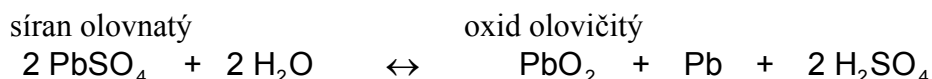


6. Olověné akumulátory

6.1. Olověné akumulátory s kapalným elektrolytem

Olověný akumulátor je dnes nejpoužívanějším sekundárním zdrojem. Velmi rozšířené použití těchto akumulátorů se vysvětluje jejich přijatelnou cenou, spolehlivostí a dobrým výkonem. První olověný akumulátor zhotovil r. 1859 francouzský badatel Gaston Planté.

Velmi zjednodušeně lze říci, že olověný akumulátor tvoří olověné desky (elektrody), ponořené do zředěné kyseliny sírové. Jeden článek akumulátoru je tvořen právě dvěma deskami. Články se řadí do série a vytváří akumulátorovou baterii. Chemický proces při nabíjení a vybíjení je vratný a lze ho vyjádřit chemickou rovnicí:



(směr šipky vpravo značí pochod při nabíjení a vlevo při vybíjení)

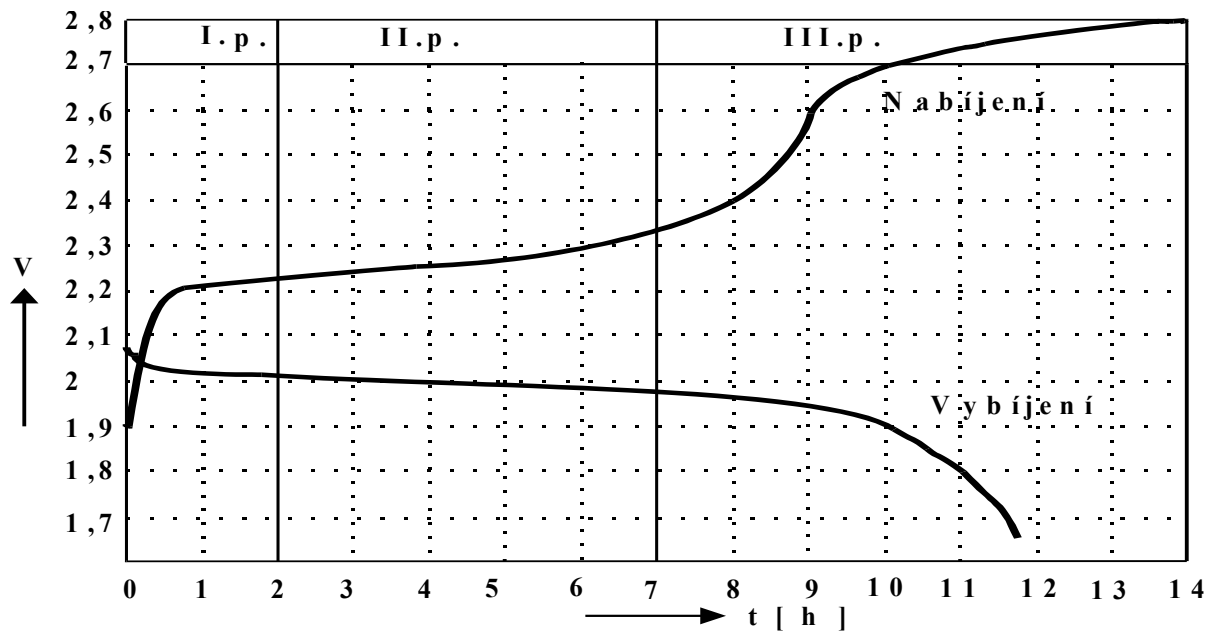
Při nabíjení se tvoří kyselina sírová (H_2SO_4) a elektrolyt houstne. Po skončení nabíjení je na kladné elektrodě tmavohnědý oxid olovičitý (PbO_2) a na záporné elektrodě je jemně rozptýlené tmavošedé olovo.

Při vybíjení je pochod opačný : elektrolyt řídne (H_2SO_4 se spotřebovává) a ve vybitém stavu je na kladné elektrodě červenohnědý a na záporné elektrodě tmavošedý síran olovnatý (PbSO_4). Hustota elektrolytu se zvětšujícím se nábojem zvětšuje a je tedy spolehlivou známkou stavu akumulátoru. Druhým ukazatelem stavu akumulátoru je zvětšující se napětí při nabíjení. Pomocným ukazatelem je tzv. plynování elektrod. Z akumulátoru totiž při nabíjení unikají bubliny, jako by se elektrolyt „vařil“. Tento jev však ukazuje na to, že je ukončen rozklad síranu olova a že začíná elektrolyza vody. Voda se při nabíjení rozkládá na vodík a kyslík. Proto je třeba akumulátory ve větším množství nabíjet ve větraných místnostech, nebo na volném prostranství. Směs vodíku a kyslíku tvoří trřaskavý plyn, který může při nahromadění explodovat.

Během vybíjení se tvoří na obou elektrodách špatně rozpustný síran olovnatý. Jeho měrná vodivost je vzhledem k vodivosti olova a oxidu olovičitého velmi malá, menší než 10^{-8} Scm^{-1} . Velký význam pro funkci elektrod má jejich pórovitá struktura umožňující průnik H_2SO_4 do objemu elektrod. Pórozita nabitých elektrod může být až 50 % a střední průměr pórů je u kladných elektrod 1 až 2 μm a u záporných elektrod 10 μm . Během vybíjení pórozita značně klesá, protože měrný objem síranu olovnatého je větší než měrný objem olova a oxidu olovičitého.

Typickým efektem je silné zředování elektrolytu během vybíjení, protože kyselina sírová se spotřebovává a tvoří se voda. V nabitých akumulátorových člancích je koncentrace H_2SO_4 28 až 40 % (podle typu akumulátoru). Čím menší je objem elektrolytu v porovnání s množstvím aktivních elektrodových materiálů, tím větší je pokles koncentrace při vybíjení; ke konci vybíjení se koncentrace pohybuje mezi 12 až 24 %. Podle toho je bezproudové napětí nabitého akumulátoru 2.06 až 2.15 V a napětí téměř vybitého akumulátoru je 1.95 až 2.03 V. Pro daný akumulátor je pokles koncentrace kyseliny přímo úměrný prošlému náboji. Proto je měření koncentrace nebo hustoty elektrolytu vhodnou a přesnou metodou stanovení stupně nabití akumulátoru, což je výhodou olověného akumulátoru ve srovnání s jinými. Během vybíjení se objem elektrolytu zmenšuje zhruba o 1 ml na každou ampérhodinu.

Pro nabíjení a vybíjení olověného akumulátoru jsou typické křivky podle obr. 6. 1.



Obr. 6. 1 Vybíjecí a nabíjecí křivka olověného akumulátoru

Křivka napětí při nabíjení probíhá třemi pásmy - První pásmo po připojení nabíjecího proudu je charakterizováno zvětšováním napětí v souvislosti s tvorbou kyseliny v pórech olověných desek. Jde o oblast mezi napětím 1.75 až 2.2 V; hustota elektrolytu se při tom zvětšuje z 0.95 g/cm^3 na 1.15 g/cm^3 . Druhé pásmo přeměny síranu olovnatého je ohraničeno napětím 2.2 až 2.45 V. Hustota kyseliny se zvětší až na 1.25 g/cm^3 . Zvětší-li se napětí článku při nabíjení až na 2.45 V, začne se kromě síranu rozkládat i voda na vodík a kyslík a akumulátor začne plynovat. Rozloží-li se všechno síran, zvětší se napětí článku na 2.7 až 2.8 V. Od tohoto okamžiku se přiváděná energie spotřebovává jen k rozkladu vody, akumulátor začne intenzívně plynovat a jeho napětí se již nezvětšuje.

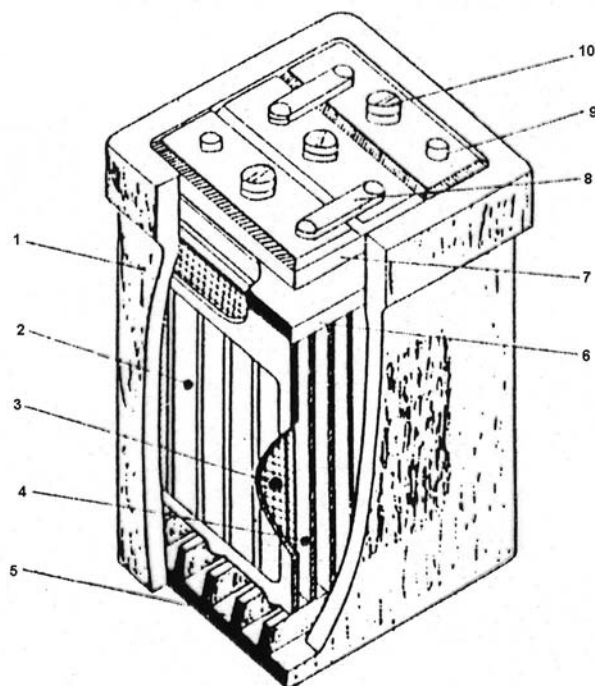
Vnitřní odpor olověného akumulátoru je velmi malý, řádu 0.001Ω . Závisí na hustotě a teplotě elektrolytu. Při nabíjení se vnitřní odpor akumulátoru zmenšuje, při vybíjení se zvětšuje. Vybitý akumulátor má asi dvakrát větší vnitřní odpor oproti akumulátoru nabitému. Při snižování teploty se zvětšuje vnitřní odpor akumulátoru asi o $0.4 \% / ^\circ\text{C}$.

