

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace  
Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky  
Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky  
Vedoucí katedry: doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
Posouzení vybraných vlastností akumulátorů

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Vávra, Ph.D

Autor: Michal Šopejstal

České Budějovice, duben 2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal ŠOPEJSTAL**  
Osobní číslo: **Z08486**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační prostředky**  
Název tématu: **Posouzení vybraných vlastností akumulátorů.**  
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je vytvořit přehled používaných akumulátorů a na základě naměřených a zpracovaných údajů posoudit základní vlastnosti akumulátorů.

Akumulátor je elektrochemický zdroj elektrické energie stejnosměrného elektrického proudu. Využití akumulátorů je velmi široké - v průmyslu i v běžném uživatelském prostředí se pomocí akumulátorů startují spalovací motory automobilů, využívají se záložní a napájecí stanice výpočetní techniky nebo se používají mnohé domácí spotřebiče, nebo různá nářadí, které je nutné napájet nezávisle na pevné distribuční síti. Přímo záplava malých akumulátorů je obsažena např. v přenosných a mobilních komunikačních přístrojích a v zařízeních informačních technologií. Použitím nových výrobních technologií, zlepšení vlastností základních materiálů a využitím nových materiálů pro separátory a nádoby článků se podařilo poněkud zmenšit měrnou hmotnost a omezit samovybíjení článků i zlepšit pohodlí obsluhy a zvýšit bezpečnost.

V automobilech jsou vesměs používány akumulátory olovené. Svou vnitřní konstrukcí jsou uzpůsobené ke startování, neboli ke krátkodobému odběru značně velkého proudu, proto jsou také tak označovány. Kromě nich se vyrábějí akumulátory trakční, záložní a staniční, které jsou koncipovány pro dlouhodobé vybíjení. Také lze volit akumulátory materiálu elektrod, nebo elektrolytu.

### Zásady pro vypracování:

1. Vytvořit analýzu problematiky akumulace elektrické energie.
2. Vytvořit přehled vlastností jednotlivých akumulátorů a možnosti jejich použití.
3. Provést porovnávací měření vybraných vlastností akumulátorů.
4. Na základě naměřených a zpracovaných hodnot posoudit akumulční vlastnosti alespoň dvou typů akumulátorů.

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 40 - 50 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná


Seznam odborné literatury:

Celinski, Z. : Nové zdroje elektrické energie. Nakladatelství technické literatury: Praha, 1985, str. 142-162; Šťastný, J., Remek, B.: Autoelektrika a autoelektronika. T. Malina nakladatelství: Praha, 2003, 6.vyd, str. 138 - 158; Arendáš, M., Ručka, M.: Nabíječky a nabíjení; BEN technická literatura, Praha, 1995, 126 s.; Časopis - Autoexpert; Bača, P.: Studium složek vnitřního odporu kladné elektrody s důrazem na identifikaci procesů způsobujících předčasnou ztrátu kapacity olověných akumulátorů. Brno : Vysoké učení technické, 2003, 28 s. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. Edice PhD Thesis; sv. 182. ISBN 80-214-2363-3; Provoz a údržba akumulátorů 1. vyd., Praha : Dům techniky ČSVTS, 1990, 67 s. ISBN 80-02-00411-6; Akumulátory od principu k praxi. Praha : FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-86534-03-0; Cenek, M.: Akumulátory a baterie. 1. vyd., Praha : STRO.M, 1996, 149 s.; Kozumplík, J. Akumulátory motorových vozidel. 1. vyd., Praha : NADAS, 1985, 236 s.; Zdeněk, J. Elektrotechnika motorových vozidel I. 1. vyd., Brno : Avid, 2001, 199 s.; Szabó, J.: Automatizované pracoviště pro měření impedančních vlastností elektrodoých materiálů pro olověné akumulátory. Brno : Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009; Marek, J., Stehlík, L.: Hermetické akumulátory v praxi . 1. vyd., Praha : IN-EL, 2004, 142 s. ISBN 80-86230-34-1; Hammerbauer J.: Elektronické napájecí zdroje a akumulátory. 2. vyd., Plzeň : Západočeská univerzita, 1998, 181 s. ISBN: 80-7082-411-5.

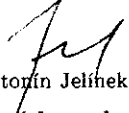
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Vávra, Ph.D.**  
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2011**

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 3 ①  
370 05 České Budějovice

  
doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2010

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum: 14.4.2011

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Vávrovi, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na bakalářskou práci.

