

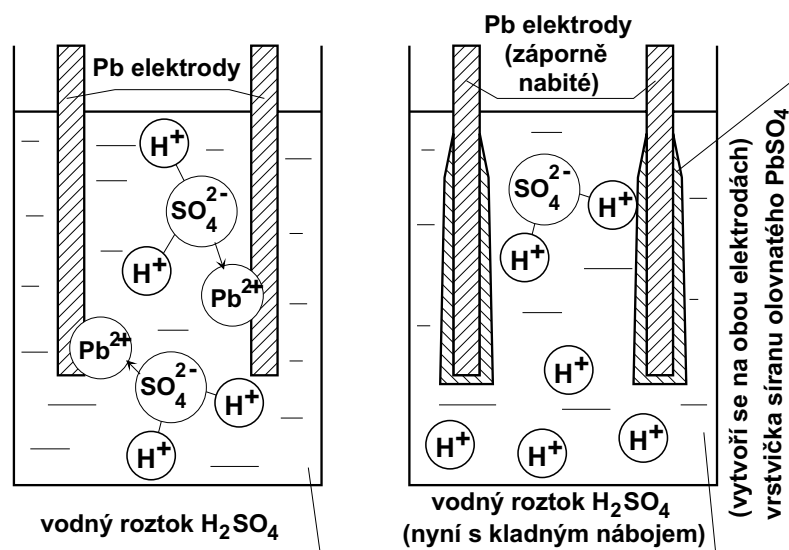
Běžně komerčně dostupné sekundární baterie lze podle použitého elektrochemického systému rozčlenit do následujících základních skupin:

- olověné akumulátory,
- akumulátory založené na systému $Ni - Cd$, $Ni - Fe$ nebo $Ni - Zn$,
- baterie na bázi $NiMH$ (nikl-metalhydrid),
- baterie na bázi $Li - ion$,
- baterie na bázi $Zn - O_2$,
- alkalické akumulátory na bázi MnO_2 .

Seznam samozřejmě není vyčerpávající; v menším měřítku se provádí např. výzkum systému $Na - S$ a několika dalších.

6.3.1. OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY

Jsou známy již více než 100 let. Během doby se na velmi vysoké úrovni zvládly všechny aspekty technologie jejich výroby. Jsou poměrně levné, spolehlivé a co do instalovaného výkonu v současné době představují ve světovém měřítku asi 60% všech prodaných baterií. Setkáváme se s nimi v nepřeberné řadě aplikací počínaje startovacími bateriemi v různých dopravních prostředcích, přes záložní zdroje až po uplatnění při akumulaci energie vyráběné slunečními články. Vývoj uzavřených olověných akumulátorů v sedmdesátých letech navíc umožnil jejich využívání v menších elektronických zařízeních a v elektrickém nářadí. Další výbornou vlastností těchto zdrojů je jejich schopnost dobře odolávat nejrozličnějším poruchovým stavům.

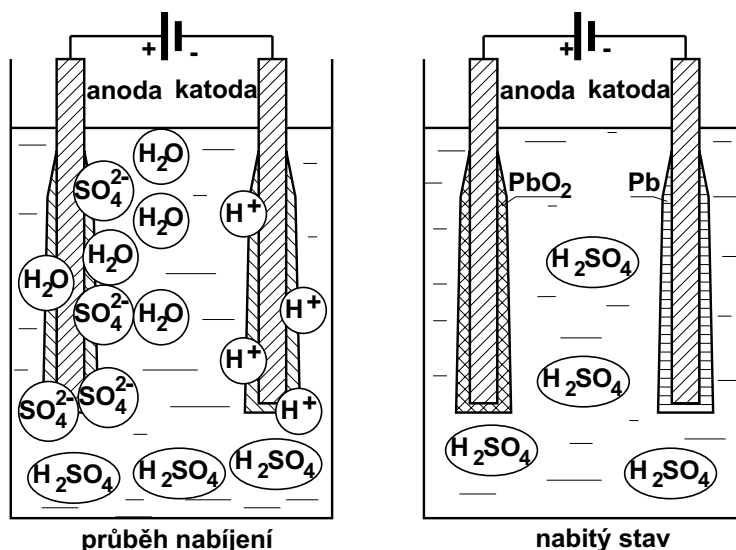


Obr. 6.3.1a, b: Vznik nenabitého olověného akumulátoru

Princip činnosti olověné baterie o jednom článku plyne z obr. 6.3.1a, b, c, d, e, f. Ponoříme-li dvě stejné olověné destičky do zředěné kyseliny

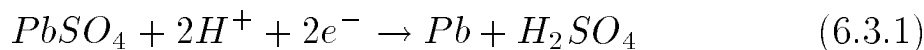
sírové (obr. 6.3.1a), začnou probíhat následující děje:

- ve vodném roztoku jsou disociovány mnohé molekuly kyseliny sírové H_2SO_4 na anionty SO_4^{2-} a kationty H^+ ,
- z olověných destiček se uvolňují dvojmocné kationty olova Pb^{2+} a destičky samotné tak získávají stejný záporný náboj,
- v blízkosti destiček se kationty olova a anionty SO_4^{2-} slučují na síran olovnatý $PbSO_4$; na obou destičkách se vytvoří jeho vrstva (obr. 6.3.1b).