Na 1 Ah je třeba asi 36 g aktivní hmoty elektrody. Kapacita akumulátoru je přímoúměrná ploše elektrod, nebo přesněji řečeno, množství činné hmoty, která se účastní vratné chemické přeměny. Protože kapacita akumulátoru závisí i na velikosti vybíjecího proudu, udává každý výrobce zaručenou minimální kapacitu akumulátoru při určitém proudu, což většinou bývá proud velikosti $1/10$ kapacity akumulátoru v ampérech po dobu 10 hodin.

6. 1. 1. Konstrukce olověných akumulátorů s kapalným elektrolytem

Téměř všechny typy olověných akumulátorů mají samostatné nádoby (obr. 6.2). Konstrukční materiály použité při výrobě akumulátorů musí být odolné proti dlouhodobému účinku kyseliny sírové. Jedním z mála takových materiálů je olovo a proto jsou všechny části vedoucí proud vyrobeny z olova nebo olověných slitin. Nerezová ocel se použít nedá, protože i stopy železa v roztoku ruší. Elektrodová sestava je umístěna v nádobě z izolačního materiálu (1). Krajní elektrody (2) jsou vždy záporné. V každé elektrodové skupině jsou desky přivařeny k můstkům článků (6), opatřeným proudovými vývody (9). Separátory (3) jsou umístěny mezi kladnými a zápornými deskami (4). Na spodku se desky opírají o speciální hranoly (5) vyčnívající ze dna nádoby; tím se vytváří kalový prostor, kde se shromažďují

aktivní hmoty spadlé z elektrod. Ve velkých staničních akumulátorech jsou desky zavěšeny na přichytkách nádoby. Vzdálenost mezi horními hranami desek a víkem (7) je minimálně 20 mm, aby se mohly kompenzovat změny hladiny elektrolytu a oddělit kapičky elektrolytu při silném plynování na konci nabíjení. Víko má dva otvory pro proudové vývody a ventilační zátku (10), která umožňuje únik plynů během samovybíjení a malém přebíjení a při tom zabraňuje vylití elektrolytu při nevelkých sklonech. Otvorem pro ventilační zátku se také přidává elektrolyt, určuje se jeho hladina a koncentrace a unikají jím plyny při značném přebíjení. Jednotlivé články jsou spojeny olověnými spojkami (8).



Obr. 6. 2 Konstrukce klasického olověného akumulátoru

1 - nádoba, 2 - záporná elektroda, 3 - separátor, 4 - kladná elektroda, 5 - opěrné hranoly, 6 - můstek, 7 - víko, 8 - mezičlánkový spoj, 9 - proudový vývod, 10 - ventilační zátku

Samovybíjení

Obě elektrody olověného akumulátoru jsou termodynamicky nestálé a v podstatě mohou reagovat s vodným roztokem za uvolňování vodíku na záporné a kyslíku na kladné elektrodě. Kromě toho může oxid olovičitý reagovat chemicky s olovenou mřížkou. Samovybíjení je však během skladování čerstvě vyrobeného nabitého akumulátoru prakticky zanedbatelné a činí 2 až 3 % ztráty kapacity za měsíc.

Samovybíjení roste s rostoucí koncentrací H_2SO_4 a s rostoucí teplotou. Rychle stoupá s cyklováním akumulátoru. Je to způsobeno rozpouštěním antimonu při korozi mřížky kladné elektrody. Antimon se vylučuje na aktivní hmotě záporné elektrody, usnadňuje vývin vodíku a podporuje tak korozi olova. V praxi se samovybíjením akumulátorů s mřížkami, jež obsahují velké množství antimonu, ztrácí až 30 % kapacity za měsíc. Mimoto ke konci nabíjení se zvyšuje vývin vodíku, tj. kapacita akumulátoru klesá. Kromě toho samovybíjení podporují i četné látky v elektrolytu, např. stopy solí železa.

Zkratky

Při práci olověného akumulátoru se mohou vytvářet olověné můstky mezi elektrodami, které způsobují zkratky a tím také samovybíjení. Příčinami zkratů mohou být i

opadané částice oxidu olovičitého, které se dostanou k záporné elektrodě, nakupení vysoké vrstvy kalu, deformace elektrod, miskové zborcení záporné elektrody a další jevy.

Sulfatace

Je-li olověný akumulátor skladován ve vybitém stavu, nebo je systematicky nedostatečně nabíjen, dojde k velmi nežádoucímu procesu, k tzv. sulfataci elektrod (zvláště záporných). Sulfatace spočívá v postupné přeměně jemně zrnitého síranu olovnatého v tvrdou hutnou vrstvu hrubozrného síranu. Akumulátor se sulfatovanými elektrodami se velmi obtížně nabíjí, protože nabíjecím proudem se spíše vyvíjí vodík na záporné elektrodě než redukuje síran olovnatý.

Sulfataci se zabrání pravidelným dobíjením akumulátorů. Kapacita akumulátoru se sulfatovanými elektrodami se obnoví naplněním zředěnou kyselinou sírovou (v níž je rozpustnost síranu olovnatého větší), nebo dokonce destilovanou vodou a nabíjením akumulátoru malými proudy, např. proudy odpovídajícími $I_N = 0.01$. Vznikající kyselina se pravidelně vyměňuje za zředěnější nebo za vodu.

Formování elektrod

Formováním elektrod se nazývá proces vytvoření aktivní hmoty na elektrodách při výrobě. Elektrody se formují v roztoku kyseliny sírové. Výsledkem jsou vrstvy oxidu olovičitého (černé formování) a olověné houby, které se střídavě tvoří na povrchu desky.

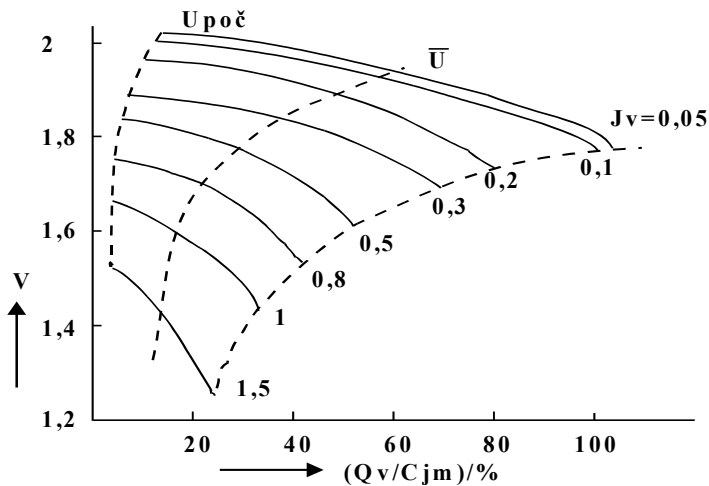
Elektrolyt

V olověných akumulátorech se jako elektrolyt používají roztoky dostatečně čisté kyseliny sírové. V nabitém stavu obsahuje roztok 28 až 40 % kyseliny sírové což je hustota asi 1.26 g/cm^3 . Při větší výchozí koncentraci může mít elektrolyt menší objem, tj.lepší se měrné parametry. Navíc se tím sníží nebezpečí zamrznání elektrolytu na konci vybíjení při nízkých teplotách. Nadměrné zvětšení koncentrace kyseliny je však nepřijatelné, protože zvětší pasivaci elektrod, samovybíjení a sulfataci a tím sníží životnost akumulátoru v cyklech. Kapacita akumulátoru závisí na hustotě kyseliny. Při změně hustoty o 0.01 g/cm^3 se změní kapacita akumulátoru o více než 3 %. Z toho vyplývá, že pokud nepečujeme o správnou hustotu kyseliny, např. doléváme-li pouze destilovanou vodu do akumulátoru, který má praskliny, a zbavujeme se tak kyseliny, urychlujeme jeho zničení.

Z vlastností elektrolytu vychází i mrazuvzdornost olověného akumulátoru. Plně nabitý akumulátor s hustotou elektrolytu nezmrzne ani při teplotách $-40 \text{ }^\circ\text{C}$. Vybitý akumulátor může zmrznout i při teplotě těsně pod bodem mrazu. Zmrzne-li akumulátor, dojde nejčastěji k mechanickému poškození vlivem většího objemu ledu, k poškození elektrod atd.

Obecné vybíjecí a nabíjecí charakteristiky

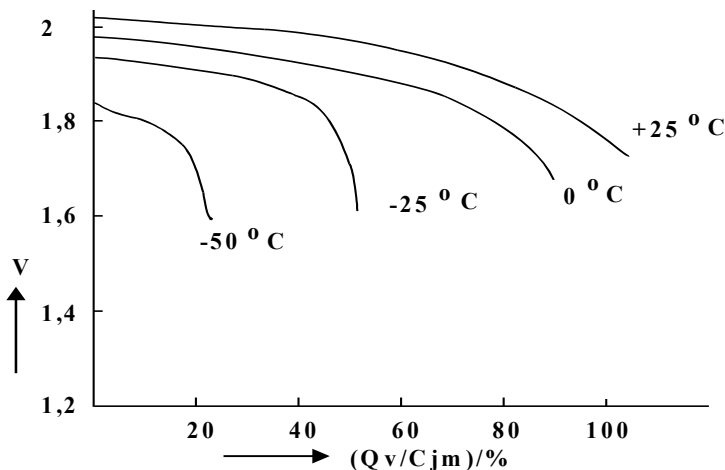
Typické vybíjecí křivky startovacích akumulátorů jsou zachyceny na obr. 6.3 Zvýší-li se vybíjecí proud, značně se sníží kapacita a tudíž měrná energie. Změna kapacity je velmi patrná dokonce při změně I_N z 0.05 na 0.2. Na to se nesmí zapomenout při porovnávání parametrů akumulátorů, protože akumulátory různých typů mají různé předepsané způsoby vybíjení.