Taktéž děkuji firmě FULGUR BATTMAN, spol. s r.o. a jejímu personálu za vstřícný přístup a poskytnutí akumulátorů.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je posoudit vybrané vlastnosti akumulátorů. V literární části jsou popsány především charakteristiky nabíjení a vybíjení, parametry životnosti a konstrukce. Další část je věnována metodice pro praktické ověření vlastností vybraných z akumulátorů. Dále je provedeno srovnání a měření čtyř vybraných akumulátorů. Získaná data z měření jsou následně vyhodnocena.

## **Klíčová slova**

Akumulátory; olověný kyselý akumulátor; nabíjecí charakteristika; Peukertova konstanta.

## **Summary**

The aim of this Bachelor thesis is examine selected properties of accumulators. In the literary part are mainly described their characteristics of charging and discharging, parameters of working life and construction. The next part is about methodology for practical verification selected properties of the accumulators. Another part consists of comparing and measurement four selected accumulators. Obtained data from measurements are then evaluated.

## **Keywords**

Accumulators; lead-acid accumulator; charge characteristics; Peukert's law

<b>1. Úvod.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Akumulátory.....</b>	<b>8</b>
2.1 Olověné akumulátory .....	8
2.1.1 Konstrukce olověných akumulátorů .....	8
2.1.2 Elektrolyt olověných akumulátorů .....	15
2.1.3 Průběh nabíjecí a vybíjecí charakteristiky .....	17
2.1.4 Životnost olověných akumulátorů .....	18
2.2 Niklkadmiové (NiCd) akumulátory .....	20
2.2.1 Konstrukce NiCd akumulátorů .....	20
2.2.2 Elektrolyt niklkadmiových článků.....	22
2.2.3 Vybíjecí charakteristika Ni-Cd akumulátorů.....	23
2.2.4 Životnost niklkadmiových akumulátorů.....	25
2.3 Nikl-metalhydridové akumulátory (NiMH) .....	26
2.3.1 Konstrukce článku (NiMH) .....	27
2.3.2 Elektrolyt NiMH akumulátorů.....	28
2.3.3 Nabíjecí charakteristika Ni-MH akumulátorů .....	28
2.3.4 Vybíjecí charakteristika Ni-MH akumulátorů .....	29
2.4 Lithium-iontové akumulátory (Li-Ion).....	30
2.4.1 Nabíjení a nabíjecí charakteristika Li-ion akumulátorů .....	31
2.4.2 Vybíjecí charakteristika Li-ion akumulátorů.....	32
2.4.3 Životnost Li-ion akumulátorů.....	32
2.5 Lithium-polymerové akumulátory (Li-Pol) .....	34
2.5.1 Nabíjecí a vybíjecí charakteristika Li-Pol akumulátorů .....	35
2.5.2 Životnost Li-Pol akumulátorů.....	36
<b>3. Obecné nabíjecí charakteristiky .....</b>	<b>37</b>
3.1 Nabíjení dle charakteristiky I .....	37
3.2 Nabíjení dle charakteristiky U.....	38
3.3 Nabíjení podle charakteristiky W.....	39
3.4 Obecný popis dvoustupňového nabíjení .....	40
<b>4. Cíle.....</b>	<b>42</b>

<b>5. Materiál a metody .....</b>	<b>43</b>
5.1 Použité akumulátory.....	43
5.2 Podmínky měření .....	44
5.2.2 Varianta měření .....	44
5.3 Použité měřicí přístroje .....	45
5.4 Použitý nabíječ .....	46
5.5 Postup vybíjení .....	47
5.6 Postup nabíjení .....	48
5.7 Postup výpočtu .....	49
<b>6. Dosažené výsledky a diskuse .....</b>	<b>50</b>
6.1 Množství a poměr dodané a vydané energie .....	50
6.2 Vliv zátěže na množství dodané a vydané energie.....	53
6.3 Závislost doby vybíjení a zátěže .....	54
6.4 Vliv teploty na dobu vybíjení.....	57
6.5 Souhrn dosažených hodnot.....	58
<b>7. Závěr.....</b>	<b>59</b>
<b>8. Seznam použité literatury.....</b>	<b>61</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>63</b>

# 1. Úvod

Akumulátor je elektrochemický zdroj elektrické energie. Poskytuje stejnosměrné napětí o různé velikosti v závislosti na počtu článků, použitém materiálu elektrod a elektrolytu.

