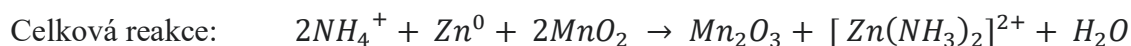
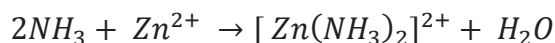
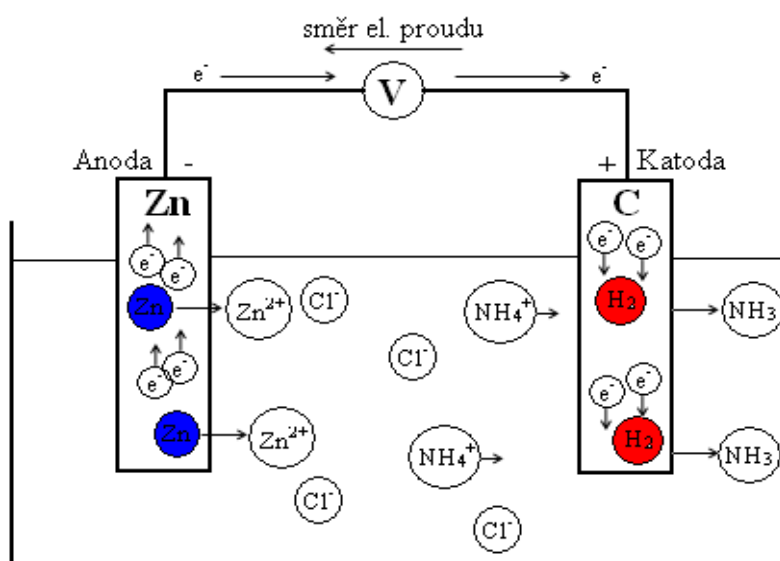
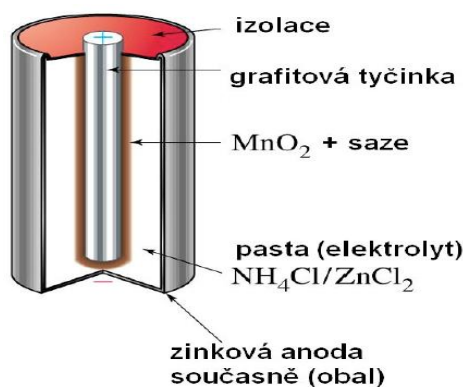


Schéma článku: $Zn | NH_4Cl | MnO_2 | C$ (Marek, 2009, Kubartová, 2008)

(-) (+)



Obrázek 6 - Průběh reakce Leclancheova článku



Obrázek 7 - Konstrukce Leclancheova článku

1.5.5 Alkalický článek

Alkalický článek má zápornou elektrodu ze zinku a kladnou elektrodu z uhlíku, který je obalen burelem MnO_2 (oxidem manganičitým). Další částí je hydroxid draselný KOH, který tvoří elektrolyt. Pro anodovou elektrodu platí, že zinek oxiduje v elektrolytu hydroxidu draselného. Elektroda se nabíjí záporně a dochází na ní k oxidaci. Na kladné (uhlíkové) elektrodě se z oxidu manganičitého MnO_2 redukuje oxid manganitý Mn_2O_3 . Uhlíková elektroda je kladným pólem článku. Alkalické články (baterie) jsou výrazně kvalitnější a samozřejmě také dražší. Dnes jsou alkalické články nejrozšířenějším typem bateriových článků. Zejména kvůli dobré cenové dostupnosti a kvalitě. Děje na elektrodách je znázorněn rovnicemi a schéma článku je na obrázku 8.

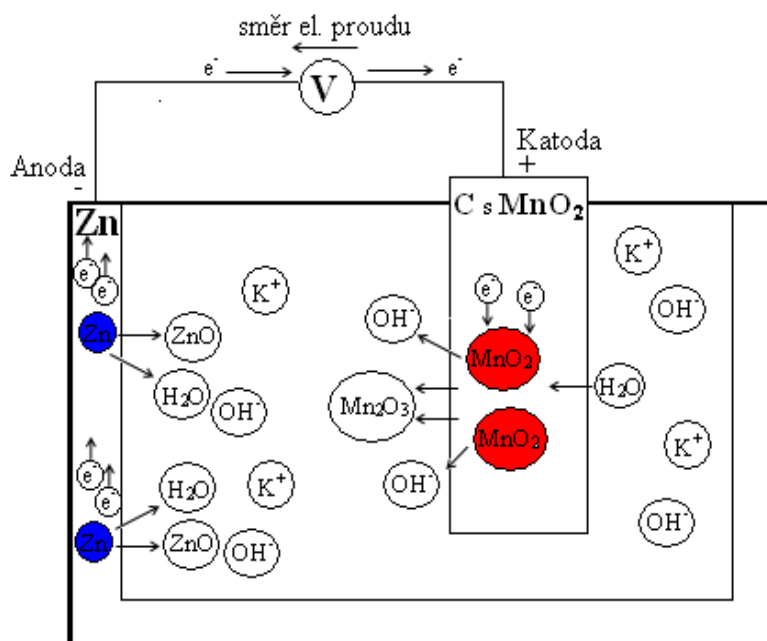
Na záporné elektrodě: $Zn^0 + 2OH^- \rightarrow ZnO + H_2O + 2e^-$

Na kladné elektrodě: $2MnO_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow Mn_2O_3 + 2OH^-$

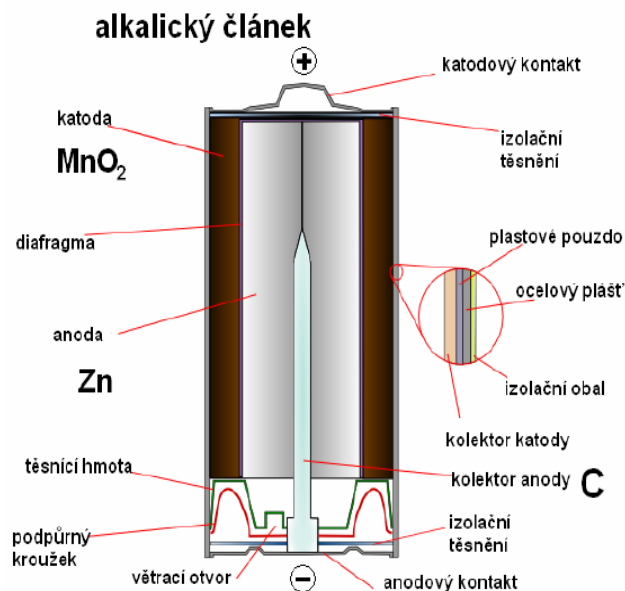
Celková reakce: $2MnO_2 + Zn \rightarrow Mn_2O_3 + ZnO$

Schéma článku: $Zn | KOH | MnO_2$ (Marek, 2009, Kubartová, 2008)

(-) (+)



Obrázek 8 - Průběh reakce alkalického článku

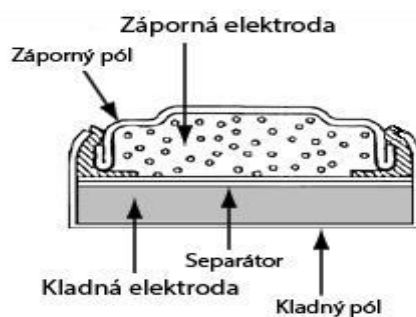


Obrázek 9 – Řez alkalického člunku

1.5.6 Stříbro – oxidový člunek (zinko-stříbrný člunek)

Stříbro-oxidový člunek či stříbrný člunek je druhem primárního (nenabíjecího) galvanického člunku založeného na reakci mezi oxidem stříbrným a zinkem. Jeho jmenovité napětí je 1,55V

Stříbro-oxidové člunky mají vysokou kapacitu, životnost, limitujícím faktorem pro jejich častější použití je vysoká cena stříbra v nich obsažená, proto jsou nejčastěji používány ve velikostech knoflíkových člunků v hodinkách, kalkulačkách, naslouchátkách, laserových ukazovátkách a podobných malých zařízeních, kde objem stříbra nehraje významnou roli v koncové ceně. (Pind'ák, 2019)



Obrázek 10 – Řez stříbro – oxidového člunku

1.5.7 Lithiový článek

Lithiový článek je nejběžnější typ článku. Tento článek neboli lithiová baterie je druh primárního (nenabíjecího) galvanického článku, ve kterém je anoda tvořena kovovým lithiem, nebo jeho sloučeninami. V závislosti na složení se napětí článku pohybuje od 1,5 V do 3,7 V. Pojem lithiový článek pokrývá širokou škálu různých chemických složení katod a elektrolytů.

Nejčastější používaná chemická látka pro výrobu kladné elektrody je oxid manganický (MnO_2). Tyto typy článků dosahují nižší kapacity než ostatní lithiové články, jsou cenově výhodnější. Mají dlouhou dobu skladovatelnosti. Tento druh lithiových článků je využíván v hodinkách, teploměrech, dálkovém ovladači, základní desce u PC, ...

Dalším typem jsou články s disulfidem železa, který je využíván pro kladnou elektrodu. Mezi elektrodami se nachází elektrolyt, který je tvořen rozpouštěnou solí v organickém rozpouštědle. Tyto články jsou navrženy tak, aby nahrazovaly zinkové a alkalické baterie. Jmenovité napětí je stejné jako u zinkových a alkalických baterií 1,5 V (Pindřák, 2019).