Obr.6.3 Vybíjecí křivky startovacího olověného akumulátoru

Na samém začátku vybíjení není napětí příliš stálé. Proto se za výchozí napětí považuje napětí po odebrání malé části kapacity, např. 10 %. Konečné vybíjecí napětí je nižší zhruba o 0,2 V než napětí výchozí a činí 1,75 až 1,8 V při malých proudech a 1,2 až 1,5 V při velkých proudech.

Kapacita akumulátoru závisí na teplotě. Pro $I_N = 0,1$ a teploty nad 0°C způsobí pokles teploty o 1°C pokles kapacity o 0,6 až 0,7 %. Při nízkých teplotách a zejména při velkých proudech je pokles kapacity ještě prudší (obr. 6. 4).

Obr.6 4. Vybíjecí křivky olověného akumulátoru při nízkých teplotách, $I_N = 0,1$

Je-li akumulátor nabíjen konstantním proudem, vzrůstá napětí z 2,3 až 2,4 V na zhruba 2,7 V poté, co by měl být už nabitý; přitom začíná plynování. Silné plynování poškozuje aktivní plochu desek, tak že během plynování má být nabíjecí proud ($I_N < 0,05$). Často se akumulátory nabíjejí tak, že se proud mění po skocích. Zprvu je velký, aby se nabíjecí čas snížil, až po dosažení napětí 2,4 V se použijí malé proudy, aby se dokončilo nabíjení elektrod.

Olověné akumulátory se mohou nabíjet i konstantním napětím. V tomto případě je nabíjecí proud zprvu velký a postupně klesá. Při $U_N = 2,5$ V je k úplnému nabití akumulátoru zapotřebí 16 až 20 hodin. Někdy se používají proudové omezovače na snížení počátečního velkého proudu. Pracuje-li akumulátor ve vyrovnávacím režimu, kdy se vybíjí jen částečně, nabíjecí napětí se může snížit na 2,2 V, aby se zmenšilo plynování při přebíjení.

6. 2. Hermeticky uzavřené bezúdržbové olověné akumulátory

Hermeticky uzavřené akumulátory jsou výsledkem dlouholetého vývoje v oblasti akumulátorů pro záložní napájení. Díky trvalé snaze o co nejmenší požadavky na údržbu akumulátorů tohoto typu jsou nyní hermeticky uzavřené akumulátory zcela bez požadavků na údržbu během celé doby životnosti. Využitím nejnovějších poznatků elektrochemie bylo dosaženo vynikajících poměrů kapacita/hmotnost spolu s možností využívat akumulátory jak v zálohovacím, tak i v cyklickém režimu.

6. 2. 1. Základní výhody bezúdržbových akumulátorů

- **Uzavřená konstrukce**

Akumulátory jsou zcela uzavřené konstrukce, díky které mohou pracovat v libovolné poloze. Ani při přepravě v nebezpečí úniku elektrolytu, takže riziko ekologických havárií je minimální.

- **Nulové požadavky na údržbu**

Akumulátory nevyžadují po celou dobu životnosti doplňování elektrolytu, protože plyny vznikající při dobíjení jsou speciální reakcí zpětně absorbovány. Nedochozí tak k úniku plynů, a ani ke zvýšené korozi svorek a okolí akumulátoru.

- **Jednoduchá manipulace**

Konstrukce akumulátorů je zcela uzavřená, tedy i vodovzdorná. Velmi odolný je i obal akumulátorů. Na přepravu akumulátorů tedy nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky.

- **Dlouhá životnost**

Za normálních pracovních podmínek (jako záložní zdroj) je předpokládána doba životnosti podle typu akumulátoru 5 až 15 let při konečné kapacitě 80%. Při cyklickém použití se předpokládá 200 až 3000 cyklů v závislosti na hloubce vybíjení.

- **Široká oblast použití**

Díky svým vlastnostem se akumulátory uplatní jako zálohovací zdroje i jako zdroj napájení pro přenosná zařízení. Akumulátory se mohou zapojovat sériově, i paralelně, což spolu s rozsáhlou nabídkou typů a kapacit umožní nalézt optimální kombinaci pro každé použití.

- **Odolná konstrukce**

Obal akumulátoru je vyroben z vysoce odolného nevodivého plastu ABS, který má znamenitou odolnost proti rázům, vibracím, chemikáliím a teplotě. I vnitřní konstrukce akumulátoru zaručuje vysokou odolnost proti rázům a vibracím.

- **Malé rozměry**

Využitím nejnovějších konstrukčních poznatků, nejlepších materiálů a důsledným sledováním kvality výroby bylo dosaženo vyjimečného výstupního výkonu článku. Výsledkem tohoto soustředěného úsilí jsou vynikající poměry výkonu k objemu a hmotnosti

- **Možnost hlubokého vybíjení**

Nízký vnitřní odpor akumulátoru umožňuje používat je i aplikacích, kde vybíjecí proudy jsou u desetinásobky kapacity akumulátoru. Proto mohou být i malé akumulátory použity v aplikacích vyžadující vysoké špičkové proudy.

- **Dlouhá doba skladování**
Velmi malé samovybíjecí proudy umožňují skladovat akumulátory až jeden rok při pokojové teplotě, bez nutnosti nabíjení. Nižší teplota dobu skladování ještě prodlužuje
- **Široký rozsah pracovních teplot**
Akumulátory mohou být používány při teplotách od -60°C do $+60^{\circ}\text{C}$. Doporučené pracovní teploty pro vybíjení jsou od -40°C do $+60^{\circ}\text{C}$, pro dobíjení od -20°C do 50°C .

6. 2. 2. Dělení akumulátorů podle životnosti

Toto dělení vychází z návrhu normy IEC 896-2 zpracovávané v současné době komisí ES. Jedná se o základní předpis, který sjednocuje předpisy jednotlivých výrobců a dále rozpracovává požadavky na bezúdržbové hermeticky uzavřené akumulátory. Z obecného pohledu navazuje na normu IEC 896-1, která se týká otevřených akumulátorů. Informace, které jsou dále uvedeny vychází plně z tohoto návrhu. Jedná se zejména o vymezení některých pojmů, které jsou důležité pro návrh aplikace určitého typu akumulátoru.

Návrh normy IEC 896-2 rozděluje akumulátory do 4 skupin Podle navrhované životnosti. Tyto skupiny jsou následující:

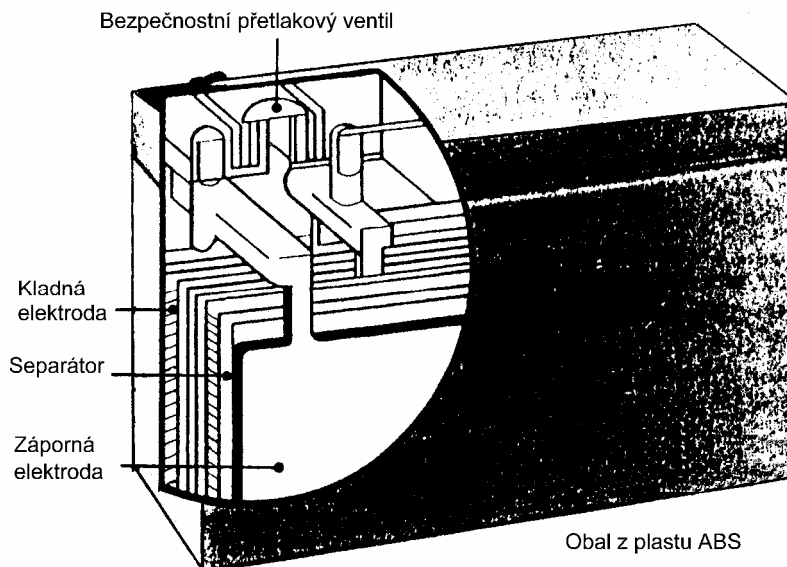
- **3-5 let - standardní akumulátory**
Tato skupina akumulátorů je velmi rozšířená v malých bezpečnostních systémech a podobných aplikacích jako zdroje záložního napájení. Široce se používají také jako zdroje v přenosných zařízeních.
- **5-8 let - akumulátory obecného použití**
Výkonové vlastnosti této skupiny akumulátorů jsou stejné jako u akumulátorů s 10-ti letou životností. Bezpečnostní požadavky a některé testy životnosti však nejsou tak náročné jako u následující skupiny.
- **10 let - akumulátory vysokého výkonu**
Obecně řečeno, životnost těchto akumulátorů je srovnatelná s akumulátory z následující skupiny s životností více než 10 let. Některé požadavky na výkon a bezpečnost nejsou tak důležité
- **více než 10 let - akumulátory vysoké bezpečnosti**
Tyto akumulátory jsou určeny pro použití v nejnáročnějších provozech. Splňují všechny požadavky na životnost i na bezpečnost provozu za všech okolností.