V dnešní době je značná část přístrojů, používaná v každodenním životě, poháněna elektrickou energií z akumulátorů, což umožňuje vysokou mobilitu zařízení a v některých případech, tím může být zvýšena bezpečnost. Ale v některých případech se bez akumulátoru nelze obejít, např. z důvodu nedostupnosti elektrické sítě. V běžné činnosti jde především o fotoaparáty, mobilní telefony, výpočetní techniku, ale i o různé světelné zdroje a ruční nářadí.

Trend elektrického pohonu, již před mnoha lety, pronikl do oblasti manipulace s břemeny, kde jedná se zejména o použití v pohonu pro paletové vozíky případně vozíky vysokozdvížné.

V současné době se použití akumulátoru, jako hlavního zdroje pohonu, začíná uplatňovat i v osobní dopravě. Nejen jako, zdroje energie po různá jízdní elektrokola a malé motocykly, ale i pro automobily. Výrobci automobilů se doslova „předhánějí“ ve vývoji a představování koncepcí vozů s elektrickým pohonem.

Dnešní akumulátory zpravidla umožňují práci v jakékoliv poloze a s nízkou závislosti na okolní teplotě. Snahou je vyrobit akumulátory s co nejvyšší koncentrací energie vztaženou na vlastní hmotnost akumulátoru, případně s co nejnižšími nároky na prostor.

Z tohoto důvodu budou v této práci budou popsány nejpoužívanější druhy akumulátorů. Dále bude provedeno měření a posouzených vybraných parametrů.



## **2. Akumulátory**

### **2.1 Olověné akumulátory**

Charakteristické znaky pro tyto akumulátory jsou elektrolytem je zředěná kyselina sírová, jmenovité napětí jednoho článku je 2V. Aktivní hmotou kladných elektrod je oxid olovičitý, záporných elektrod olovo. Vyznačují se malým vnitřním odporem a tím možností odebírat velké proudy.

#### **2.1.1 Konstrukce olověných akumulátorů**

##### **Elektrody olověných akumulátorů**

Elektrody jsou základní části akumulátorů. Na konstrukci elektrod závisí, jaké dosáhne akumulátor kapacity, jak velkým vybíjecím proudem může být efektivně vybíjen a jakou bude mít životnost v provozu trvalého nabíjení nebo v cyklickém provozu.

Klasické konstrukce kladných a záporných elektrod se vyrábějí jako desky obdélníkového tvaru. Kromě uvedených tvarů se používají i jiné konstrukce elektrod s parametry, které nelze klasickými konstrukcemi elektrod dosáhnout (bipolární, spirálové apod.).

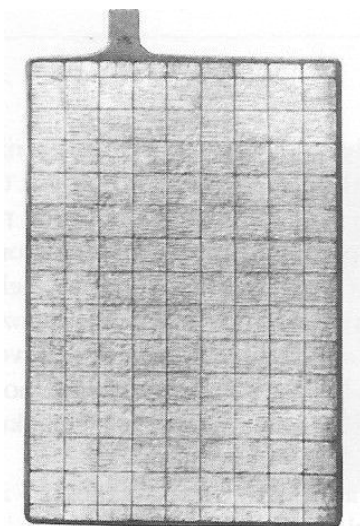
Kladné elektrody jsou více namáhány chemickými reakcemi a fyzikálními změnami, než elektrody záporné a kratší životností limitují i životnost akumulátorů. Aby kladné elektrody co nejlépe vyhovovaly hlavnímu účelu použití akumulátorů, používají se různé konstrukce kladných elektrod.

Záporné elektrody pro všechny typy startovacích, trakčních a staničních akumulátorů se vyrábí odléváním nebo válcováním a tažením mřížek z olověného pásu. Legovací přísady jsou podobné jako při výrobě kladných mřížek.

## Mřížkové elektrody

Výhodou mřížkových elektrod je snadná výroba, malá hmotnost, malý objem a nízká cena. Nevýhodou je jejich kratší životnost, jak v cyklickém provozu (100 cyklů u startovacích akumulátorů, 300 až 700 cyklů u trakčních akumulátorů), tak i v provozu trvalého nabíjení konstantním napětím.