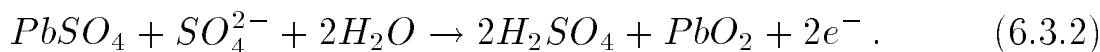


Obr. 6.3.1c, d: Nabíjení olověného akumulátoru

Elektrické napětí mezi destičkami je ovšem nulové; získali jsme doposud jen nenabitý akumulátor. V další fázi jej proto musíme nabít. Připojme proto podle obr. 6.3.1c k oběma olověným destičkám zdroj stejnosměrného napětí. V tomto okamžiku začne probíhat elektrolýza. Kationty H^+ se pohybují k destičce připojené k zápornému pólu zdroje (ke katodě), zatímco anionty SO_4^{2-} k anodě, tedy k destičce připojené ke kladnému pólu. Na katodě pak začne probíhat reakce



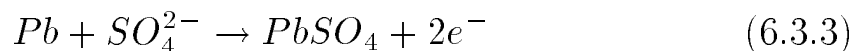
a na anodě



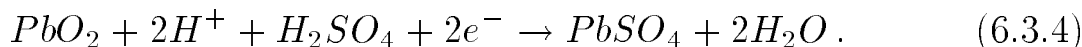
Je zřejmé, že během nabíjení se v roztoku vytvářejí další molekuly kyseliny sírové a elektrolyt houstne. Po ukončení nabíjení vzniká článek, jehož katoda je potažena vrstvou rozptýleného šedého houbovitého olova, kdežto anoda vrstvou červenohnědého oxidu olovičitého (obr. 6.3.1d).

Napětí jednoho takového článku se obvykle pohybuje v rozmezí 2.0–2.1 V. Množství látek obsažených v elektrolytu a vyloučených na elektrodách zůstává nezměněno, avšak vložená elektrická energie se přeměnila na energii chemickou.

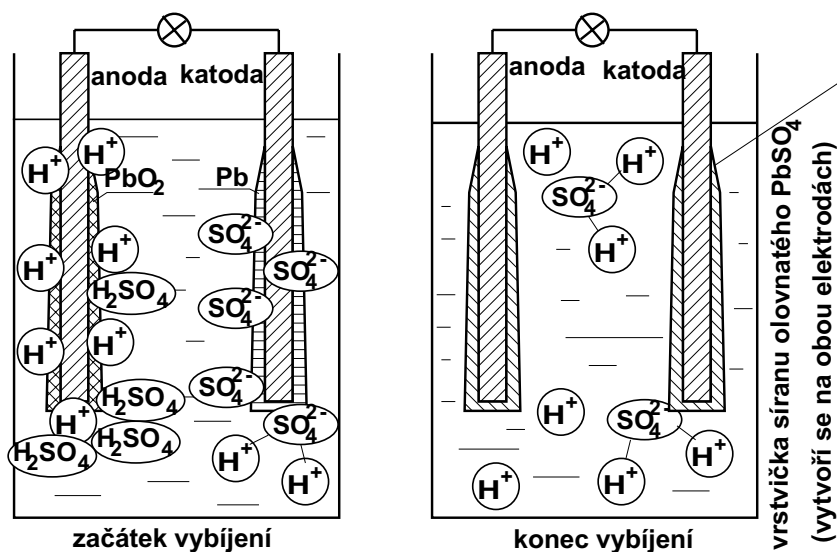
Jestliže připojíme ke svorkám nabitého akumulátoru elektrický spotřebič (obr. 6.3.1e), začne jím protékat elektrický proud, přičemž na obou elektrodách probíhají opačné reakce než při nabíjení. Na katodě se jedná o reakci



a na anodě



Obě elektrody se znovu pokrývají vrstvou $PbSO_4$ a elektrolyt řídne. Tím se opět dostáváme do stavu charakteristického pro vybitý akumulátor, jak je patrné z obr. 6.3.1f. Proces je tedy vratný.



Obr. 6.3.1e, f: Vybíjení olověného akumulátoru

Během dobíjení může dojít i k tomu, že začne probíhat elektrolýza vody. Na kladné elektrodě se pak vylučuje plynný kyslík a na záporné plynný vodík. V otevřeném článku oba tyto plyny unikají a důsledkem je celkový úbytek vody v roztoku, která se proto musí periodicky doplňovat. V uzavřených člancích kyslík uvolněný z vody reaguje za přítomnosti katalyzátoru na katodě s H_2SO_4 . Vzniká $PbSO_4$ a voda, přičemž se spotřebovává i vznikající plynný vodík. Proto zde k úbytku vody prakticky nedochází.

Důležitým parametrem článku je jeho vnitřní odpor. Ten je velmi malý (na úrovni tisícín Ω) ale silně závisí na teplotě a hustotě elektroly-

tu. Při vybíjení narůstá přibližně na dvojnásobek oproti nabitému stavu (hustota elektrolytu postupně klesá) a snižování teploty má za následek jeho zvýšení asi o 0.4% na 1 K.