6. 2. 3. Konstrukce bezúdržbových hermetických akumulátorů

Konstrukce s deskovými elektrodami

Na obr. 6.5. je zřejmá konstrukce hermetických akumulátorů s deskovými elektrodami. Nejdůležitější pro kvalitu akumulátorů je konstrukce elektrod. Výrobci těchto typů akumulátorů používají vesměs velmi pokrokovou konstrukci elektrod. Základem je bezantimonový olovo-kalciový kompozit. Malé množství použitého kalcia je zárukou vysoké pevnosti elektrod a jejich odolnosti proti korozi. V nabitém stavu je na záporné elektrodě vrstva čistého olova, na kladné pak vrstva PbO_2 . Obě elektrody jsou porézní, tak bylo

dosaženo maximálního povrchu elektrod. Separátory některých hermetických akumulátorů jsou současně také absorbérem elektrolytu. Používá se sklotextil, který má velkou odolnost proti vlivům tepla a oxidace. Výborně váže elektrolyt a má vynikající iontovou vodivost. Elektrolytem je samozřejmě kyselina sírová. Někteří výrobci používají gelový elektrolyt, který nevyžaduje separátory v klasickém slova smyslu.



Obr. 6. 5 Konstrukce hermetického akumulátoru s deskovými elektrodami

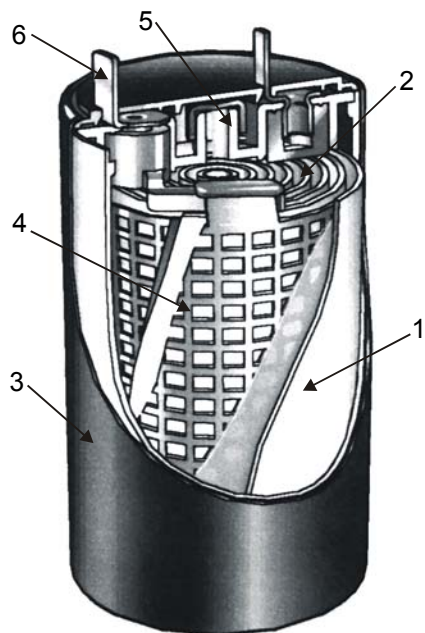
Obal je zpravidla proveden z plastu ABS, který je vysoce odolný i proti požáru. Akumulátory jsou konstruovány jako hermetické, za normálních okolností tedy nemůže dojít k úniku elektrolytu ani plynů. Pokud dojde za provozu akumulátoru ke značnému přebíjení, může kvůli zvýšenému vyvíjení plynu vzrůst tlak v akumulátoru. Z bezpečnostních důvodů jsou tedy akumulátory vybaveny ventily na každém článku. Při přetlaku 15 až 40 kPa se ventil otevře a vypustí přebytečné plyny. Ventily jsou jednocestné, tak že se vzduch z okolí nemůže dostat do akumulátoru, kde by kyslík reakcí s elektrodami způsobil vnitřní vybíjení. Vývody akumulátoru jsou podle typů různé, konektorové nebo šroubovací, vyrobené z pocínovaného plechu.

K dosažení bezúdržbovosti akumulátorů je nutné zvládnout rekombinaci plynů vyvíjených při přebíjení akumulátoru. To je zajištěno tzv. kyslíkovým cyklem. Jeho podstata je velmi jednoduchá. Akumulátory jsou navrženy tak, že jejich záporná elektroda má větší kapacitu než kladná. Během dobíjení akumulátoru je potom kladná elektroda nabita dříve než záporná. Potom začíná vyvíjení kyslíku. Kyslík však reaguje s olovem na záporné elektrodě a tak zabrání vyvíjení vodíku. Voda obsažená v elektrolytu se tak nerozkládá a jeho množství se proto nemění. Pokud je rychlost vyvíjení kyslíku větší než absorpční schopnosti záporné elektrody, jsou přebytečné plyny vypuštěny bezpečnostním přetlakovým ventilem.

Konstrukce se spirálovými elektrodami

Konstrukce baterie se spirálovými elektrodami je uvedena na obr. 6. 6. Jedná se opět o sestavu dvou elektrod jejichž základem je olovená nosná mřížka s příměsí cínu s aktivní hmotou oxidu olovičitého a olova. Separátor mezi nimi vytváří izolační vzdálenost elektrod a je to kompozit skelných vláken a textilií nasáklý elektrolytem. Konstrukce těchto baterií je používána v současné době firmou HAWKER ENERGY Products se sídlem ve

měste Warrensburg, stát Missouri v USA. Je používána u baterií označovaných typovou sérií CYCLON. Konstrukce spirálových elektrod byla vyvinuta americkou společností GATES TECHNOLOGY.



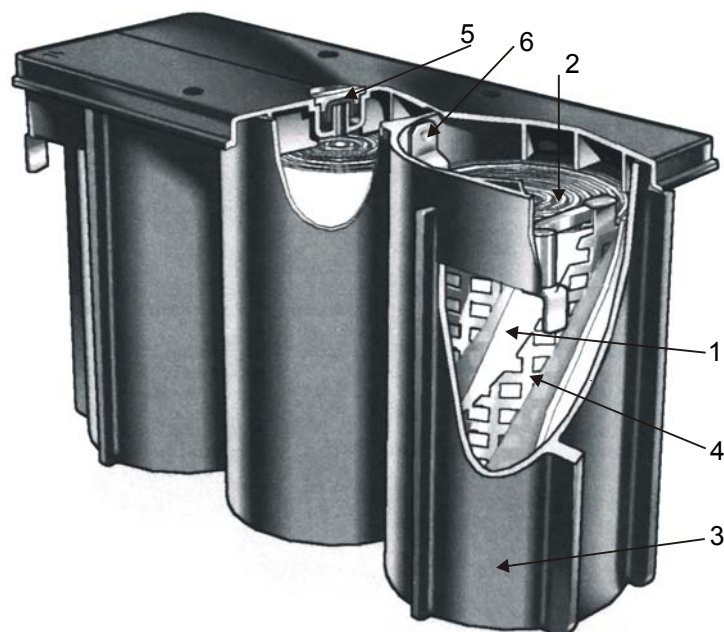
Obr. 6. 6 Konstrukce jednoduchého článku se spirálovými elektrodami

- 1 - separátor s absorbovaným elektrolytem
- 2 - elektrody
- 3 - kovové pouzdro článku
- 4 - Nosná tenká mřížka elektrod
- 5 - bezpečnostní přetlakový ventil
- 6 - vývod elektrody

Konstrukčně jsou tyto články řešeny buď v provedení samostatného článku (viz. Obr. 6. 6) nebo v sestavě několika článků tvořících pak monoblok. Sestava na obr. 6.6 tvoří v podstatě základní stavební článek baterií CYCLON.

Základní elektrochemický systém je vytvořen dvěma elektrodami, stočenými do spirály a vsunut do plastického nebo kovového pouzdra.

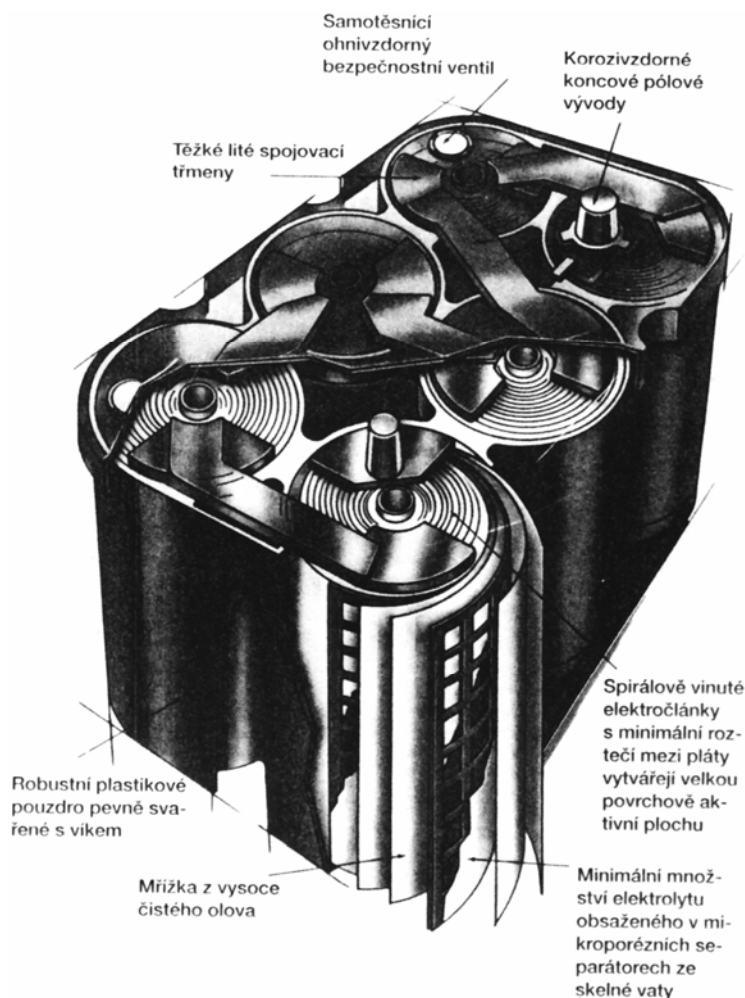
Konstrukční uspořádání šesti- voltového monobloku je ukázáno na obr. 6. 7.