Obrázek 11 - Baterie lithium – chlorid thionylu

1.6 Sekundární články (akumulátory):

Sekundární články neboli akumulátory mají výhodnější využití. U těchto typů článků (akumulátorů) se dá opakovaně nabíjet. Tyto články využíváme například v navigaci, noteboocích, fotoaparátech, mobilních telefonech a v mnoha dalších, běžně využívaných, zařízeních. Akumulátor je tvořen z více sekundárních článků.

1.6.1 Olověný akumulátor

První výskyt olověného akumulátoru byl roku 1859. Akumulátor vytvořil francouzský chemik Planté, postupně se začal tento typ akumulátoru zdokonalovat a poté se začal využívat i v praxi. Olověný akumulátor je sekundárním galvanickým článkem s elektrodami na olověné bázi, jehož elektrolytem je kyselina sírová H_2SO_4 . Kyselina sírová může být v olověném akumulátoru i ve formě roztoku, kdy tato kyselina může být nasáknuta do skelného vlákna nebo

je ztužena do formy gelu. Záporná elektroda (anoda) je z čistého olova Pb a kladný pól elektrody je tvořen čistým olovem, který je pokryt oxidem olovičitým PbO_2 (Kubartová, 2008)

1.6.2 Využití olověného akumulátoru

Nejznámější typ olověného akumulátoru je autobaterie, ve které je elektrolyt volně nalit mezi elektrodami, napětí autobaterie je 12 V. Výhodou olověného akumulátoru je účinnost až přes osmdesát procent, velký vybíjecí proud a dosti malý pokles napětí. Aby byl dosažen velký proud, je sestaveno velké množství tenkých elektrod. Když akumulátor nebudeme používat, musíme ho skladovat nabitý, aby nedošlo k nevratnému poškození. Tomu se říká sulfatace elektrod. K tomu by došlo, když by byly elektrody pokryty nízkou hladinou aktivním krystalickým síranem olovnatým $PbSO_4$, který by pak neumožnil další dobíjení akumulátoru. Pokud akumulátor není využíván, tak se akumulátor sám vybíjí a vyčerpá svoji kapacitu v průběhu kolem šesti měsíců, proto akumulátor, který nepoužíváme, musíme dobíjet. Životnost akumulátoru se udává kolem 350 plných nabíjecích cyklů a celková životnost baterie je omezena na dobu čtyř až šesti let. Životnost akumulátoru se nechá snadno zjistit, pokud se rychle nabije a při zatížení rychle ztratí svoji kapacitu. Plně nabitým akumulátorem se rozumí, pokud hustota elektrolytu přesáhne $1,25 \text{ kg/dm}^3$. Napětí jednoho článku je 2,4 V, celkové napětí autobaterie je 14,4 V. V případě plného nabití autobaterie se nabíjecí proud spotřebovává na rozklad elektrolytu a tím ubývá elektrolyt. V tomto okamžiku je dobré nabíjení ukončit. Při běžném používání ubývá elektrolyt a je dobré občas dolít do akumulátoru destilovanou vodu, aby elektrody zůstaly pořád potopené. Akumulátor je vybitý, pokud klesne napětí jednoho článku pod 1,8 V a celkové napětí autobaterie pod 10,8 V. Poté by mohlo dojít ke zničení akumulátoru a začala by probíhat již zmíněná sulfatace elektrod.

Dnešní akumulátory jsou vyráběny na způsob takzvaného hermeticky uzavřeného akumulátoru, který se dá používat v jakékoliv poloze a není narušena jeho funkčnost. Elektrolyt je zahuštěn ve formě gelu nebo je také vázaný v adsorpčním skelném vlákne. Tento druh, pokud není využíván, musíme udržovat v nabitě formě též. Pokud by se uskladnil akumulátor vybitý, tak by došlo k nevratné ztrátě kapacity a sulfataci elektrod. Pokud akumulátor nepoužíváme, je dobré ho jednou za čas dobít, aby byla životnost akumulátoru co nejdelší. Pokud dodržíme správnou údržbu, tak se udává životnost až šest let. Baterie těchto akumulátorů se vyrábějí v kapacitách řádově od 1 do 10 000 Ah (Kubartová, 2008).

Vybíjení olověného akumulátoru

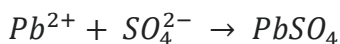
Jde o elektrický proud, který vzniká na základě probíhající samovolné reakce.

Čistá olověná elektroda

Jedná se o stav, kdy se na anodové elektrodě uvolňují elektrony, záporně se nabíjí a dochází k oxidaci



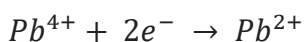
Doprovodná reakce



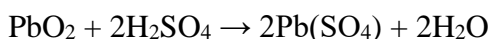
Jde o stav, kdy se elektroda pokrývá síranem olovnatým $PbSO_4$.

Olověná elektroda pokrytá oxidem olovičitým PbO_2

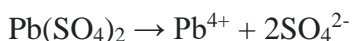
Toto nastává, pokud na katodovou elektrodu přicházejí elektrony a vytváří se kladný pól článku, na kterém dochází k redukci.



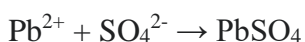
Dochází také na některé doprovodné reakce.



- H_2O voda způsobující ředění elektrolytu



-Zdroj olovičitých iontů Pb^{4+}



-Elektroda se pokrývá síranem olovnatým $PbSO_4$

Při vybíjení akumulátoru voda způsobuje ředění elektrolytu a na elektrodě vzniká nerozpustný síran olovnatý $PbSO_4$.

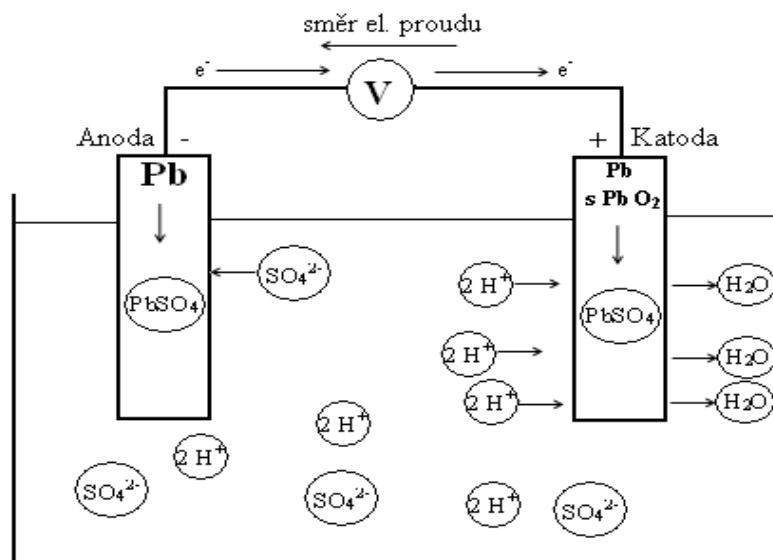
Celkový vybíjecí proces akumulátoru



Schéma článku: $Pb \mid 20 \div 30 \% H_2SO_4 \mid Pb$ (Kubartová, 2008)

(-)

(+)



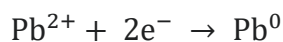
Obrázek 12 - Vybíjení olověného akumulátoru

Nabíjení olověného akumulátoru:

Nastává, pouze pokud na elektrody připojíme zdroj napětí, při kterém dochází k průchodu elektrického proudu a probíhá chemická reakce.

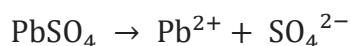
Olověná čistá elektroda, pokrytá nerozpustným PbSO_4

Toto se stane, pokud na záporné elektrodě (katodě) dochází k redukci, která přijímá elektrony. Tato elektroda se připojí k zápornému zdroji napětí.



Doprovodná reakce:

Na elektrodě probíhá rozklad síranu olovnatého, který je zdroj olovnatých iontů Pb^{2+}



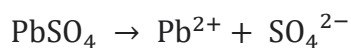
Čistý povrch elektrody – pouze olovo Pb

Olověná elektroda s oxidem olovičitým PbO_2 , pokrytá nerozpustným síranem olovnatým PbSO_4

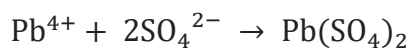
Z této kladné elektrody článku odvádíme elektrony. U elektrody dochází k oxidaci. Elektrodu nazýváme anodou. Tato elektroda se připojí ke kladnému pólu zdroje napětí.