Podle účelu použití se vyrábějí elektrody s různými tloušťkami. Kladné elektrody o větší tloušťce se používají pro výrobu průmyslových akumulátorů (trakčních, staničních). Elektrody o menší tloušťce než přibližně 2,5 mm mají menší vnitřní elektrický odpor, než elektrody větší tloušťky, a proto se využívají ve výrobě startovacích akumulátorů.



*Obr. č. 1 Mřížková elektroda*

[1]

Kolektory se vyrábějí odléváním z olova legovaného 5 až 7 % antimonu pro dosažení lepších vlastností olova, zvýšení mechanické pevnosti elektrod a k dosažení vyšší odolnosti v cyklickém provozu.

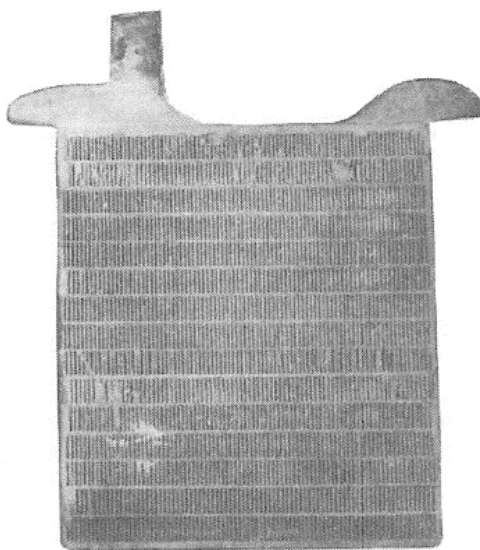
Nevýhodou takového množství antimonu je zvýšené samovybíjení akumulátorů, které se dále zvyšuje jejich stárnutím. Výrobci akumulátorů proto snižují množství antimonu až na 1,8 % a antimon nahrazují arzenem, selenem, telurem, nebo 0,05 až 1 % vápníku s 0,3 až 0,7 % cínu. Elektrody bez antimonu, legované vápníkem, jsou náchylnější na přebíjení a hluboké vybíjení. Pro zvýšení odolnosti při provozu za vyšších teplot se též začalo přidávat malé množství stříbra a hliníku.

## **Velkopovrchové (Plantého) elektrody**

Odlévají z velmi čistého olova, mívají tloušťku 7 až 12 mm. Aktivní hmota oxid olovičitý se vytváří na povrchu olova formováním elektrod ve zředěné kyselině sírové za přísady oxidačních látek, nejčastěji chloristanu draselného, pro urychlení formování.

Protože se na povrchu olova vytváří jen tenká vrstva aktivní hmoty oxidu olovičitého, zvětšuje se povrch elektrod žebrováním.

I přes uvedenou úpravu nepřesahuje vytvořená aktivní hmota 25 % hmotnosti elektrod, zbytek 75 % tvoří olověná kostra.



*Obr. č. 2 Velkopovrchová elektroda*

[1]

## **Trubkové (pancéřové) elektrody**

Životností v počtu cyklů v provozu trvalého dobíjení na konstantní napětí se blíží elektrodám velkopovrchovým, jejich hmotnost a objem je přibližují lehkým elektrodám mřížkovým.

Elektrody jsou sestaveny z olověného hřebene, jehož trny jsou zasunuty v trubicích z kyselinovzdorných textilních vláken. Aktivní hmota pak vyplňuje prostor kolem trnů v trubicích. Textilní trubice brání uvolňování aktivní hmoty a její odpadávání do kalového prostoru akumulátoru. Životnost elektrod proto závisí na korozní odolnosti olověného kolektoru.

Přes uvedené výhody je výroba elektrod poněkud náročnější a jejich vnitřní elektrický odpor větší než odpor mřížkových elektrod. Někteří výrobci dosahují snížení vnitřního elektrického odporu použitím textilních trubic o menším průměru.