Obr. 6. 7 Konstrukce baterie Monoblok CYCLON 6V

- 1 - separátor s absorbovaným elektrolytem - toto provedení baterie je klasifikováno jako suchý článek
- 2 - elektrody - jsou vytvořeny z čistého olova
 - význam - dosahuje se dlouhé životnosti, 2x vyšší než klasická
 - nízká úroveň koroze
- 3 - plastické pouzdro článku
- 4 - Nosná tenká mřížka elektrod z olova s příměsí cínu
 - význam - možnost rychlého nabíjení, není požadováno proudové omezení při nabíjení konstantním napětím
 - možnost nabití během 1 hod.
 - možnost trvalého zatížení
 - nízký vnitřní odpor baterií
- 5 - bezpečnostní přetlakový ventil - je nastaven na tlak 15 až 40 kPa (50psi)
- 6 - vývody elektrod jednotlivých článků a spojka

Uvedenou spirálovou konstrukcí elektrod používá také unikátní špičková baterie typu OPTIMA 850. Byla vyvíjena více než 9 let. Od roku 1992 je Optima Batteries majetkem společnosti Gylling Group s výrobní základnou v USA a je chráněna patnácti různými



Obr. 6. 8 Konstrukce akumulátoru OPTIMA 850

patenty. Obr. 6. 8 ukazuje konstrukční provedení baterie OPTIMA. Je předurčena svými vlastnostmi pro automobilový průmysl. To ale nevylučuje možnost jejího použití ve speciálních a náročných elektronických zařízeních.

Tato baterie je 12-ti voltová a je schopna dodat po dobu 30 s při teplotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ proud okolo 850 A, což je ve světovém měřítku zcela bezkonkurenční. OPTIMA 850 představuje kompletně uzavřený, zaplombovaný systém bez tekutého elektrolytu. Veškerý elektrolyt je obsažen v mikroporézní skelné vatě (v separátorech) mezi olověnými deskami. Vodík a kyslík vyvíjející se uvnitř baterie jsou automaticky rekombinovány na vodu. Běžné autobaterie vydrží podle velmi přísné normy USA (J240) přibližně 4000 startů. Životnost baterie OPTIMA 850 je podle stejné normy minimálně 12 000 startů.

Doba plného dobití této baterie může být zkrácena až na 1 hodinu, nabíjecí proud může být až 100 A při napětí 14.4 V.

Vydrží silné vibrace podstatně déle než běžné baterie. Zatím co běžná baterie vydrží vibrace do 4 G (33 Hz) po dobu čtyř hodin a do 6 G jednu hodinu, vydrží tato baterie tytéž hodnoty 12 hodin, resp. 4 hodiny.

Rozměry baterie jsou 245 x 172 x 199 a hmotnost je 17.7 kg.

6. 2. 4. Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky

Hloubka vybití a vybíjecí proud

Kapacita akumulátoru vyjádřená v Ah je celkové množství elektrické energie, které je akumulátor schopen dodat při zatížení jmenovitým proudem. Podle normy IEC 896-2 je kapacita definována pro deseti hodinové vybití konstantním proudem do konečného napětí 1.8V na článek. Protože však tato norma je doposud pouze návrhem, většina výrobců používá pro stanovení jmenovité kapacity dvacetihodinový odběr konstantního proudu při teplotě 20°C a konečném napětí 1.72V na článek.

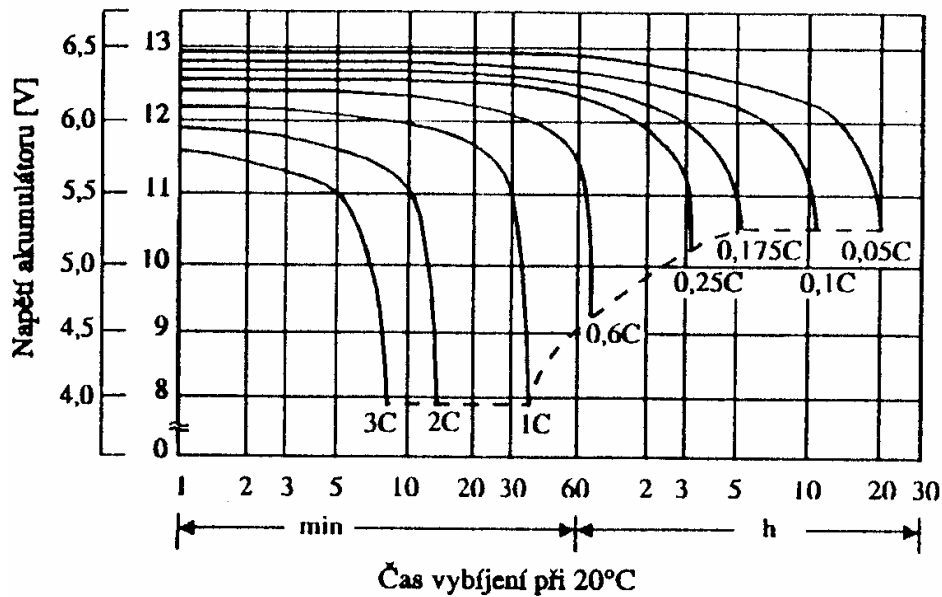
Kapacita akumulátoru je však samozřejmě závislá na odebíraném proudu, teplotě v průběhu vybití, konečném napětí a momentálním stavu baterie. Jak bylo uvedeno, jmenovitý zatěžovací proud je 1/20 kapacity akumulátoru. Zatížíme-li akumulátor jiným proudem než jmenovitým, mění se i kapacita akumulátoru a to nepřímo úměrně se zatěžovacím proudem. Je-li zatěžovací proud menší než jmenovitý, kapacita akumulátoru vzroste a naopak.

Akumulátor se tedy chová jinak pro různé zatěžovací proudy. Je důležité seznámit se s chováním akumulátoru při hlubokém vybití. Toto chování si objasníme na příkladech.

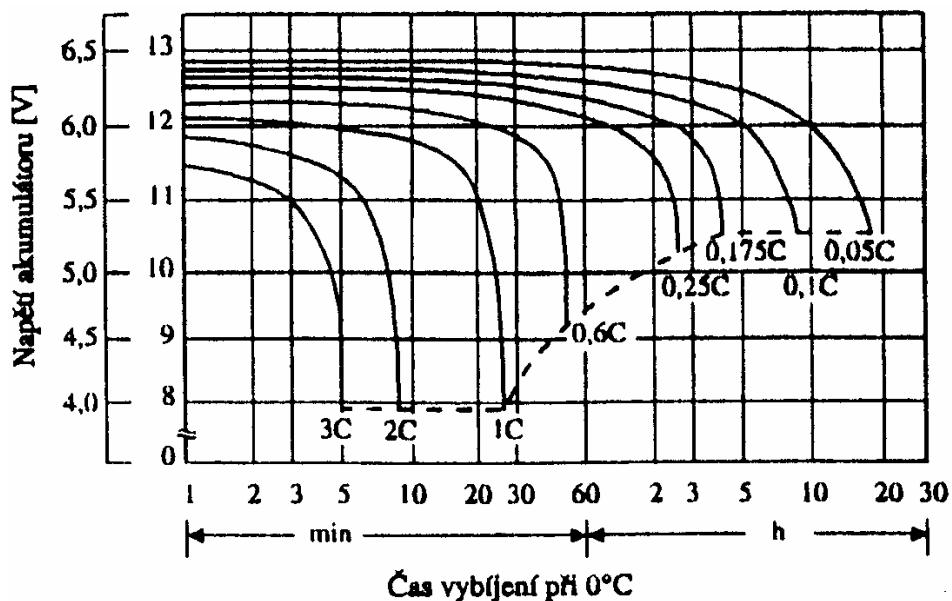
Akumulátor o kapacitě např. 4Ah bude vybitý proudem rovným kapacitě, tedy 4A až do nulového napětí. Akumulátor bude plně vybit po přibližně 30min., kdy napětí bude asi 1.5V/článek. Akumulátor je však teoreticky vybit pouze z 50%. Pokud budeme nyní pokračovat ve vybití i pod toto napětí, tedy až do 0V, dokážeme akumulátor vybit teoreticky asi na 75%. Nikdy nedosáhneme při takto velkých proudech hodnotu 100%. Proto se akumulátor z tohoto stavu velmi snadno zotaví a je možno jej bez problému dobít. Tento způsob zatěžování nemá výrazný negativní vliv na životnost akumulátoru.

Tentýž akumulátor budeme zatěžovat proudem rovným 1/100 kapacity, tedy 40mA. Akumulátor bude plně vybit (teoreticky ze 100%) po 100 hodinách vybití. Konečné napětí je cca 1.75V/čl. Pokud budeme pokračovat ve vybití konstantním proudem až do nulového napětí, můžeme akumulátor zatěžovat ještě více než 100 hodin. Takto vyčerpáme z akumulátoru naprosto všechnu energii, kterou je schopen dodat. **Tento typ vybití však může způsobit poškození akumulátoru, protože je vysoká pravděpodobnost nevratných změn na materiálu elektrod.**

Lze tedy tvrdit, že pro větší vybíjecí proudy jsou přípustná nižší konečná napětí, naopak při zatěžování velmi malými proudy je třeba pečlivě hlídat konečné napětí a odpojovat zátěž po jeho dosažení. Výše uvedené poměry jsou zachyceny na obr. 6.9 a na obr. 6. 10.