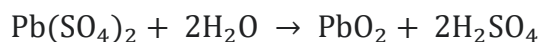
Doprovodné reakce



Rozklad síranu olovnatého PbSO_4 na kladné elektrodě



Tvorba síranu olovičitého $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$



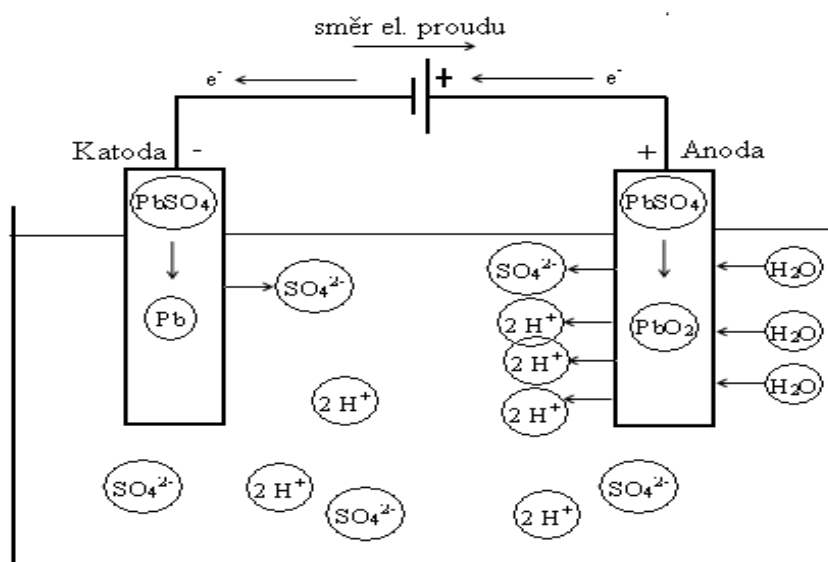
Kyselina sírová H_2SO_4 zahušťuje elektrolyt, poté vzniká oxid olovičitý PbO_2

Celkový nabíjecí proces akumulátoru

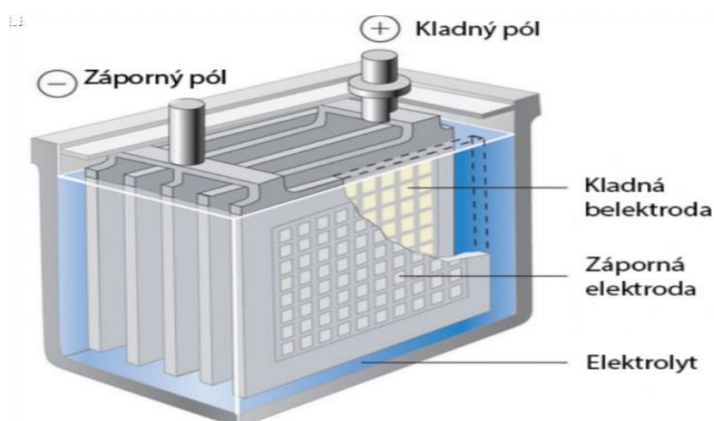


Tento obrázek znázorňuje nabíjecí proces oloveného akumulátoru. Nabíjení probíhá až po připojení vnějšího zdroje napětí. Je to opačný děj oproti vybíjení oloveného akumulátoru.

Oproti vybíjení probíhají opačné chemické reakce. Elektrické pole způsobí rozklad molekuly vody a síranu olovnatého, kde vznikají molekuly kyseliny sírové. Tímto se zvyšuje měrná hustota elektrolytu do doby, než se rozpustí všechnen síran olovnatý. Až se rozpustí celý síran olovnatý, tak se začne spotřebovávat nabíjecí proud na elektrolýzu vody, při které vzniká kyslík a vodík. Bylo by dobré při provádění tohoto procesu mít odvětrání místnosti, protože tyto plyny jsou výbušné (Kubartová, 2008).



Obrázek 13 - Nabíjení oloveného akumulátoru

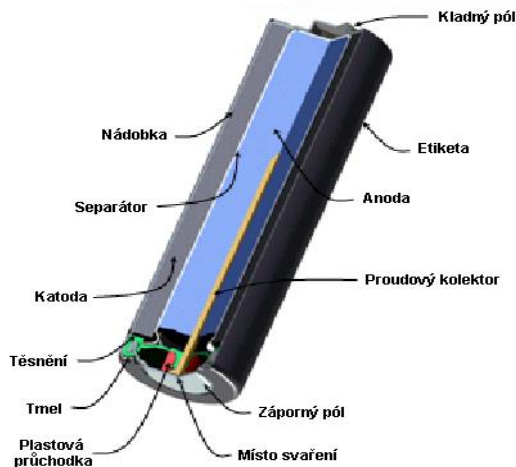


Obrázek 14 - Řez olověného akumulátoru

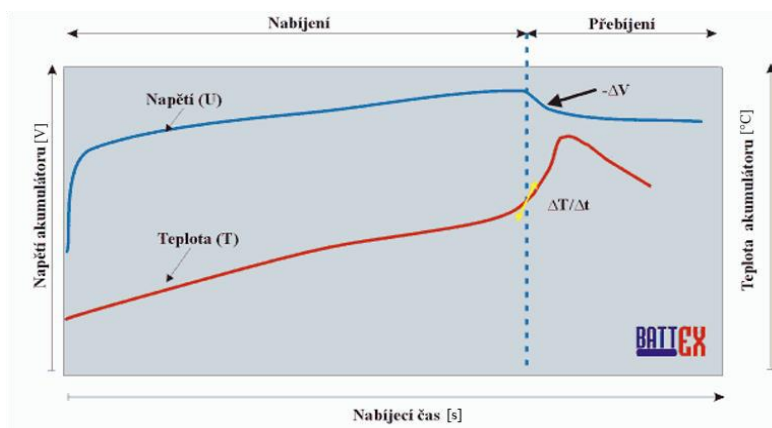
1.6.3 Alkalické akumulátory

Alkalické akumulátory jsou nabíjecí články, mezi které patří nikl-železné (Ni-Fe), nikl-metal hydridové (Ni-MH), nikl-kadmiové (zkráceně NiCd) akumulátory. Název akumulátoru je odvozen od elektrolytu. Je tvořen roztokem hydroxidu draselného. Elektrochemické články jsou tvořeny elektrolytem a elektrodami v uzavřeném pouzdru. Záporný i kladný pól mají co největší porézní povrch, aby bylo docíleno co nejmenšího vnitřního odporu. Záporná elektroda je tvořena děrovanou ocelovou folií, která je podle typu pokryta železem, kadmíem u NiCd a slitinou kovu s nikl-metal hydridem u Ni-MH. Kladná elektroda akumulátoru je vysoce porézní niklový substrát hydroxidu niklu, do kterého jsou vkládány další niklové příměsi. Kladná i záporná elektroda je oddělena separátorem a ponořena do elektrolytu. Dříve byly na trhu nikl-kadmiové akumulátory, ale dnes z důvodu nízké kapacity a jedovatého kadmia se nepoužívají. Dalším vývojem akumulátorů byly nikl-metalhydridové články, které mají možnost velkého odběru proudu do různých přístrojů, například digitálních fotoaparátů, akumulátorových vrtaček, ...

Výhodou alkalických akumulátorů je, že jim nevádí skladování ve vybitém stavu. Určitou nevýhodou ve srovnání s NiMH a Li-ion akumulátory je jeho relativně nižší měrná kapacita. Problematickým rysem tohoto akumulátoru je jedovatost kadmia, z kterého se skládá záporná elektroda, a tedy nezbytnost sběru opotřebovaných NiCd akumulátorů (stejně jako v případě Pb akumulátorů). Svými vlastnostmi se jinak podobá novějšímu NiMH akumulátoru. Napětí jednoho článku je 1,2 V. Úplně nabitý článek dosahuje napětí k 1,35 V a vybitý článek má kolem 0,8-1,0 V (Marek, 2009, Kubartová, 2008).



Obrázek 15 - Alkalický akumulátor



Obrázek 16 – Nabíjecí průběh Ni-MH akumulátoru

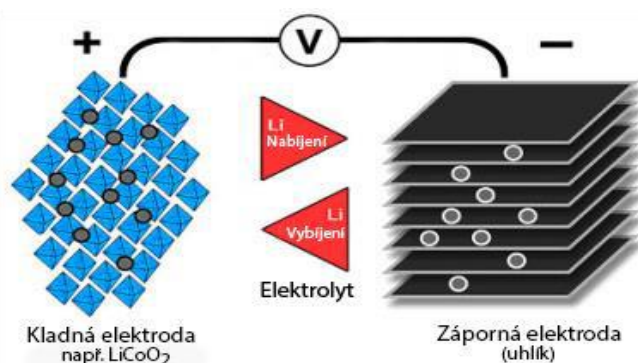
1.6.4 Lithiové akumulátory

Po objevení primárních lithiových článků přišly na svět také sekundární lithium-iontové (Li-ion) články. Chemické sloučeniny tvořící kladnou elektrodu jsou: oxid kobaltlithný LiCoO_2 , oxid manganičitolithný LiMn_2O_4 , lithium železo fosfát LiFePO_4 , lithium nikl mangan oxid kobaltu LiNiMnCoO_2 , lithium titanát $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ a lithium nikl kobalt oxid hlinitý LiNiCoAlO_2 , mají různé vlastnosti článků napětí, kapacitu a různé požadavky při nabíjení. Záporná elektroda je tvořena směsí obsahující uhlík nebo lithium (Pindřák, 2019).

Pokud je elektrolyt v pevném stavu, tak tento druh článku nazýváme Li-pol lithium-polymerové články. Princip Li-ion článku je přenos lithiových iontů mezi elektrodami. Vybíjecí proces akumulátoru je dán tím, že putují ionty ze záporné elektrody do kladné a při nabíjení

tomu je naopak. Výhodou Li-ion článků je vysoká kapacita, získaná energie, vysoké napětí, větší počet cyklů a nízká hmotnost. Nevýhodou je velký vnitřní odpor a malý teplotní rozsah.

Li-ion články mají velké možnosti použití kvůli svým výhodám. Tyto články hlavně používáme v mobilních telefonech, noteboocích, tabletech a také v elektromobilech. Výrobní technologie umožňuje vyrábět v mnoha variantách, od velmi tenkých a plochých, které jsou v mobilních telefonech, tak také válcových v noteboocích. Jmenovité napětí akumulátoru je nejčastěji 3,6 V (Kubartová, 2008).