Skutečný olověný akumulátor bývá sestaven z několika do série zapojených článků. Jeho konstrukce je podstatně složitější a závisí na jeho konkrétním využití. Podle něho se akumulátory dělí na pohotovostní (záložní), startovací a s velkým počtem cyklů.

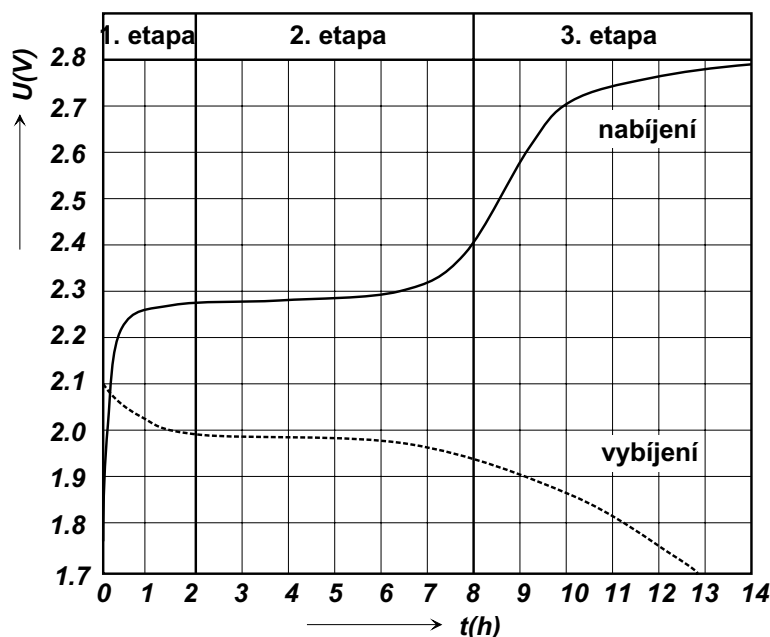
Životnost baterií závisí na celé řadě okolností. Lze uvést například teplotu okolí (vyšší teplota sice příznivě ovlivňuje okamžitý výkon baterie, ale celkovou životnost spíše snižuje) a způsob uložení (některé baterie bývají uloženy v suchých a dobře větraných místnostech, kde nehrozí žádný mechanický šok a vibrace jsou omezeny na případné zemětřesení; jiné baterie jsou uloženy takovým způsobem, že jsou vystaveny teplotním, výškovým nebo silným vibračním vlivům).

Velmi důležitá je rovněž volba správného postupu nabíjení. Baterie s požadovanou dlouhou životností je nutno nabíjet omezeným proudem při konstantním napětí. Jakmile je dosaženo jmenovitého napětí baterie, proud se postupně sniží k nule. Pokud musí být baterie nabita rychle, konstantní napětí se udržuje po delší dobu a poté se sniží. Přitom dochází u klasických baterií k plynování a u uzavřených k nárůstu teploty; oba tyto jevy ovšem mají za následek jisté snižování životnosti. Pro další urychlení nabíjení se užívá nabíjení konstantním proudem se stejnými důsledky jako v předchozím případě. Toto nabíjení však musí být časově limitováno.

Proces nabíjení a vybíjení typického olověného článku lze postihnout několika charakteristikami. První z nich je závislost svorkového napětí na době nabíjení a vybíjení podle obr. 6.3.2. Uvedme si nyní některé zásadní podrobnosti.

Nabíjení probíhá ve třech etapách. První etapa je po připojení napájecího zdroje charakterizovaná dosti strmým nárůstem napětí (v oblasti od 1.75–2.2 V) vyvolaným rychlou tvorbou molekul H_2SO_4 v pórech obou olověných desek. Hustota elektrolytu zde stoupá z 0.95 až na 1.15 g/cm³. Druhá etapa je charakterizována dalším pozvolným nárůstem napětí (množství pórů se zmenšuje) v rozmezí od 2.2 do 2.4 V a hustota elektrolytu vzrůstá k hodnotě 1.25 g/cm³ (článek je již téměř nabit). Pokud nyní neodpojíme napájecí zdroj, začne se kromě $PbSO_4$ rozkládat i voda a článek začne plynovat (3. etapa). Po ukončení přeměny síranu dosáhne napětí článku 2.7–2.8 V a poté se již veškerá dodávaná ener-

gie spotřebovává na elektrolyzu vody. Ta je charakterizována prudkým plynováním, avšak napětí se už dál nezvětšuje.



Obr. 6.3.2: Nabíjení a vybíjení olověného článku

Mezi hlavní části olověné baterie patří elektrody, separátory, elektrolýt, nádoba s víkem, ventilační a některé další prvky.

Elektrody sestávají z nosné části (mřížky) a oxidu olova, který se elektrochemicky přemění na aktivní materiál. Velikost plochy anody vymezuje kapacitu akumulátoru. Katody mají stejnou plochu, ale jejich tloušťka musí být taková, aby množství aktivního materiálu bylo v rovnováze s množstvím aktivního materiálu na anodě (na 1 Ah je ho třeba asi 36 g).