Obr. 6. 9 Typické vybíjecí křivky při teplotě 20°C

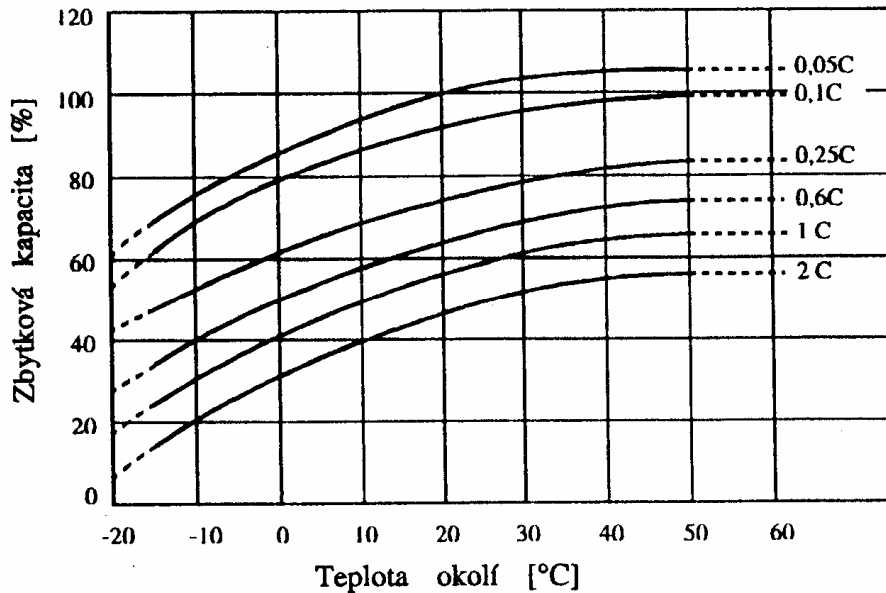


Obr. 6. 10 Typické vybíjecí křivky při teplotě 0°C

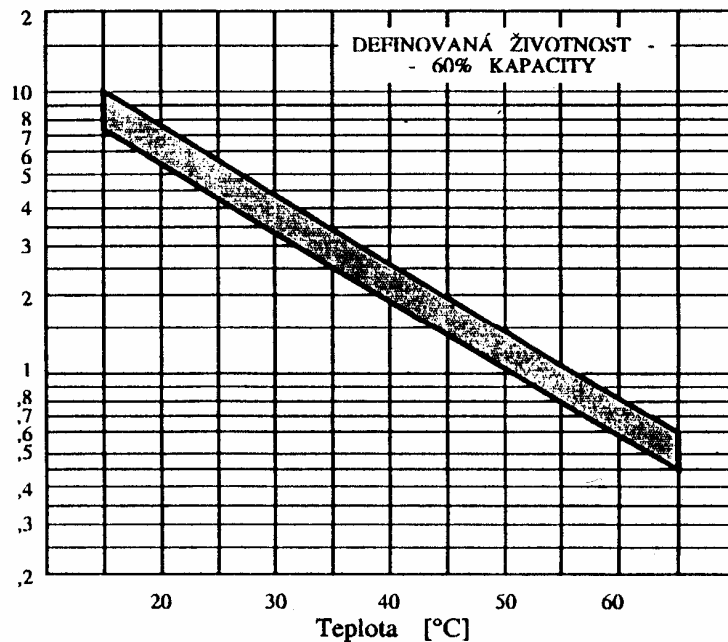
Vliv okolní teploty na kapacitu akumulátoru

Jak již bylo uvedeno, kapacita akumulátoru je závislá na vybíjecím proudy a také na teplotě okolí. Rozsah pracovních teplot bezúdržbových akumulátorů je neobyčejně široký. Kapacita poněkud stoupá se zvyšující se teplotou a klesá se snižující se teplotou okolí. Křivky závislosti kapacity na okolní teplotě pro různé zatěžovací proudy jsou uvedeny na obr. 6.11.

S teplotou sice mírně roste kapacita akumulátoru, ale také klesá životnost. Lze říci, že životnost akumulátoru klesá na polovinu pro každých 10°C až 15°C nad referenčních 20°C až 25°C. Toto je velmi důležité při návrhu umístění akumulátorů. Křivka životnosti akumulátorů v závislosti na teplotě okolí je zachycena na obr. 6.12.



Obr. 6. 11 Závislost kapacity na teplotě okolí při různém zatížení

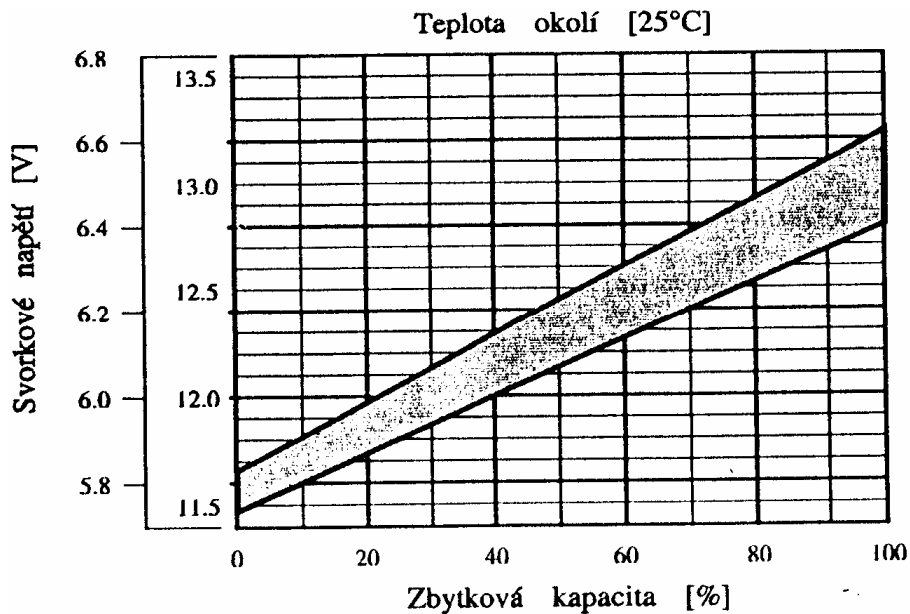


Obr. 6. 12 Závislost životnosti akumulátorů na teplotě okolí

Napětí akumulátoru naprázdno

Napětí akumulátoru naprázdno je závislé také na teplotě okolí a hlavně na zbytkové kapacitě akumulátoru. Je samozřejmé, že maximální napětí naprázdno má plně nabitý

akumulátor, minimální pak akumulátor plně vybitý. Napětí naprázdno je 2.15V/článek pro plně nabitý akumulátor a 1.94V/článek pro plně vybitý. Křivka závislosti je na obr. 6. 13.

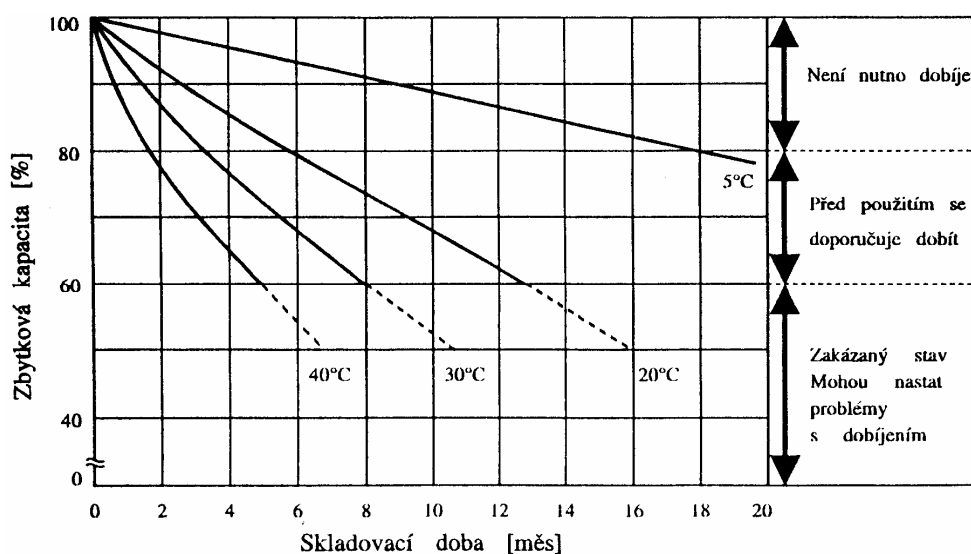


Obr. 6. 13 Závislost svorkového napětí na zbytkové kapacitě

Životnost akumulátoru

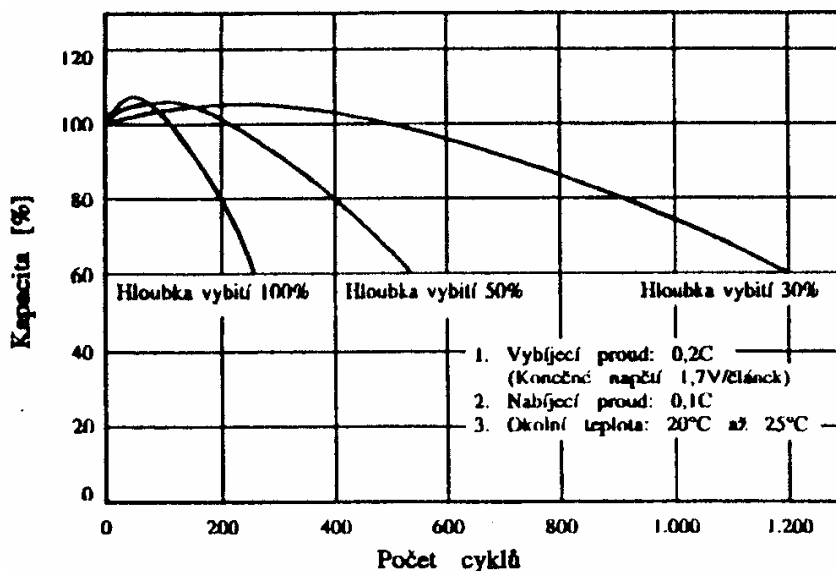
Životnost akumulátoru lze rozdělit do dvou oblastí. je to maximální doba skladování akumulátoru a následně životnost za provozu.