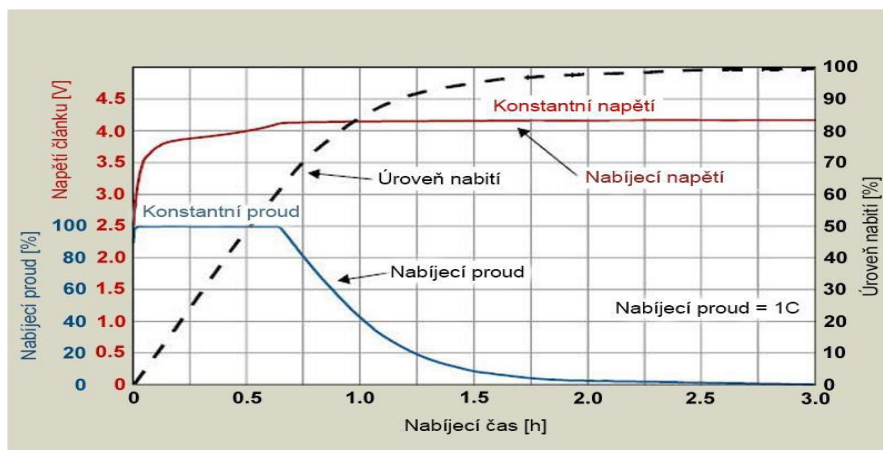
Obrázek 17 - Princip činnosti Li-ion akumulátoru

Vybíjecí proud, udává se v ampérech (A) nebo miliampérech (mA). Důležitý údaj je proud, jehož velikost odpovídá číselné hodnotě kapacity akumulátoru, označuje se jako 1C (např. pro akumulátor 1700 mAh je 1 C = 1,7 A).

Tabulka 4 - Porovnání vlastností Li-Ion článků

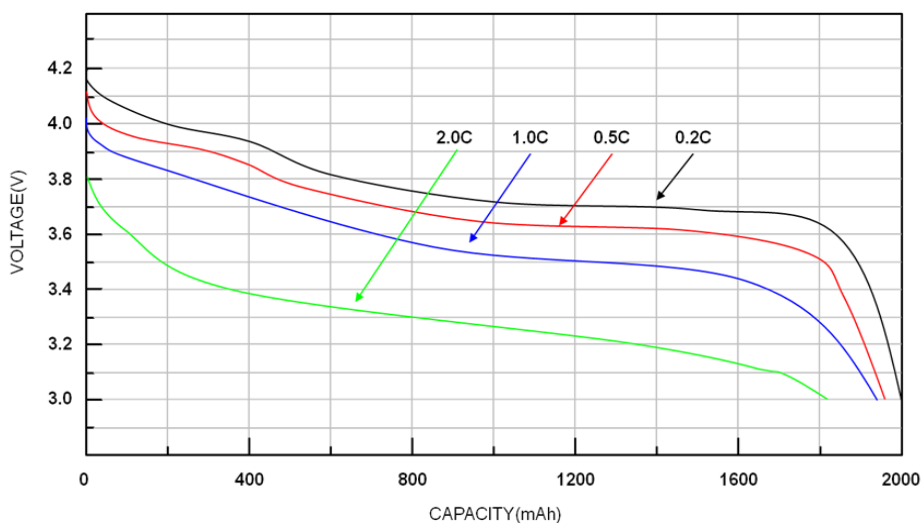
Chemická sloučenina	Jmenovité napětí článku, V	Hustota energie, Wh/kg	Počet cyklů	Vybíjecí proud, C
LiCoO ₂	3,6	150-200	500-1000	1
LiMn ₂ O ₄	3,7	100-150	300-700	1-30
LiNiMnCoO ₂	3,6-3,7	150-220	1000-2000	1-2
LiFePO ₄	3,2-3,3	90-120	1000-2000	1-40
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	2,4	50-80	3000-7000	1-30
LiNiCoAlO ₂	3,6	200-260	500	1

Pro články v kladné elektrodě, obsahující kobalt, platí tato nabíjecí charakteristika



Obrázek 18 - Nabíjecí charakteristika Li-Ion článku obsahující

Vybíjecí charakteristiky Li-ion akumulátoru jsou odlišné při různých hodnotách proudu.



Obrázek 19 - Vybíjecí charakteristiky Li-Ion baterie

1.6.5 Základní vlastnosti baterií

Tabulka 5 je pouze informativní a záleží na použití chemických sloučenin pro elektrolyt a elektrody. V tabulce jsou použity minimální a maximální hodnoty. Jedná se o porovnání nejpoužívanějších baterií a akumulátorů. Záleží také na hloubce vybití a provozní teplotě (Pind'ák, 2019).

Tabulka 5 - Porovnání základních vlastností nejpoužívanějších baterií

Druh baterie	Typ baterie	Jmenovité napětí článku, V	Hustota energie, Wh/kg	Samovybíjení, %/měsíc	Počet cyklů	Kapacita AA článku, mAh
Zinkové	Nenabíjecí	1,5	65-130	0,3-0,4	X	400-1700
Alkalické	Nenabíjecí	1,5	200	0,2	X	1800-2600
Lithiové	Nenabíjecí	3	200-300	0,1	X	2500-3400
Olověné	Nabíjecí	2	30-50	5	200-300	X
NiCd	Nabíjecí	1,2	40-80	20	1000	600-1000
NiMH	Nabíjecí	1,2	60-120	30	300-500	800-2700
Li-lion	Nabíjecí	2,4-3,7	100-250	3,5	500-2000	X

1.7 Kam s vybitými články

Co dělat s vybitými články? Určitě není dobré vybité baterie či akumulátory házet do směsného komunálního odpadu. Každá baterie obsahuje toxické jedovaté látky, jako je rtuť, olovo, nikl, kadmium a mnoho dalších látek. Proto je dobré tyto baterie odevzdat do sběrného koše, který je k tomu uzpůsoben. Do těchto boxů nebo sběrných dvorů, bychom měli odevzdávat i mobilní telefony, notebooky, autobaterie, celkově veškerou elektroniku.

2 Praktická část

Úplně na začátku jsem si připravil všechny potřebné součástky: tester, akumulátory, multimetr, laboratorní zdroj a výkonné rezistory. Poté jsem jednotlivé akumulátory vybíjel různou hodnotou proudu. Hodnota vybíjecího proudu se odvíjela podle hodnoty rezistoru. Při vybíjení nebo nabíjení akumulátoru jsem si zapisoval postupné hodnoty do tabulky. Z těchto hodnot jsem vytvořil jednotlivé grafy vybíjecích a nabíjecích charakteristik.

Všechny typy akumulátoru, u kterých jsem zjišťoval kapacitu, byly akumulátory novými, to je dobré zmínit, aby byla co nejlepší přesnost měření. Kapacita se odvíjí od počtu cyklů. Také je rozhodující stav nabití, nebo kdy akumulátor byl naposledy nabit, protože dochází k tzv. samovybíjení. Aby byla kapacita akumulátoru dodržena, tak hodně záleží na teplotě okolí a vybíjecím proudu.

Všechna měření probíhala při pokojové teplotě kolem 21 °C. Kdyby byla okolní teplota nižší, tak bychom nemohli dosáhnout udávané maximální kapacity. Při okolní teplotě -10 °C, je kapacita akumulátoru pouze 50 % své kapacity, při 0 °C už má kapacitu 80 %, při 15 °C 90 % a při 25 °C do max 40 °C lze využít 100 % kapacity akumulátoru.

2.1 Měření kapacity baterie

Výpočet kapacity akumulátoru se provádí podle vzorce pro výpočet kapacity

$$Q = I \times t \quad (3.1)$$

kde Q – kapacita, Ah,

I – proud, A,

t – čas, h.

Výpočet energie akumulátoru

$$E = Q \times U \quad (3.2)$$

kde E – elektrická energie, Wh,

Q – kapacita, Ah,

U – napětí akumulátoru, V.

2.2 Vybíjecí charakteristiky akumulátorů

Všechny vybíjecí charakteristiky jednotlivých akumulátorů byly měřeny pomocí testeru HW-586, který jsem si zakoupil.

U prvního akumulátoru, u kterého jsem zjišťoval kapacitu, byl Li-ion 18650 3,7 V a udávaná kapacita výrobce je 2200 mAh.

Změřená kapacita při proudu cca 1 A byla 2133 mAh. Hodnota proudu je závislá na vybíjecím odporu a vypočítá se podle Ohmova zákona $U = R \times I$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3,8}{3,75} \sim 1 \text{ A} \quad (3.3)$$

kde I – proud, A,

U – napětí, V,

R – odporová zátěž, Ω .

Výpočet kapacity:

$$Q = I \times t \quad (3.4)$$

$$Q = 0,947 \times 136 / 60 \times 1000$$

$$Q = 2133 \text{ mAh}$$

Výpočet dodaná energie baterii

$$E = Q \times U \quad (3.5)$$

$$E = 2,133 \times 3,85$$

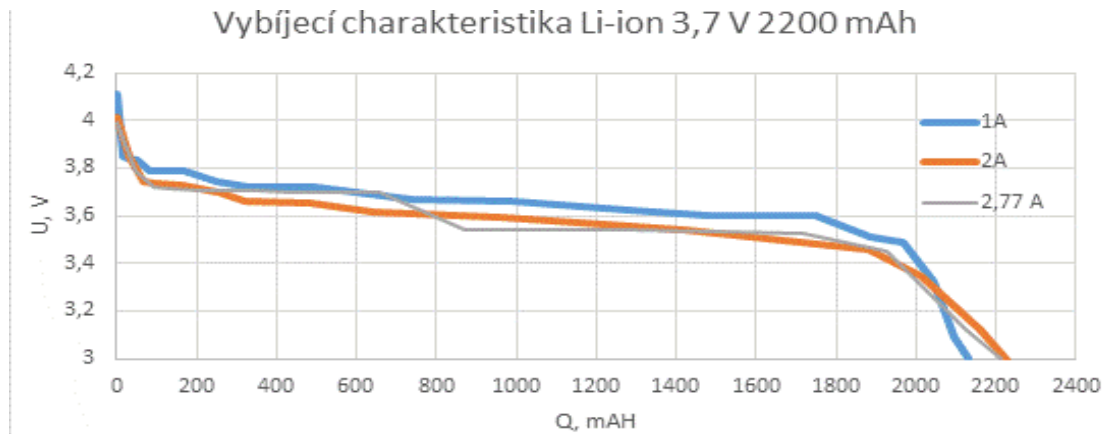
$$E = 8,21 \text{ Wh}$$



Obrázek 20 - Li-ion akumulátor

Na grafu jsou znázorněny vybíjecí charakteristiky Li-ion článku o napětí 3,7 V a kapacitě 2200 mAh. Jak je vidět, ne vždy se při vybíjení dosáhne plné kapacity, při větším zatížení rychleji klesá napětí. Tento typ článků je hodně využíván v přenosných baterkách (čelovkách). Průběh s nejnižším vybíjecím proudem si vedl po celou dobu lépe, ale nedosáhl nejvyšší kapacity, jenom 2133 mAh. Z grafu je vidět, že nezáleží na velikosti vybíjecího

proudu, protože se napětí drželo dost dlouho kolem 3,7 V a dosáhlo pokaždé k určené kapacitě akumulátoru výrobcem.