Mřížka jakožto nosná konstrukce elektrody musí být především dostatečně mechanicky odolná a mřížka kladné elektrody navíc nesmí podléhat oxidaci, která vyvolává konverzi slitiny olova na oxid olova s nižší mechanickou pevností a elektrickou vodivostí; oxidaci ovšem nelze nikdy zcela odbourat, neboť ji diktují zákony termodynamiky. Mřížka záporné elektrody neoxiduje, nemusí být zvlášť ošetřena a mechanicky musí pouze udržet požadované množství aktivního materiálu. Mřížky bývají vyrobeny ze slitiny olova (čisté olovo by bylo příliš měkké); užívá se především slitin $Pb - Ca$ nebo $Pb - Sb$, s příměsí aditiv jako Sn , Cd a Se , které zvyšují jejich odolnost proti korozi. Tyto slitiny mají současně vyšší mechanickou pevnost.

Pokud se jedná o tvar elektrod, rozeznáváme dva typy: ploché a trubkové. Záporné elektrody jsou vždy ploché, kladné mohou mít tvar

obojí. Aktivní materiál pochází z oxidu olova PbO , jenž byl původně přichycen na mřížku ve formě pasty. Ten se pak elektrochemicky přemění na oxid olovičitý PbO_2 na anodě a na Pb na katodě. Samotná pasta kromě PbO obsahuje kyselinu sírovou a vodu. Někteří výrobci užívají místo PbO i Pb_3O_4 . Aby se zvýšila celková pevnost elektrod, přidávají se do pasty pro elektrody různá aditiva.

Množství a hustota aktivního materiálu naneseného na mřížce nebo vyplňujícího trubičku vymezuje kapacitu a životnost kladné elektrody. Obecně lze říci, že čím vyšší je hustota materiálu, tím nižší je rychlost difuze elektrolytu. Nízký stupeň difuze má za následek snížení kapacity baterie. Čím nižší je hustota materiálu, tím více je deska náchylnější k opadávání a omývání aktivního materiálu během jednotlivých cyklů, což opět vede k podstatné ztrátě kapacity. Problémem je i samotná chemická konverze. Při přeměně PbO_2 na $PbSO_4$ narůstá objem materiálu až o 40%. Olověná mřížka je přitom napínána a v nepříznivém případě by mohla prasknout. Proto je nebezpečné přílišné vybíjení. Při opačném procesu vzniká při tvorbě PbO_2 mechanické pnutí v matici, v jehož důsledku se PbO_2 láme na menší a menší částičky. Tyto částičky ztrácejí mezi sebou kontakt a špatně vedou proud na mřížku. Tím narůstají Jouleovy ztráty a dochází k poklesu kapacity.

Separátory jsou vyrobeny z mikroporézního pryžového materiálu nebo z mikroporézního polyetylénu (říká se jim mipseparátory). Někdy se používá i sintrovaný polyvinylchlorid (PVC) nebo vysoce porézní skelný materiál s perforovanou plastickou fólií. Poréznost dosahuje 40–60% a poloměr pórů $0.02\ \mu\text{m}$. Elektrický odpor separátorů je rozhodující v aplikacích vyžadujících vysoké vybíjecí proudy (např. u startovacích akumulátorů), a proto je předepsána jeho nejvyšší možná hodnota.

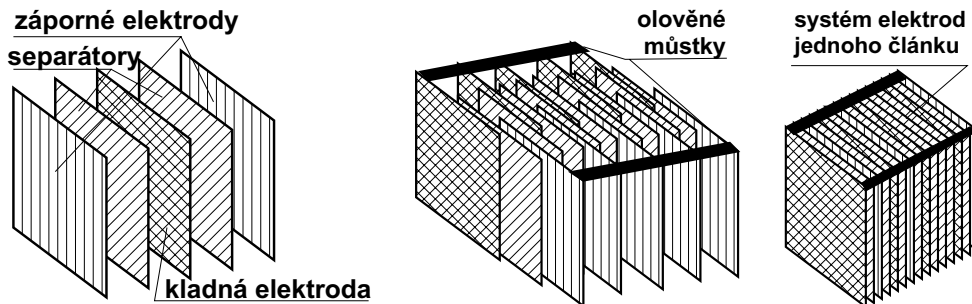
Elektrolytem je, jak již bylo řečeno, vodný roztok H_2SO_4 . Změnou jeho hustoty lze významně ovlivňovat kapacitu a životnost baterie. Většinou se jedná o kapalinu, do níž jsou ponořeny jednotlivé desky. Někdy je však zahuštěn, nebo kompletně absorbován v separátorech.

Nádoba musí snést namáhání způsobené tíhou vnitřních částí baterie a vnitřní tlak od plynů, které vznikají během její výroby nebo provozu. Nejčastěji používaným materiálem bývá polypropylen, ale setkáváme se i s kopolymerem polyolefinů, PVC, pevnou pryží apod. Pokud v klasické baterii vznikne během nabíjení nebo provozu vnitřní přetlak, musí se přebytek plynů odvést ventilačními otvory umístěnými zpravidla ve víku.

Vzhledem k tomu, že typů a konstrukčních odlišností olověných akumulátorů je nepřehledné množství, bude další výklad soustředěn již jen na klasickou automobilovou startovací baterii o jmenovitém napětí 12 V; popíšeme si její konstrukci, uvedeme nejdůležitější parametry a shrneme zásady týkající se jejího provozu a údržby.