- Pokud jde o dobu skladování, je závislá zejména na teplotě okolí. Doba skladování je definována jako doba, za kterou vlivem samovybití poklesne kapacita na cca 60%. Pro teplotu okolí 20°C je tato doba 1 rok, pro akumulátory řady SAPHIR 18 měsíců. Vliv teploty na dobu skladování je zachycen na obr.6.14.



Obr. 6. 14 Vliv teploty na dobu skladování

- Životnost akumulátoru za provozu je závislá zejména na způsobu jeho použití. Je tedy různá pro akumulátor v cyklickém provozu, kde se definuje počtem cyklů nabití vybití (viz graf závislosti kapacity akumulátoru na počtu cyklů a hloubce vybití - obr.6.15), a pro akumulátor použitý pro zálohování napájení. V tomto režimu se životnost akumulátoru definuje jako doba, po které při trvalém dobíjení poklesne kapacita akumulátoru na 80% jmenovité hodnoty. Tato doba je samozřejmě závislá na četnosti a hloubce vybíjení, dobíjecím napětí a na teplotě okolí



Obr. 6.15 Závislost kapacity akumulátoru na počtu cyklů a hloubce vybití

Nabíjení hermetických bezúdržbových akumulátorů

Správné nabíjení je velmi důležité pro dosažení správné funkce a dlouhé životnosti akumulátorů. Špatně zvolený způsob dobíjení nebo nevhodný dobíječ může způsobit i výrazné zkrácení životnosti, nebo dokonce poškození akumulátoru.

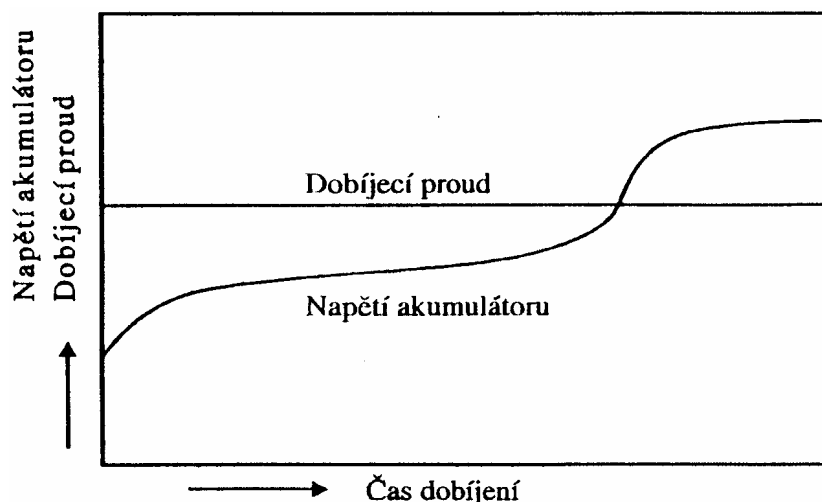
Obecně lze říci, že pro nabíjení bezúdržbových akumulátorů je nutno připojit na svorky akumulátoru napětí větší než 2.15V/článek. (napětí nabitého akumulátoru naprázdno). Pro dosažení maximální životnosti a kapacity při rozumném dobíjecím času je doporučeno dobíjení konstantním napětím s omezením proudu.

Přebíjení akumulátoru v důsledku přílišného zvýšení nabíjecího napětí způsobí rozklad vody v elektrolytu (pokud nepostačuje rekombinace) a tím může dojít k úniku plynů bezpečnostním ventilem a dokonce i k poškození akumulátoru.

Naopak, je-li nabíjecí napětí příliš malé, proud do akumulátoru přestane téct dříve než bude akumulátor plně nabit. Kapacita akumulátoru tak bude menší než jmenovitá. Pro nabíjení akumulátoru může být použito nabíjení konstantním proudem, konstantním napětím nebo i jejich kombinace.

Nabíjení konstantním proudem:

Tento způsob dobíjení je doporučován tam, kde je známá hloubka vybití z předcházejícího vybíjecího cyklu. Nabíjecí čas tak může být určen přesněji. Je však potřebné zajistit stabilizovaný zdroj konstantního proudu. Dále je nutné sledovat nabíjecí napětí, abychom předešli negativním důsledkům přebíjení akumulátoru. Průběh nabíjecího proudu a napětí akumulátoru je na obr. 6. 16.

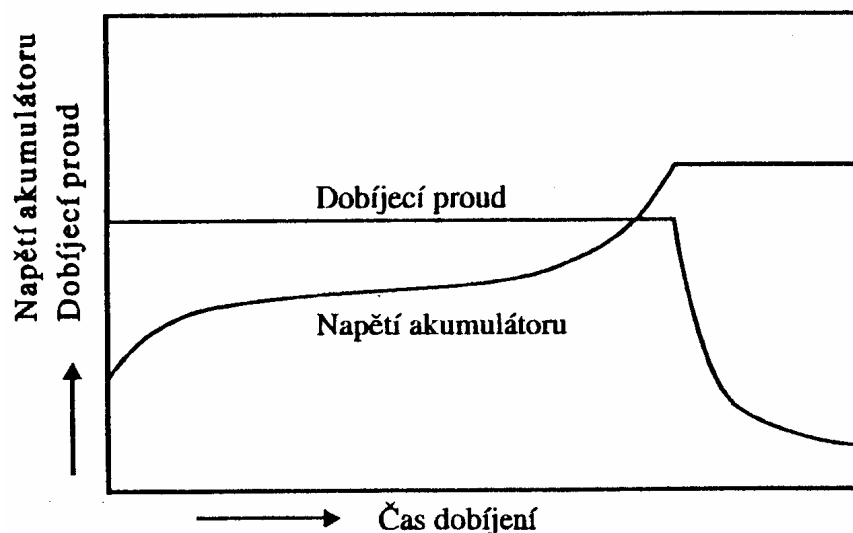


Obr. 6. 16 Průběh napětí na akumulátoru při nabíjení konstantním proudem

Nabíjení konstantním napětím:

Tento způsob nabíjení je pro bezúdržbové akumulátory nejlepší. Kromě konstantního napětí musí být omezen i proud z nabíječe, aby nedošlo k poškození akumulátoru vlivem příliš velkého nabíjecího proudu do hluboce vybitého akumulátoru. Podle aplikace mohou být akumulátory dobíjeny trvale nebo podle potřeby. V aplikacích, kde jsou akumulátory použity jako zálohovací zdroj napětí je doporučeno trvalé nabíjení. Nabíjení konstantním napětím podle potřeby se používá hlavně u přenosných zařízení, kde nelze určit hloubku vybití akumulátoru. Na obr. 6.17 je zachycen typický průběh nabíjecího proudu a napětí při nabíjení konstantním napětím s omezením proudu.

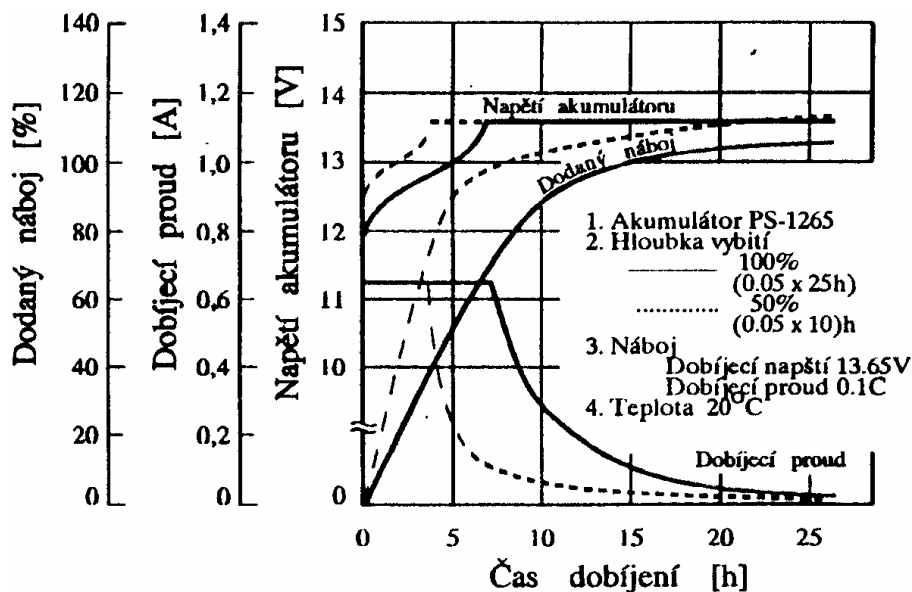
Při dobíjení roste napětí a klesá nabíjecí proud. Akumulátor je plně nabit, jestliže se proud stabilizuje na velmi nízké hodnotě (např. 0.01 CA) po dobu několika hodin.