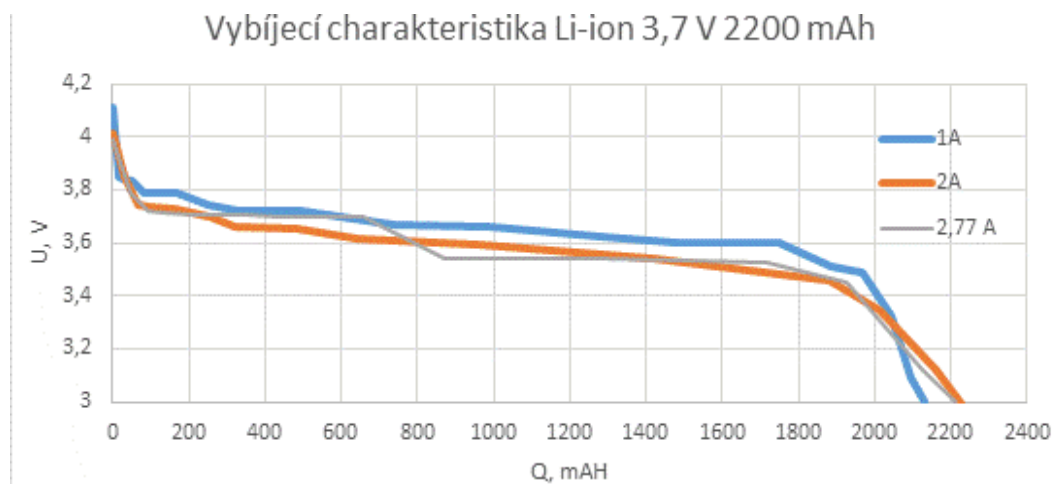


Obrázek 21 - Vybíjecí charakteristiky Li-ion akumulátoru

Ukázka hodnot, při vybití Li-ion akumulátoru, zbylé hodnoty budou přidány v příloze bakalářské práce

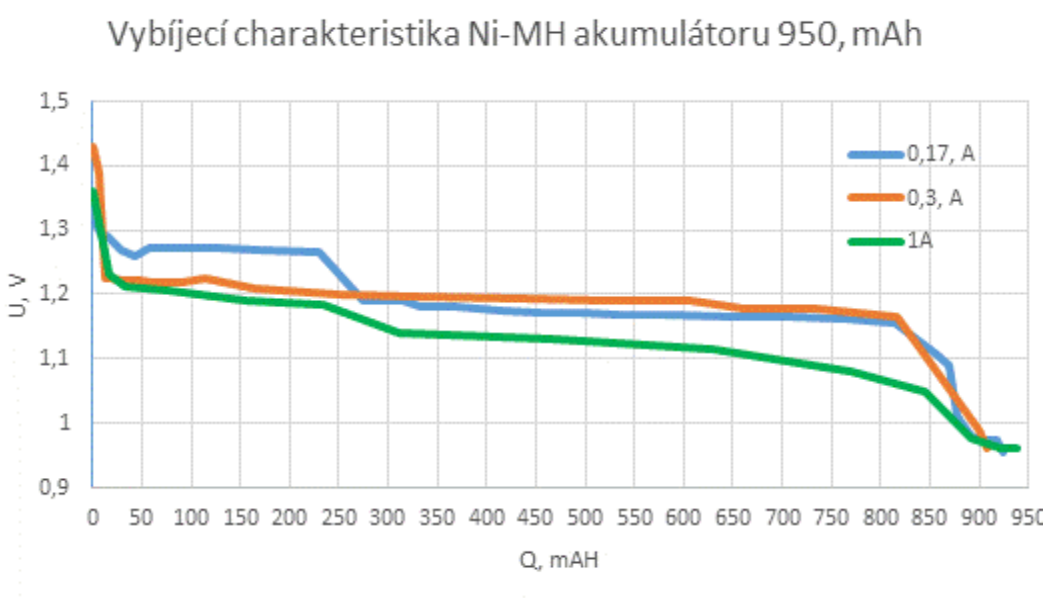
Tabulka 6 - Hodnoty Li-ion akumulátoru

t, min	U, V	I, A	Q, mAh
0	4,01	1,987	0
1	3,85	1,978	33
2	3,74	1,957	65
3	3,738	1,952	98
5	3,726	1,949	162
8	3,7	1,935	258
10	3,658	1,933	322
15	3,65	1,936	484
20	3,612	1,935	645
30	3,59	1,924	962
45	3,542	1,899	1424
60	3,458	1,882	1882
65	3,342	1,857	2012
70	3,124	1,854	2163
72,3	2,99	1,85	2229
Odporová zátěž 2 Ω			



Obrázek 22 – Graf vybíjecí charakteristiky Li-ion akumulátoru

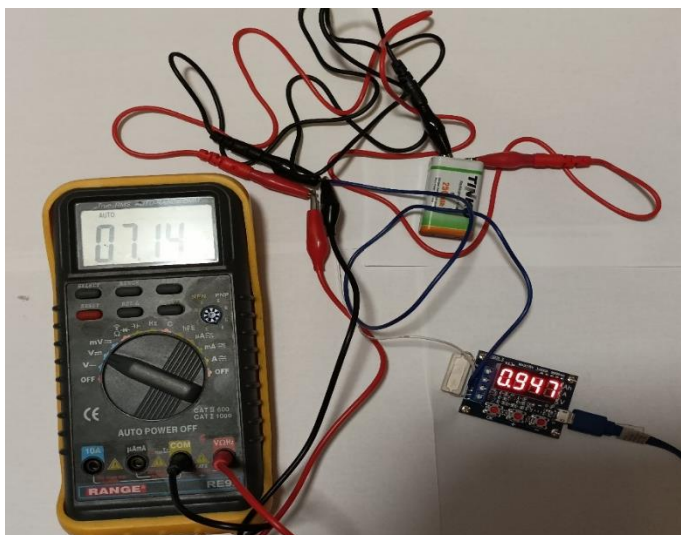
Dalším typem, u kterého je vidět znázornění vybíjecí charakteristika, byl akumulátor AAA Ni-MH 1,2 V o velikosti kapacity 950 mAh. Zase se jedná o nově zakoupený akumulátor. U tohoto akumulátoru je vidět, že čím větší vybíjecí proud, tím klesá rychleji napětí pod danou úroveň.



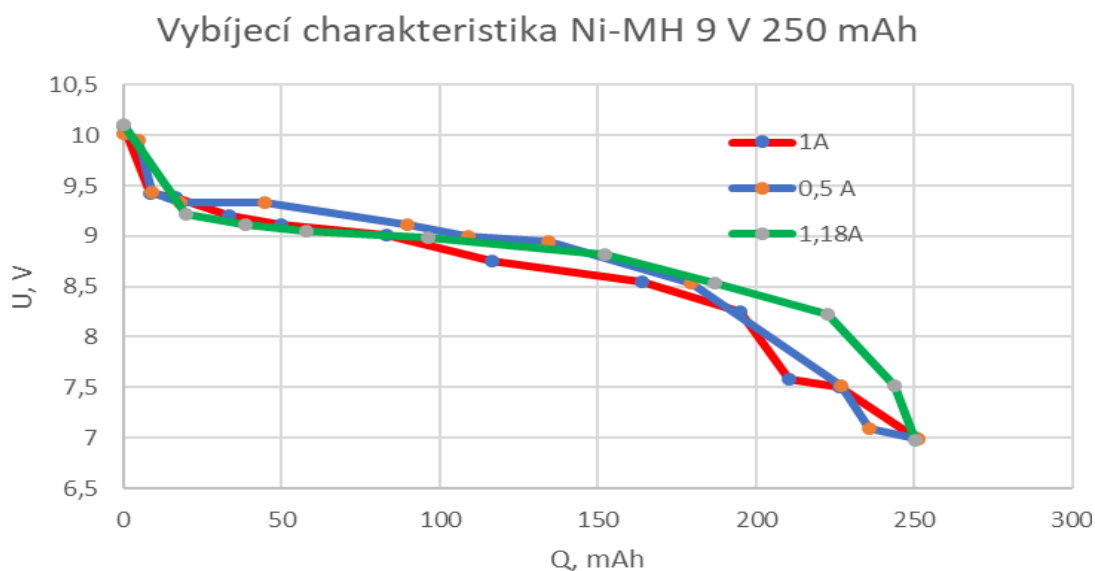
Obrázek 23 - Graf vybíjecí průběhy Ni-MH AAA akumulátoru

Tento akumulátoru měl při prvním měření rychlejší pokles napětí. Je to asi z důvodu, že nebyl plně naformátován, i když jsem ho před prvním vybíjením nabil. Jako všechny akumulátory, než byly poprvé použity.