Automobilová startovací baterie

Uvedená baterie sestává z šesti v sérii zapojených článků (monobloků). Každý článek obsahuje několik paralelně zapojených kladných a záporných elektrod, mezi nimiž jsou umístěny separátory (obr. 6.3.3).



Obr. 6.3.3: Vznik monobloku

Obě soustavy desek jsou propojeny olověnými můstky, k nimž jsou desky připájeny svými praporce. Sada desek spolu se separátory tvoří mechanicky pevný celek (monoblok) bez pohyblivých součástí; tím je zajištěna požadovaná odolnost při těžkých provozních podmínkách. Šest vzájemně izolovaných monobloků je zapojeno v sérii prostřednictvím propojek, které jsou umístěny na víku akumulátoru. Monobloky jsou zality elektrolytem o hustotě 1.28 g/cm^3 (pro pohotovostní zdroje 1.18 g/cm^3 , pro dopravní baterie 1.24 g/cm^3). Nově vyrobený akumulátor může být dodáván

- nabitý s elektrolytem,
- nenabitý v suchém stavu,
- nabitý v suchém stavu.

V prvním případě stačí akumulátor instalovat do vozidla a ihned je možno jej používat. Většinou stačí pouze zkontrolovat stav nabití a v prvních hodinách provozu se přesvědčit, zda se nepřehřívá, neplynuje, a zda je pouzdro dostatečně těsné (nedochází k úniku elektrolytu).

Nenabitě akumulátory v suchém stavu se dodávají tehdy, lze-li očekávat jejich delší skladování. Naplněný akumulátor totiž trpí samovybíjením a špatně se s ním manipuluje během dopravy i ve skladech. Akumulátor před použitím plníme roztokem H_2SO_4 o hustotě 1.26 g/cm^3

a teplotě 15–25⁰ C, případně podle pokynů výrobce. Elektrolyt má dosahovat výšky 5 mm nad horním okrajem desek. Po naplnění by měl akumulátor zůstat minimálně 3–5 hodin v klidu, aby elektrolyt pronikl do všech pórů a následného nabíjení se tak mohlo zúčastnit co nejvíce aktivní hmoty. Uvedená doba by se však neměla ani příliš prodlužovat, aby nedocházelo ke zbytečné sulfataci (tvorbě $PbSO_4$). Poté je vhodné ještě jednou zkontrolovat stav elektrolytu a případně jej doplnit (opatrně, při větší výšce může elektrolyt během nabíjení vystřikovat). Akumulátor se poté nabíjí proudem o něco vyšším než odpovídá 1/20 kapacity baterie po dobu asi 50 hod., a to až do úplného nabití (hustota elektrolytu se zvýší na 1.28 g/cm³, ale dál se již nesmí zvětšovat). Napětí jednoho článku je 2.7–2.8 V. Pokud se při nabíjení zvýší teplota elektrolytu nad 40⁰ C, je nutno snížit nabíjecí proud, nebo akumulátor vhodným způsobem chladit. Pouze částečné první nabití je spíše škodlivé a nedoporučuje se. Po ukončení nabíjení se akumulátor nechá 1/2 hodiny odplynovat a po závěrečné kontrole již může být uveden do provozu.

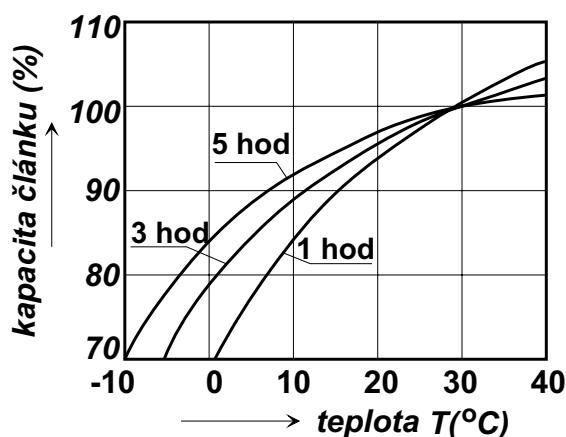
Suchý nabitý akumulátor se naplní elektrolytem ($\rho = 1.28 \text{ g/cm}^3$) při teplotě 15–25⁰ C a nechá se cca 3 hodiny v klidu, aby elektrolyt pronikl do pórů aktivního materiálu. Poté je již schopen provozu. Pokud není nutno akumulátor provozovat bezprostředně, doporučuje se i v tomto případě první nabití podle zásad uvedených v předchozím odstavci.