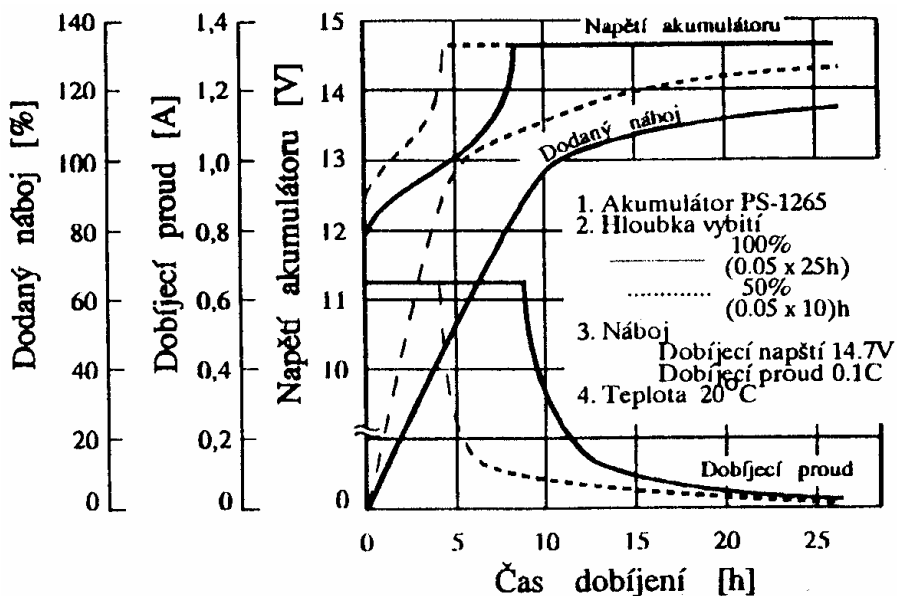
Obr. 6. 17 Nabíjení konstantním napětím s omezením proudu

Při nabíjení konstantním napětím s omezením proudu byly zmíněny dvě varianty nabíjení. Liší se hodnotou napětí pro nabíjení. Na obr. 6. 19 je nabíjecí charakteristika pro nabíjecí napětí 14.7V, používané pro nabíjení akumulátorů v cyklickém režimu, na obr. 6.18 pak nabíjecí charakteristika pro napětí 13.65V, používané pro trvalé nabíjení (standby režim).

Uvedené charakteristiky na obr. 6.18 a 6.19 dobře poslouží jako příklad a platí pro bezúdržbové akumulátory firmy POWERSONIC PS1265 - 12V/6,5Ah.



Obr. 6.18 Nabíjecí křivky při používání akumulátoru v nepřetržitém nabíjení



Obr. 6. 19 Nabíjecí křivky při používání akumulátoru v cyklickém režimu

6. 2. 5. Zásady používání bezúdržbových akumulátorů

Hermetické akumulátory jsou navrženy pro dlouhodobé aplikace, kde musí splňovat požadavek bezúdržbového a bezproblémového provozu. Dodržováním vybraných následujících bodů při montáži a používání akumulátorů se předejde problémům během provozu.

1. Trvalé přebíjení nebo nedobíjení akumulátorů je nejhorším nepřítelem olověných akumulátorů obecně. Je třeba pravidelně kontrolovat odpojování nabíječe (v případě dobíjení konstantním proudem) a správnou hodnotu nabíjecího napětí (pro nabíjení konstantním napětím).
2. Akumulátory nemohou být skladovány ve vybitém stavu. Jestliže byl akumulátor vybit, nebo není známá zátěž, do které akumulátor pracoval, je třeba neprodleně akumulátor nabít, případně jej ponechat připojený na nabíječ po delší dobu, dokud akumulátor nezačne odebírat odpovídající proud.
3. Akumulátory nesmí být vystaveny teplu. Při teplotách vyšších než 30°C dochází k rapidnímu snižování životnosti akumulátorů. Akumulátory nesmí být v dosahu tepla vyzařujících předmětů (radiátory, přímotopná topidla).
4. K zamezení přílišného vybití akumulátoru při skladování vlivem samovybíjení je nutno skladovat akumulátory v pokojové nebo nižší teplotě. Je doporučeno nabít akumulátory během skladování každých 6 až 9 měsíců.
5. Akumulátory musí být pevně uchyceny v rámu zařízení. Pokud jsou vystaveny nárazům a vibracím, je doporučeno udělat opatření pro pohlcení rázů a vibrací (např. umístit akumulátory na pružnou podložku ap.).
6. Je také možné nabíjet akumulátory velmi rychle (během 2 až 3 hodin), není to však doporučený postup. Příliš velký nabíjecí proud může způsobit vyvíjení plynů a ztrátu elektrolytu. Dochází také k vyvíjení tepla v akumulátoru, takže může dojít ke zkrácení životnosti vlivem tepelného přetěžování.
7. Protože existuje možnost vyvíjení plynů při přílišném přebíjení akumulátorů, je nutné zabezpečit větrání prostoru, kde jsou akumulátory umístěny. Postačí však obvyklá ventilace místností.
8. Neumísťovat akumulátory do těsné blízkosti předmětů, které mohou být zdrojem jiskření nebo plamenů.
9. Vytváření zdrojů vyšších napětí je možné sériovým řazením akumulátorů. Je ale nutno použít vždy akumulátory o stejné kapacitě. Při použití různých kapacit v sériovém zapojení by docházelo k přebíjení nebo nedobíjení některých akumulátorů.
10. Obaly akumulátorů jsou vyrobeny z plastu ABS. Mohou být poškozeny působením organických ředidel nebo lepidel.
11. Pro dosažení dobré funkčnosti a životnosti je doporučeno udržovat pracovní teplotu mezi -20°C až +50°C.

6. 2. 6. Testování kvality u výrobce

Výrobce se snaží zajistit kvalitu akumulátorů a provádí testování hotových výrobků. Pro příklad jsou zde uvedeny některé druhy zkoušek, které provádí firma POWERSONIC.

- **Test kapacity**

Akumulátory jsou vybíjeny proudem 0,3 CA. Po 120 minutách nepřetržitého vybíjení, nesmí být napětí zatíženého akumulátoru menší než 1.75V na článek. Zkouší se 100% výroby.

- **Test velkým zatěžovacím proudem**

Akumulátor je zatížen proudem 2 CA (např. pro 15Ah akumulátor 30A) po dobu 5s. Po tuto dobu je snímáno svorkové napětí akumulátoru, které nesmí být nižší než 1.75V/článek. Zkouší se 100% výroby.

- **Test kapacity při střední zátěži**

Akumulátor je plně nabit a následně vybíjen proudem 0.2 CA do konečného napětí 1.7V/článek. Doba vybíjení nesmí být menší než 4h. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby (podle použité metody řízení kvality výroby).

- **Test kapacity vysokým zatížením**

Plně nabitý akumulátor je vybíjen proudem 2 CA do konečného napětí 1.35V/článek. Doba vybíjení musí být alespoň 12 minut. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Zkouška životnosti v závislosti na skladování**

Plně nabité akumulátory jsou skladovány po dobu 2 týdnů v teplotě 55°C. Potom jsou vybíjeny v pokojové teplotě proudem 0.2 CA do konečného napětí 1.7V/článek. Vybíjecí doba musí být nejméně 2 hodiny, tzn. že vlivem samovybíjení nesmí kapacita poklesnout na méně než 50%. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Zkouška zkratováním**

Plně nabitý akumulátor je zapojen do nízkoodporové zátěže a potom zkratován. U akumulátoru je kontrolována teplota, vydutí a možnost vzplanutí. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Zkouška nárazem**

Akumulátor je 4x vržen z výšky 1m na tvrdou podložku. Akumulátory jsou pak kontrolovány na prasklinu, deformace a změnu svorkového napětí. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Zkouška odolnosti proti vibracím**

Akumulátor se zkouší vibracemi o frekvenci 33Hz s amplitudou 2,5mm působícími v libovolné ose po dobu dvou hodin. Po ukončení zkoušky nesmí vykazovat žádné známky poškození, úniku elektrolytu, ani změny v elektrických charakteristikách. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Zkouška přebitím**

Plně nabitý akumulátor je přebíjen proudem 0,1 CA 48 hodin. Pak je na 2 hodiny odpojen a poté vybíjen proudem 0,1 CA do konečného napětí 1,75V/článek. Doba vybíjení musí být nejméně 8,5 hodiny, tzn. že akumulátor musí být schopen vybití z 95% kapacity bez jakýchkoliv problémů. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Kontrola správné funkce bezpečnostních ventilů**

Plně nabité akumulátory jsou ponořeny do nádrže s minerálním olejem, kde jsou nabíjeny proudem 0.4 CA. Při takovémto přebíjení musí začít pracovat bezpečnostní ventily, což se projeví vytvářením bublin. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Test životnosti cyklováním**

V pokojové teplotě (25°C) jsou akumulátory vybíjeny proudem 0,2 CA do konečného napětí 1,7V/článek a nabíjeny proudem 0,25 CA při napětí 2,5V/článek dokud nepoklesne nabíjecí

proud na 0,01 kapacity. Po 175 cyklech musí být kapacita akumulátoru nejméně 60% původní kapacity. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.

- **Zrychlená zkouška životnosti**

Při teplotě 60°C jsou akumulátory připojeny jako zálohovací na zdroj napětí 2.3V/čl. Každý měsíc je zkoušena kapacita akumulátorů. Měsíc provozu v teplotě 60°C bez teplotní kompenzace odpovídá 16 měsícům provozu v normální teplotě. Akumulátory musí pracovat při zkoušce bez problémů nejméně 4 až 5 měsíců, než klesne kapacita na 60%. Zkoušce se podrobuje pouze část výroby.