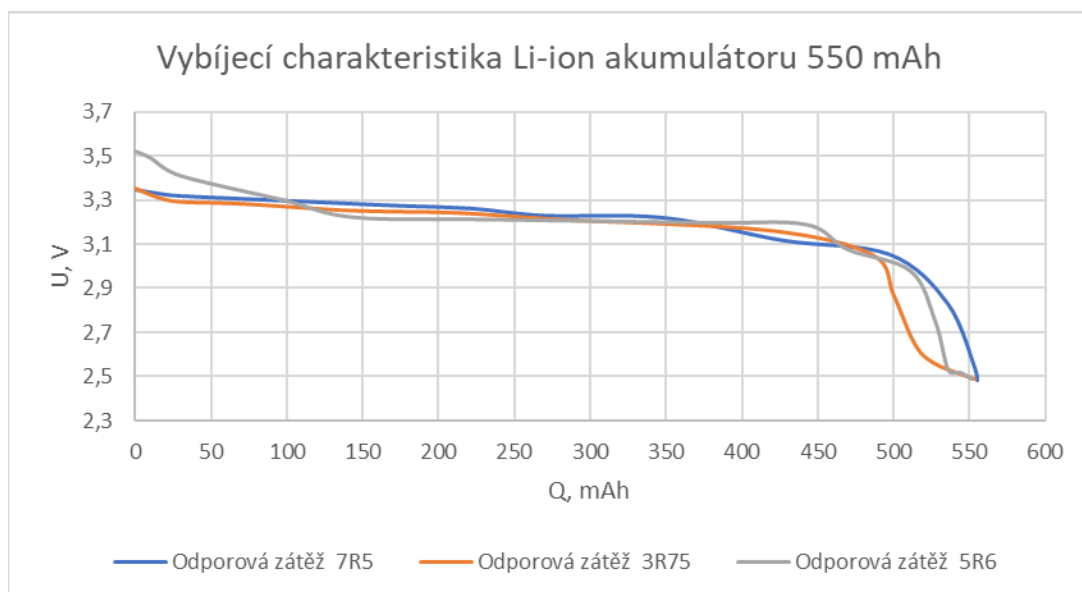
Ukázka vybíjení akumulátoru pomocí koupeného, již zmíněného, přípravku testeru článků, kde lze nastavit minimální hodnota napětí, pod kterou se akumulátor nesmí dostat a poté akumulátor tester odpojí od zátěže. Tento přípravek ukazuje na displeji napětí ve voltech, odebíraný proud v ampérech a kapacitu v Ah. Napájení testeru je pomocí zdroje micro-USB 5 V. Na krajní svorky se připojuje odporová zátěž a na prostřední akumulátor, u kterého chceme zjistit celkovou kapacitu akumulátoru.



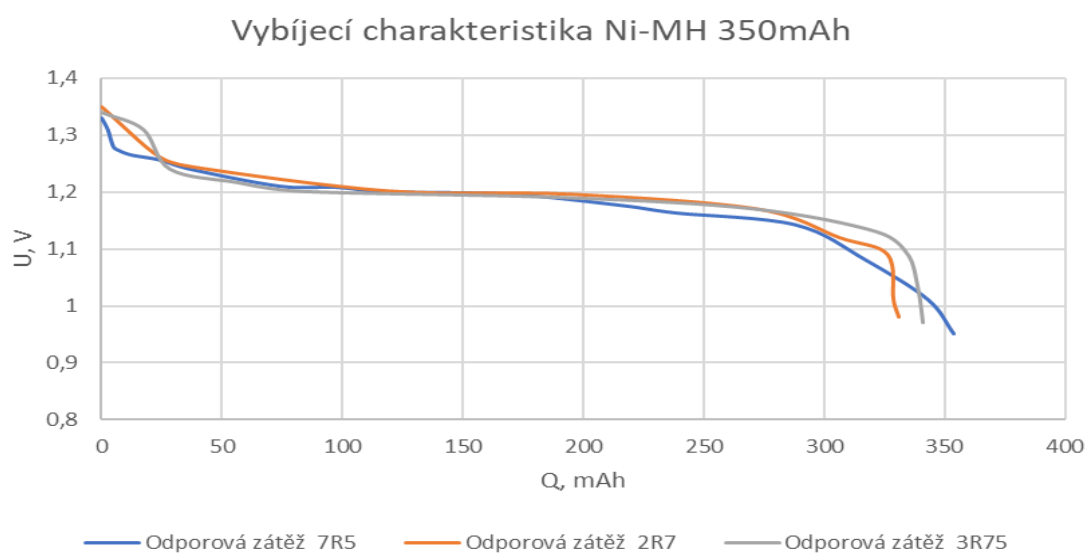
Obrázek 24 - Ukázka vybíjení 9 V akumulátoru



Obrázek 25 - Graf vybíjecí průběhy Ni-MH 9 V akumulátoru



Obrázek 26 - Graf vybíjecí charakteristiky Ni-MH akumulátoru 550 mAh



Obrázek 27 - Graf vybíjecí průběhy Ni-MH akumulátoru 350 mAh

2.3 Nabíjecí charakteristiky

Abych mohl získat hodnoty a ty potom znázornit do grafu, tak jsem si musel připravit laboratorní zdroj, který mi držel konstantní nastavené napětí a maximální proud, který umožnil akumulátor. Jak je vidět, tak i když akumulátor měl stejné napětí, ale rozdílnou kapacitu, tak hodnota proudu byla různá. Na zdroji bylo vidět, že když akumulátor dosáhl plné kapacity, tak dodávaný proud klesl maximálně do dvou minut na nulu.

U těchto druhů nabíjecích charakteristik byl měřen jenom jeden průběh, protože nebyly dávány proudové zátěže z důvodu nabíjení přes laboratorní zdroj. Je to z důvodu životnosti akumulátorů. Rychlé nabíjení není dobré pro akumulátory. Potom by ztrácely rychleji svoji kapacitu. U všech typů akumulátorů jsem si zaznamenával proud, napětí a čas. Z těchto hodnot jsem poté sestrojil nabíjecí charakteristiky jednotlivých akumulátorů.

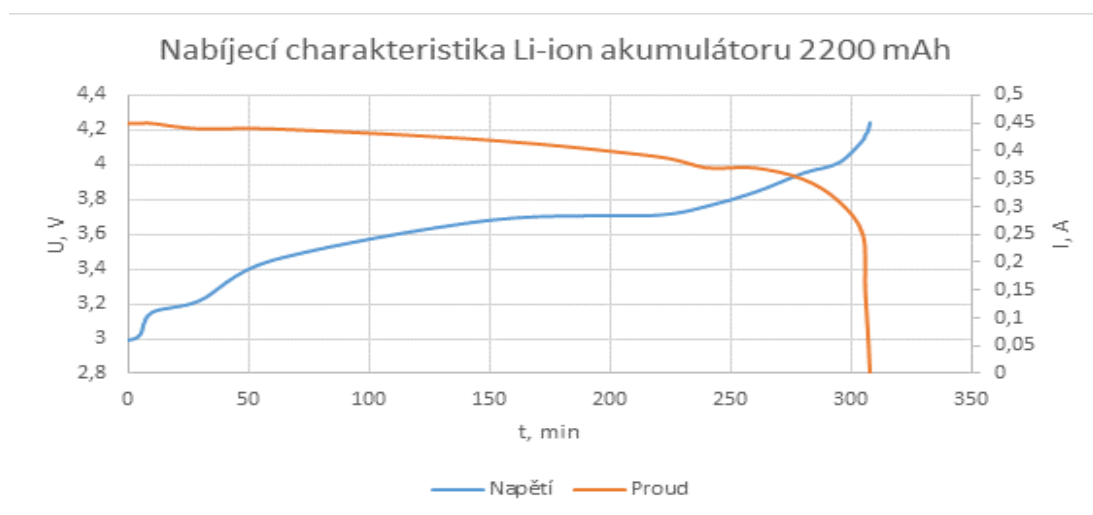
$$Q = \frac{t}{60} I \times 1000 \quad (3.5)$$

kde Q – kapacita, mAh,

t – čas, min,

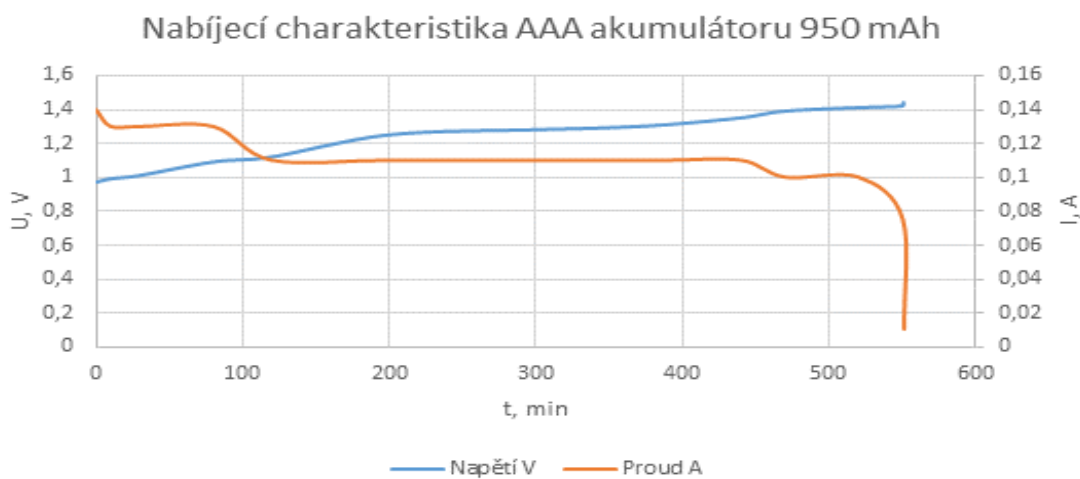
I – proud, A.