Každé další nabíjení již patří k běžné údržbě baterie, přičemž je třeba dbát, aby nikdy nebyla zcela vybita. Akumulátor se vždy nabíjí naplno, to znamená na napětí 2.8 V/článek (další nabíjení nemá význam, neboť hustota elektrolytu a napětí se již nezvětšují). Postup při nabíjení lze shrnout do následujících bodů:

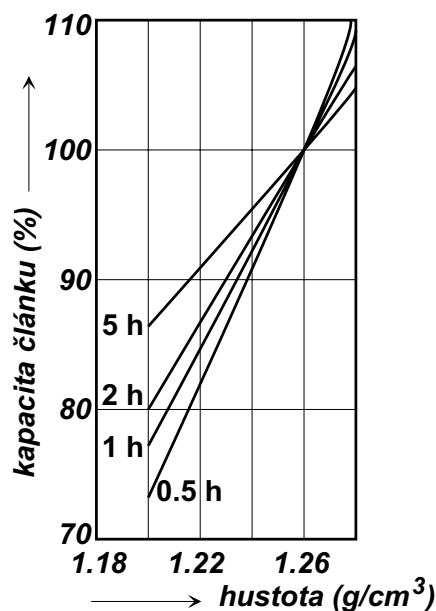
- vyšroubují se zátky a zkontroluje se hustota a výška hladiny elektrolytu (došlo-li k úbytku, doplní se destilovanou vodou),
- akumulátor se připojí ke zdroji,
- podle doporučení výrobce se nastaví nabíjecí proud (zpravidla 0.1 kapacity akumulátoru Q , nebo při dvojstupňovém nabíjení nejprve proud 0.12 Q až do počátku plynování charakterizovaného napětím článku 2.4 V a poté proud 0.06 Q až do úplného nabití); během nabíjení nesmí teplota elektrolytu přesáhnout 40⁰ C,
- po nabití se baterie odpojí od nabíječe a nechá se asi 30 minut odplynovat,
- po kontrole propustnosti pro plyny se zašroubují zátky, vývody se osuší a potřou vazelínou.

Na doplnění tohoto odstavce ještě několik poznámek. Samovybíjením

ztrácí klasický olověný akumulátor celý náboj asi za 3 měsíce. Tato doba se zkracuje se stupněm znečištění elektrolytu. Chceme-li proto skladovat akumulátor delší dobu, musíme jej trvale dobíjet proudem odpovídajícím $1/1000 Q$. Tím se zajistí nejen jeho okamžitá použitelnost, ale i odolnost vůči mrazu. Dalším nebezpečím je sulfatace. Jedná se o nadměrnou tvorbu krystalů $PbSO_4$, které opětným nabíjením mizí již jen částečně a velmi zhoršují vlastnosti baterie v případě, že ji necháme delší dobu ve vybitém stavu (napětí nižší než 8 V u 12 V baterie). Sulfatace vede ke značnému snížení kapacity baterie, zvýšení svorkového napětí a teploty při nabíjení a dalším doprovodným jevem je plynování baterie brzy po zahájení nabíjení. Nepřekročila-li sulfatace určitou mez, lze ji potlačit (ne však zcela odstranit) několika způsoby (opakované nabíjení nízkým proudem, náhrada elektrolytu destilovanou vodou nebo odstranění síranu chemickými přípravky).



Obr. 6.3.4: Závislost kapacity baterie na teplotě



Obr. 6.3.5: Závislost kapacity baterie na hustotě elektrolytu

Závěrem ještě uvedeme některé důležité charakteristiky. Jak vyplývá z předchozího textu, svorkové napětí akumulátoru do značné míry závisí na tom, jak důkladně je promísen přítomný elektrolyt. Schopnost dokonalého promísení je přitom otázkou viskozity, která klesá s rostoucí teplotou. Při nízkých teplotách je tedy svorkové napětí nižší. Kapacita akumulátoru závisí na teplotě a velikosti vybíjecího proudu. V rozsahu $-10-30^{\circ}\text{C}$ však klesá průměrně o 1% na 1°C . Graficky je tato závislost znázorněna na obr. 6.3.4, v němž jsou opět dílčí křivky označeny dobou, za kterou dojde při daném proudu k úplnému vybití článku. Poslední

obrázek 6.3.5 znázorňuje podobným způsobem závislost kapacity článku na hustotě elektrolytu (při změně hustoty o 0.01 g/cm^3 se mění kapacita o více než 3%).

Z obou grafů je vidět, že kapacita baterie nejvíce klesá při odběru velkých proudů, to znamená při startování. Plně nabitý akumulátor s hustotou elektrolytu 1.28 g/cm^3 nezamrzne ani při -40°C , zatímco vybitý může zamrznout i těsně pod bodem mrazu. Jednou zamrzlý akumulátor je již prakticky nepoužitelný; vznikem ledu dojde k mechanickému poškození jednotlivých částí monobloku (zejména separátorů) a k nadměrné sulfataci elektrod.

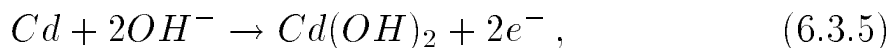
Klasické 12 V olověné baterie pro osobní automobily produkují desítky výrobců na celém světě a jejich kapacita se pohybuje mezi 30 a 100 Ah.

6.3.2. BATERIE S Kladnou ELEKTRODOU NA BÁZI NIKLU

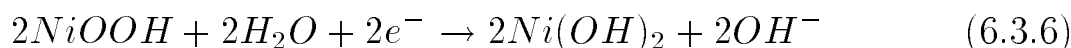
Hlavním představitelem těchto baterií je niklkadmiová baterie $Ni - Cd$; v nedávné minulosti a vlastně dodnes se používají i systémy $Ni - Fe$ a řídčeji $Ni - Zn$. Vzhledem ke značné podobnosti všech zmíněných systémů bude další text zaměřen pouze na baterie $Ni - Cd$.