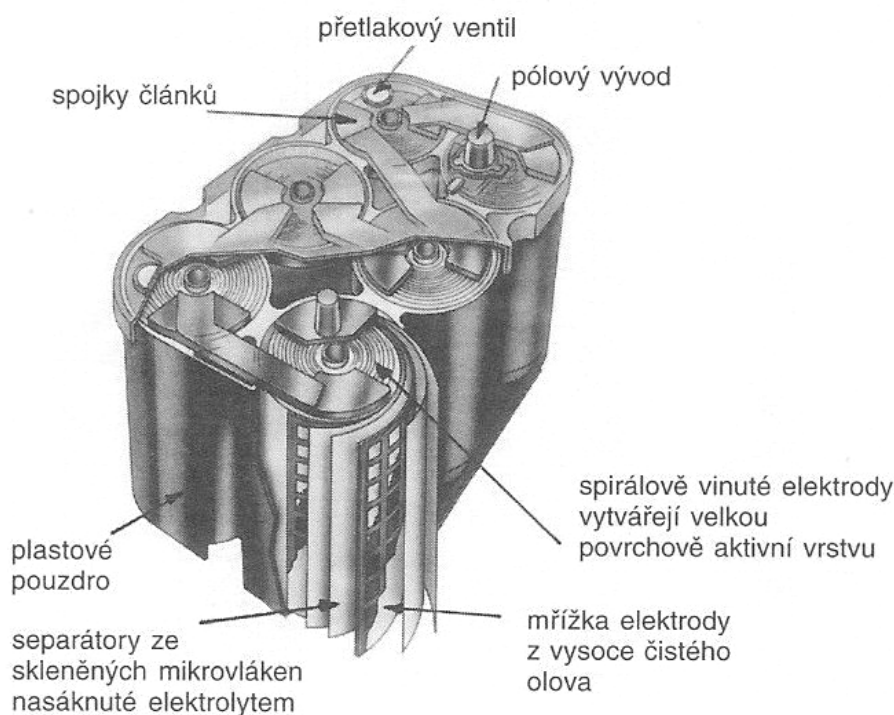
## Tyčové elektrody

Mají kolektor podobný elektrodám mřížkovým s tím rozdílem, že svislá žebra jsou zesílena do tvaru tyček. Tím se snižují proudové ztráty v kolektoru při zatěžování vyššími proudy a prodlužuje se životnost elektrod (korodování kolektoru probíhá pomaleji). Aktivní hmota je po nanesení na kolektor zpevněna uzavřením do obálky plastového separátoru, aby nedocházelo k jejímu uvolňování a odpadávání do kalového prostoru akumulátoru.

Životností se tyčové elektrody blíží elektrodám trubkovým, mají ale menší objem a menší vnitřní elektrický odpor. Jsou proto vhodné pro vybíjení vyššími proudy.

## Spirálové elektrody

Zhotovují se válcováním mřížek elektrod z pásu čistého olova a vetřením pasty aktivní hmoty do mřížek. Pásky kladné a záporné elektrody se po proložení speciálním separátorem ze skleněných mikrovláken svinou do těsné spirály a vkládají do článkové nádoby válcovitého tvaru. Elektrolyt je pouze nasáknut do separátoru a aktivních hmot elektrod. Mají zhruba třikrát větší životnost.



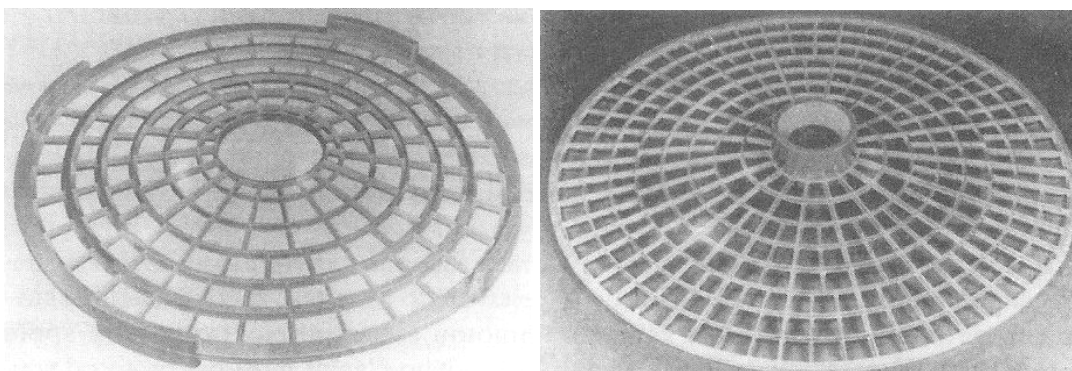
[2]

*Obr. č. 3 Akumulátorová baterie se spirálovými elektrodami, ventilem řízená*

## Diskové elektrody

Jsou určeny pro staniční akumulátory mají kruhový tvar. Podle matematického modelu, se tlak expandující aktivní hmoty stejnoměrně rozkládá do zesíleného kruhového obvodu elektrod a zeslabuje se vydouváním středu elektrod. Zamezuje se tím nerovnoměrnému rozložení tlaků expandující aktivní hmoty spojené s praskáním mřížek, jako u klasických elektrod. To se příznivě projevuje na životnosti elektrod.