U Li-ion akumulátoru 18650 3,7 V o kapacitě 2200 mAh byla při nabíjení tohoto akumulátoru za pomoci zdroje, z vypočítaných hodnot zjištěna kapacita 2119 mAh.



Obrázek 28 - Graf nabíjecí průběh Li-ion akumulátoru

Akumulátor AAA o udávané kapacitě výrobcem 950 mAh, při nabíjení dosáhl 1038 mAh.

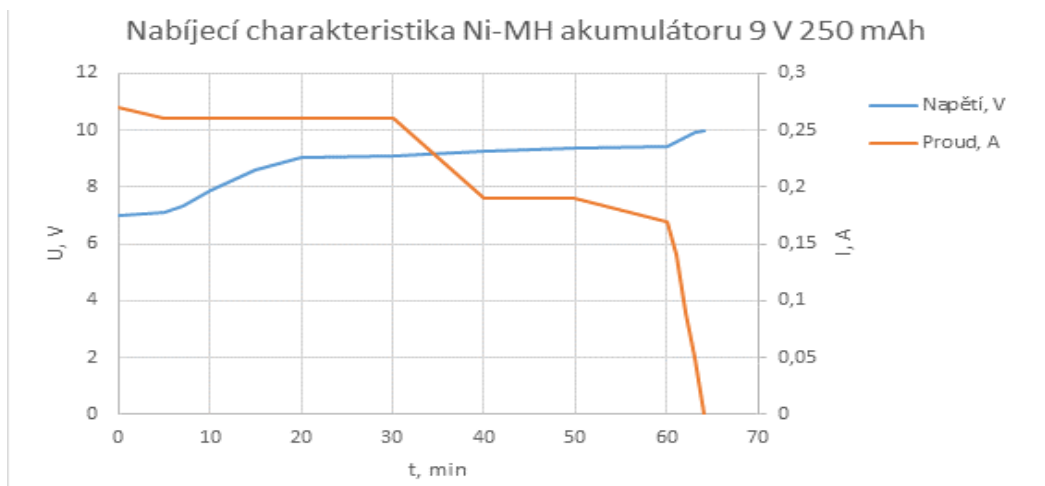


Obrázek 29 - Graf nabíjecí průběh Ni-MH AAA akumulátoru



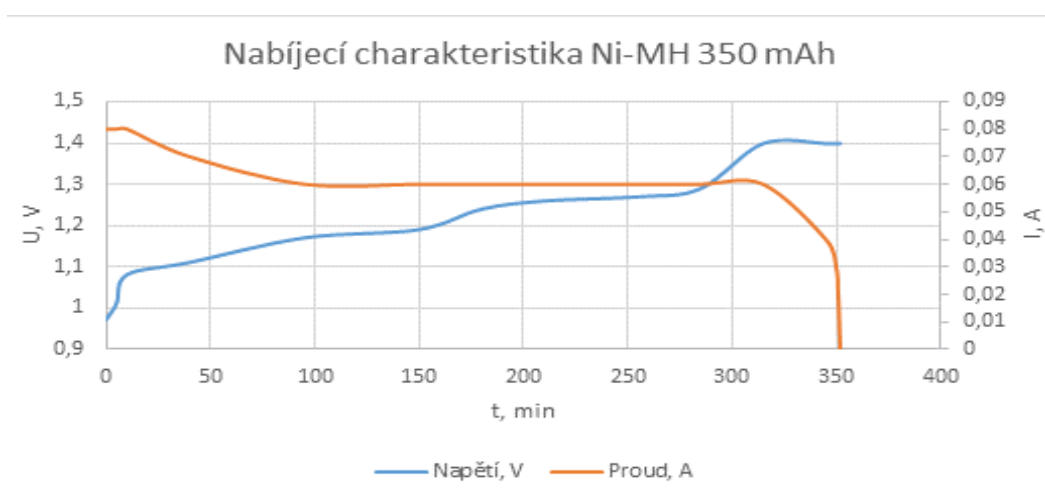
Obrázek 30 - Ukázka nabíjení AAA Ni-MH akumulátoru

Udávaná kapacita 9 V akumulátoru Tinko je 250 mAh, ale naměřená kapacita při nabíjení dosáhla jenom 245 mAh. Není to o moc oproti udávané kapacitě, ale každá mAh je znát, když akumulátor používáme v zařízení.



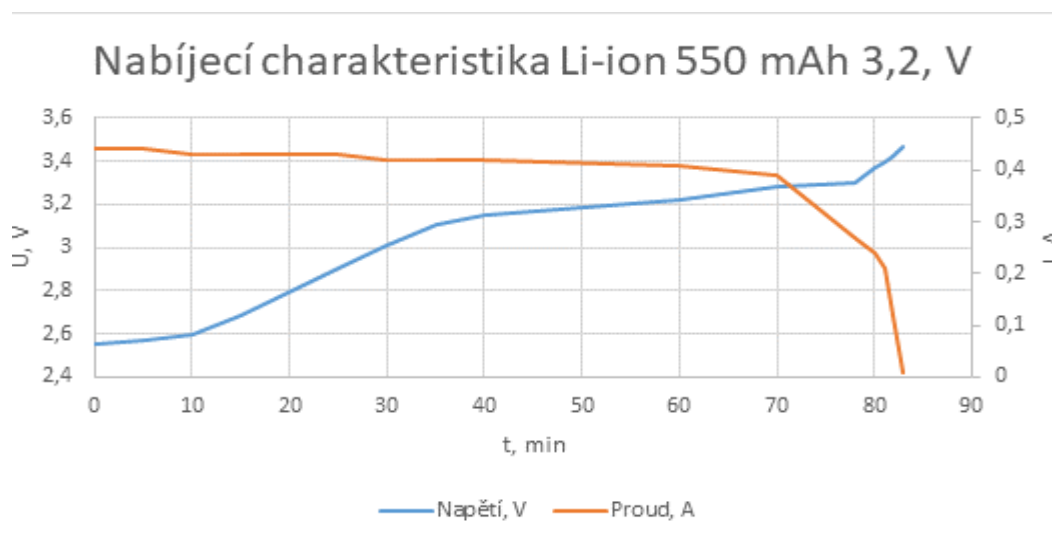
Obrázek 31 - Graf nabíjecí průběh Ni-MH 9 V akumulátoru

Akumulátor Tinko H320BC Ni-MH 1,2 V a kapacitě 350 mAh, naměřená kapacita pomocí zdroje byla 372 mAh.



Obrázek 32 - Graf nabíjecí průběh Ni-MH knoflíkový akumulátoru

Poslední typ akumulátoru, byl Li-ion $LiFePo_4$ o napětí 3,2 V a o kapacitě 550 mAh. Naměřená kapacita tohoto akumulátoru byla 566 mAh.

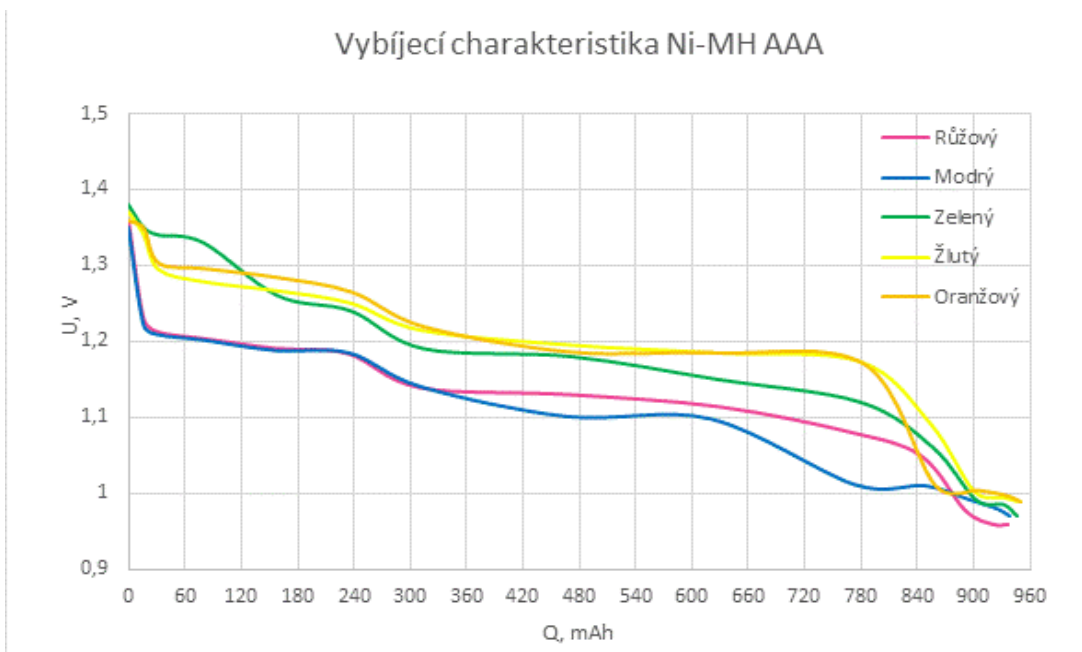


Obrázek 33 - Graf nabíjecí průběh Li-ion 3,2 V akumulátoru

2.3.1 Vybíjecí a nabíjecí charakteristiky na různých kusech stejného typu

V poslední části této práce bylo cílem znázornit charakteristiku jednoho typu akumulátoru na různých kusech stejného typu. V mém případě se jednalo o akumulátor Ni-MH 1,2 V a kapacitě 950 mAh značky Tronic I energy eco. I když se jednalo o stejný typ akumulátoru, stejnou odporová zátěž 1R3 a stejný čas zapisování hodnot, výsledná vybíjecí charakteristika byla i tak odlišná. Každý akumulátor má jiný průběh vybíjení. Celé průběhy můžeme vidět znázorněné v grafu níže. Celková kapacita jednotlivých akumulátorů byla dosti podobná. Nejlepší průběh má oranžový akumulátor, protože drží po většinu doby vybíjecí napětí kolem 1,2 V a také dosáhl největší kapacity.