$Ni - Cd$ baterie se vyrábějí od počátku 20. století, kdy se používaly podobně jako olověné a $Ni - Fe$ baterie zejména v železniční dopravě. Mezi jejich hlavní přednosti patří dlouhá skladovatelnost a životnost, možnost přebíjení, rychlého nabíjení a vybíjení, schopnost pracovat za nízkých teplot, robustní konstrukce a téměř konstantní vybíjecí napětí. Kadmium patří na druhé straně k toxickým kovům a je dosti drahé.

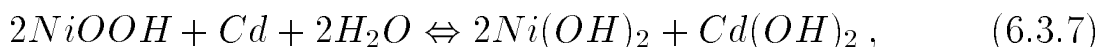
Aktivním materiálem na kladné elektrodě je $NiOOH$ (oxihydroxid niklu), na záporné elektrodě houbovitě kadmium Cd . Elektrolytem je roztok hydroxidu draselného KOH . Během vybíjení se oxihydroxid mění na hydroxid nikelnatý $Ni(OH)_2$ a kadmium se přeměňuje na hydroxid kademnatý $Cd(OH)_2$. Při nabíjení probíhá reakce opačně, přičemž se na kladné elektrodě vyvíjí kyslík a na záporné vodík. Na záporné elektrodě (anodě) probíhá při vybíjení reakce



na kladné elektrodě (katodě)



a souhrnná rovnice má tedy tvar

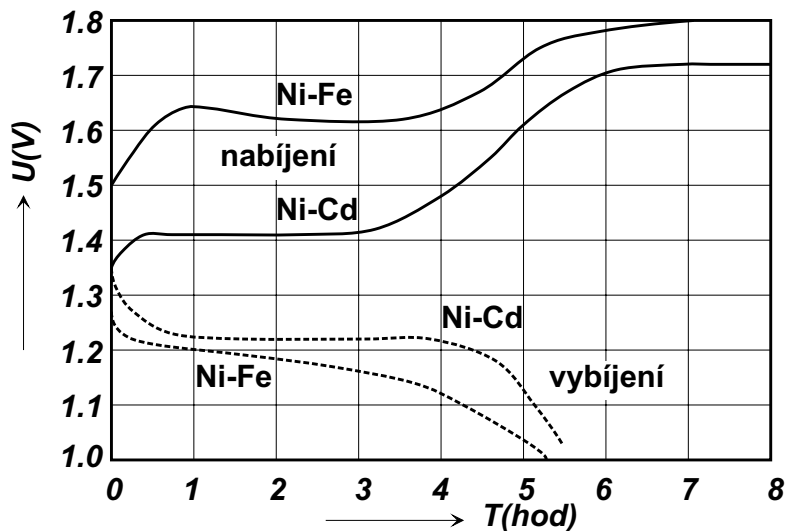


příčemž šipka vpravo označuje vybíjení a vlevo nabíjení. Aktivní materiál obou elektrod je v elektrolytu nerozpustný a nerozpustný je i $Ni(OH)_2$ a $Cd(OH)_2$. Obě elektrody mají dlouhou životnost, neboť aktivního materiálu neubývá a z téhož důvodu se během vybíjení téměř nemění napětí článku.

Článek se vyrábí ve třech běžných konfiguracích: knoflíkový, válcový a prizmatický. První dva typy jsou uzavřené, zatímco třetí může být buď uzavřený, nebo opatřený nízkotlakými ventily pro odvětrávání plynného kyslíku a vodíku vznikajícího při nabíjení. Podobně jako u olověných baterií je zde nutno elektrolyt periodicky doplňovat.

Uzavřené články se naopak vyznačují malým množstvím elektrolytu. Jejich elektrody jsou vybaveny katalyzátorem a konstruovány tak, aby se v jejich blízkosti plynný kyslík a vodík opět slučoval na vodu. Mohou být rovněž opatřeny tlakovým ventilem pro případ, že vnitřní tlak překročí povolenou hodnotu.

$Ni - Cd$ články se užívají v pomocných energetických zdrojích, jako startovací akumulátory, v přenosných zařízeních, v satelitech, elektrických systémech řízených střel a celé řadě dalších aplikací. Knoflíkové články mívají kapacitu 50–2000 mAh, válcové 2–5 Ah, prizmatické uzavřené 5–50 Ah a otevřené 5–5000 Ah. Nejlepších parametrů dosahují při teplotě okolí 0–30° C. Samovybíjení představuje 1–2% kapacity denně a závisí na teplotě. Doba života dosahuje až tisíců nabíjecích a vybíjecích cyklů při úbytku kapacity asi 25%.



Obr. 6.3.6: Nabíjecí a vybíjecí křivky $Ni - Cd$ a $Ni - Fe$ článku

Nabíjecí a vybíjecí charakteristika typického $Ni - Cd$ článku je znázorněna na obr. 6.3.6; pro srovnání jsou uvedeny tytéž křivky i pro

Ni – Fe článek. Napětí naprázdno plně nabitého *Ni – Cd* článku je přibližně 1.35 V. Článek se pokládá za vybitý, klesne-li napětí pod 1.0–1.1 V (kapacita poklesne více než o 50%). Pak jej musíme znovu nabít; v opačném případě by mohlo dojít k jeho poškození. Někteří výrobci proto do baterie zabudovávají automatickou ochranu proti nadměrnému vybití.

Ni – Cd článek lze nabíjet několika způsoby v závislosti na způsobu využití. Rozdíly se objevují rovněž u uzavřených a větraných článků. Obvykle se článek nabíjí

- při konstantním proudu,
- při konstantním napětí,
- při teplotně kompenzovaném napětí.

První možnost je nejjednodušší a patří k nejlevnějším. Volí se takový nabíjecí proud, který baterii dobije za zvolenou dobu (např. 14–16 hodin přes noc). Tato metoda se doporučuje především pro uzavřené články.

Nabíjení při konstantním napětí je vhodné zejména tehdy, lze-li nastavit napětí zdroje na hodnotu odpovídající napětí nabité baterie. Tím se zajistí, že nabíjení bude včas ukončeno a nevádí ani to, že počáteční nabíjecí proud může dosáhnout vysokých hodnot. Metoda se doporučuje především pro větrané články.

Třetí způsob nabíjení je složitější a užívá se hlavně pro hermetizované baterie v letectví. Vyžaduje znalost závislosti nabíjecího napětí na teplotě, rychlosti nabíjení a okamžitého stavu nabíjení. Jedná se o drahý způsob, který však zajišťuje maximální životnost a optimální provozní vlastnosti.

Jak již bylo řečeno, typů a modifikací *Ni – Cd* článků existuje velké množství. Každý z nich však obsahuje kladnou a zápornou elektrodu, separátor, elektrolyt, a je umístěn v nádobě (pouzdru).

Elektrody sestávají z mřížky, na níž je nanesen aktivní materiál; dalším úkolem mřížky je odvádět proud a zajistit dostatečnou mechanickou pevnost elektrody. Mřížka je vyrobena z niklu nebo z poniklované oceli na jejím povrchu je nanesena pórovitá vrstva niklu, vláken nebo spékaného kovu. Celek je obalen aktivním materiálem, který se nanáší ve formě pasty, chemicky, elektrochemicky nebo pomocí vakuové techniky, a jehož poréznost může dosahovat až 80% (spékání niklového prášku v ochranné atmosféře). Elektrody se vyrábějí ploché, nebo se spolu se separátorem svinují. Kapacita článku je vymezena množstvím aktivního materiálu. V uzavřených člancích převládá materiál na záporné elektrodě

(jeho množství je 1.3–1.8 krát vyšší než materiálu na elektrodě kladné), u větraných článků naopak převažuje aktivní materiál na kladné elektrodě (činitel mezi 1.1–1.25).

V uzavřených člancích bývá separátor vyroben z nylonových vláken (pro běžné rozsahy teplot, s rostoucí teplotou se jeho vlastnosti prudce zhoršují), v menší míře z polypropylenu nebo anorganických vláken (činnost při vyšších teplotách). Kromě volného průchodu iontů musí zabezpečit i volný průchod generovaných plynů. Ve větraných člancích je hlavní separátor vyroben ze stejných materiálů a navíc se zde jako plynová bariéra uplatňuje mikroporézní plast.

Elektrolytem bývá 30–35% roztok KOH , který se připravuje tak, že se velmi čistý KOH rozředí destilovanou vodou. Přitom musí být zabráněno absorpci vzdušného CO_2 ; ten se totiž slučuje s KOH za vzniku uhličitanu draselného K_2CO_3 , který zvyšuje vnitřní odpor článku. Uzavřené články obsahují jen nejnutnější množství elektrolytu, který se vsákne do jejich vnitřních částí. Volný elektrolyt zde prakticky neexistuje. Větrané články obsahují více elektrolytu, podobně jako články olověné. Vyznačují se úbytkem vody, kterou je třeba periodicky doplňovat v závislosti na způsobu použití a na teplotě.

Uzavřené články jsou uloženy v pouzdrech z nerezavějící nebo poniklované oceli. Víčko je od nádoby izolováno nylonovým nebo polypropylenovým prstencem a slouží jako kladný pól. Nádobka představuje pól záporný. Obě elektrody (především u malých článků) jsou slisovány k sobě a separátor mezi nimi má tloušťku na úrovni desetin mm.

Závěrem budou ještě uvedeny základní informace o nábojové a energetické účinnosti těchto akumulátorů. Energetickou účinností rozumíme poměr odebrané a dodané energie a nábojovou účinností poměr odebraných a dodaných ampérhodin. V tabulce 6.4 jsou uvedeny tyto hodnoty nejen pro baterie na bázi $Ni - Cd$, ale pro porovnání i pro baterie olověné a $Ni - Fe$. Uvedené hodnoty platí pro pokojovou teplotu a nejsou zde zahrnuty ztráty samovybíjením.

Tabulka 6.4: Nábojová a energetická účinnost akumulátorů

typ akumulátoru	energetická účinnost (%)	nábojová účinnost (%)
olověný	75	90
$Ni - Cd$	65	80
$Ni - Fe$	60	80