Modrému akumulátoru v polovině své kapacity kleslo napětí k 1,1 V, což není pro daný akumulátor dobré, protože na konkrétním zařízení může dojít dřív k přerušení dodávky energie do zařízení. Pokud by byly zapojeny dva nebo více akumulátorů, buď v sérii anebo paralelně, tak by takové zapojení nemuselo fungovat, protože jeden z akumulátorů bude dříve vybitý.

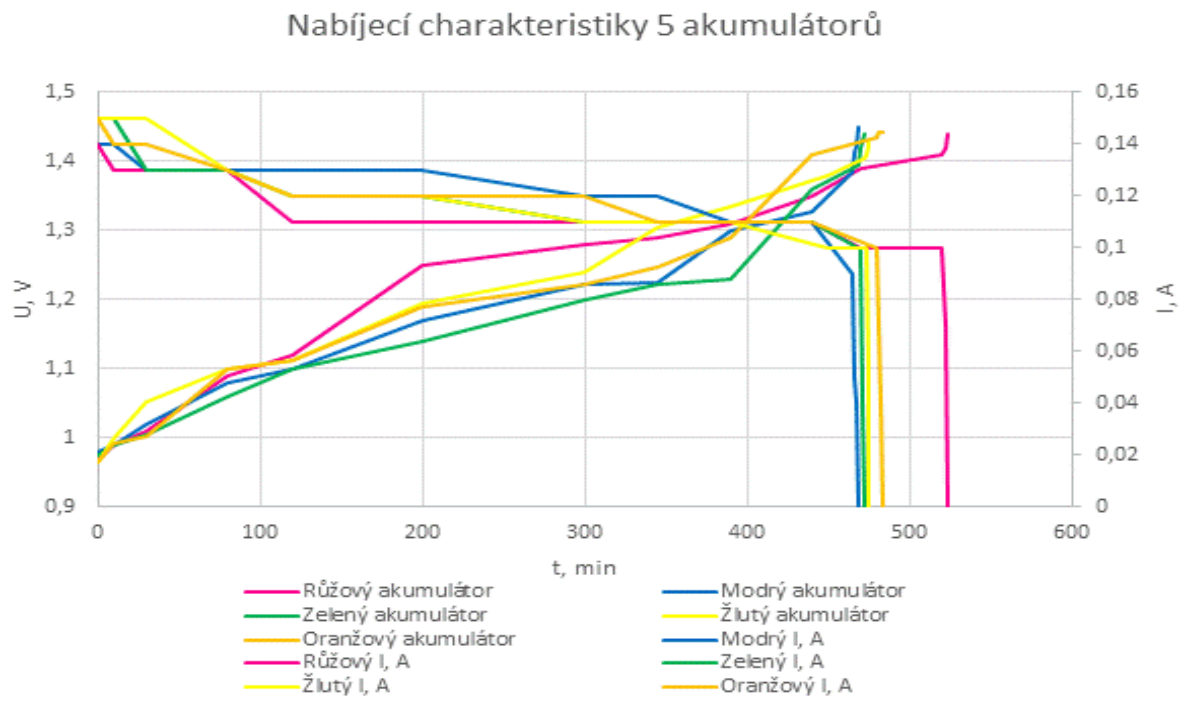


Obrázek 34 - Vybíjecí charakteristika stejného typu, ale na různých kusech

Z grafu je vidět jednotlivé nabíjecí charakteristiky, i když se jedná o stejný akumulátor, tak charakteristiky jsou odlišné. V tabulce jsou vidět maximální kapacity jednotlivých článků.

Tabulka 7 - Celkové kapacity jednotlivých nabíjecích akumulátorů

Barva	Q, mAh
Růžový akumulátor	991
Modrý akumulátor	976
Zelený akumulátor	944
Žlutý akumulátor	963
Oranžový akumulátor	976



Obrázek 35 - Nabíjecí charakteristika stejného typu, ale na různých kusech

2.3.2 Použité součástky

Tabulka 8 - Použité součástky

Laboratorní zdroj KPS 3010D, 0-30, V, 0-10, A
Tester článků a baterií HW-586 měřič kapacity do 9999, Ah Odporové zátěže
Akumulátory: Li-ion, AAA, 9 V
Multimetr Range RE92
Měřicí šňůry



Obrázek 36 - Použité součástky

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování přehledu konstrukce a vlastností elektrochemických zdrojů a naměřit jednotlivé nabíjecí a vybíjecí charakteristiky akumulátorů. V první části je zpracováno základní rozdělení jednotlivých baterií a akumulátorů. Také jsou zmíněny výhody, nevýhody a základní přehled nejpoužívanějších baterií.

I když každý akumulátor má svoji danou kapacitu od výrobce, tak ne vždy dosáhne svojí kapacity, což je vidět na grafech. Záleží na hodnotě vybíjecího proudu. Každý akumulátor má své výhody i nevýhody, záleží především na typu využití.

Jako nejlepší akumulátor se jeví Li-ion, není to z důvodu své největší kapacity, ale počtu nabití a vybití. U akumulátoru Ni-MH AAA 1,2 V není dobré vybíjet vysokým proudem, protože není schopen držet delší dobu konstantní napětí.

Vybíjecí charakteristiky jsou přesnější než nabíjecí, je to z důvodu, že byly měřeny pomocí testeru akumulátoru, který ukazoval celkovou kapacitu vybití. U nabíjecí to bylo počítáno pomocí vzorce a přesnost se může lišit.

V poslední řadě bych chtěl říct, že každý akumulátor dosáhl své maximální kapacity, který byl udáván výrobcem.

POUŽITÁ LITERATURA

- BRABEC, Petr a Filip BARTŮNĚK. Svítidla na baterie – Část 1. *Odborné časopisy* [online]. Praha: FCC public, 2012 [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/elektrina-a-magnetismus/elektricky-proud-v-kapalinach-a-plynech/galvanicke-clanky-a-akumulatory>
- BŘÍŽĎALA, Jan. Řada napětí kovů. *E-chembook* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: <http://e-chembook.eu/rada-napeti-kovu>
- CETL, Tomáš, Primární galvanické články a jejich porovnání. *Elektro časopis pro elektrotechniku* [online]. 2014 [cit. 2021-8-1]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/primarni-galvanicke-clanky-a-jejich-porovnanii--13134>
- Galvanický článek. *Wikipedie* [online]. 2021 [cit. 2021-8-1]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Galvanick%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek
- KUBARTOVÁ, Pavlína. *Elektrochemické děje v úlohách ve výuce fyziky a chemie na základní škole* [online]. Brno, 2008 [cit. 2021-8-12]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/yppyg/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Josef TRNA
- MAREK, Jiří, STEHLÍK, Luděk. Alkalické baterie. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. 2009 [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkove-primarni-clanky/alkalicke-baterie>
- MAREK, Jiří, STEHLÍK, Luděk. Leclanchéova baterie. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. 2009 [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkoveprimarni-clanky/leclancheova-baterie>
- MAREK, Jiří, STEHLÍK, Luděk. Nabíjení hermetických NiMH akumulátorů [online]. 2009 [cit. 2021-6-12]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nimh-akumulatoru>
- MAREK, Jiří, STEHLÍK, Luděk. Zinkochloridová baterie. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. 2009 [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkoveprimarni-clanky/zinkochloridova-baterie>
- Nernstova rovnice. *Wikipedie* [online]. 2021 [cit. 2021-8-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nernstova_rovnice
- NOVOTNÝ, Jiří. Svítidla na baterie – Část 1. *Odborné časopisy* [online]. Praha: FCC public, 2012 [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nimh-akumulatoru>

NOVOTNÝ, Vladimír, Viera SLÁDKOVÁ a Karol DAUČÍK. *Fyzikální chemie pro 3. ročník středních průmyslových škol chemických*. 4. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975.

PINĎÁK, Lukáš. *Měřič kapacity Li-Ion a NiMH akumulátorů* [online]. Brno, 2018 [cit. 2021-8-16]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191887.
Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně.

ROVNOVÁŽNÉ NAPĚTÍ ČLÁNKU – OVĚŘENÍ NERNSTOVY ROVNICE. Praha, 2013, 6 s.
Dostupné také z: http://ufch.vscht.cz/files/uzel/0014043/Uloha_RNC.pdf?redirected

Voltův článek. *Wikipedie* [online]. 2020 [cit. 2021-8-16]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Volt%C5%AFv_%C4%8D1%C3%A1nek

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k bakalářské práci

Charakteristika a vlastnosti galvanických článků

Lukáš Daněk

CD

OBSAH

1. Text bakalářské práce ve formátu PDF
2. Tabulky hodnot nabíjejících charakteristik ve formátu excel
3. Tabulky hodnot vybíjejících charakteristik ve formátu excel