Kladné a záporné elektrody proložené separátory se sestavují do sloupců. Kladné elektrody se spojují paralelně v sadu svařením sloupků po obvodě elektrod, záporné elektrody se spojují paralelně středovým prstencem.



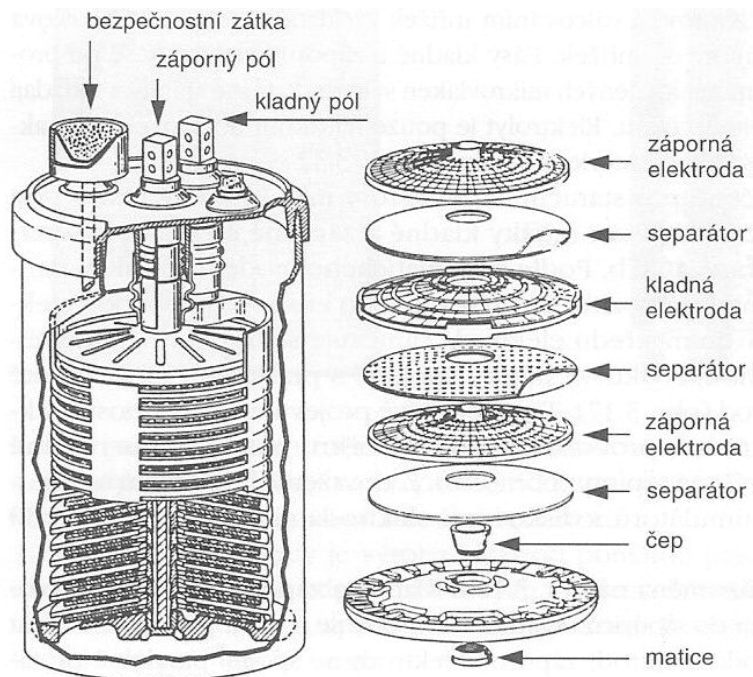
*a*

*b*

*Obr. č. 4 Provedení mřížek diskových elektrod*

*a – kladná elektroda, b– záporná elektroda*

[1]



Obr.5 Akumulátorový článek „bell“ s diskovými elektrodami

[1]

## Separátory

Elektricky oddělují kladné elektrody od záporných. Musí umožňovat, co nejlepší průchod iontů, minimální elektrický odpor a zabránit průchodu kovů a částic aktivní hmoty z elektrod jedné polaroty na elektrody opačné polaroty. Používají se buď ve tvaru plátů přesahujících ze všech stran okraje elektrod, nebo ve tvaru „schránek“. Do každé schránky se zasouvá jedna kladná elektroda. Protože jsou schránky ze spodní strany uzavřené, odpadávající kal zůstává ve schránce. Proto může být snížen, nebo odstraněn kalový prostor a tím snížena i výška akumulátoru.

Papírové (celulókové) separátory zhotovují se z dlouhovláknenné celulózy, pro zvýšení chemické odolnosti impregnované například fenolformaldehydovou nebo jinou vhodnou pryskyřicí. Tyto separátory mají relativně malý elektrický odpor a dobrou průchodnost iontů. Výhodou je jejich nízká cena, nevýhodou je krátká životnost následkem postupné degradace celulózových vláken.

Mikroporézní separátory se zhotovují například z PVC, pryže, nebo vysokomolekulárního polyetylénu. Životnost těchto separátorů většinou přesahuje životnost staničních akumulátorů.

Separátory ze skleněných vláken používají se společně s mikroporézními separátory pro zvýšení životnosti akumulátorů pracujících v těžkých provozech.

Příkládají se na stranu kladných elektrod. Separátory ze skleněných mikrovláken o větší tloušťce vrstvy se používají v akumulátorech řízených ventilem (VRLA), s elektrolytem pouze nasáknutým v separátorech a elektrodách (AGM).

### **Spojovací můstky**

Slouží k vzájemnému propojení článků. Obvykle jsou zhotoveny z olova a antimonu.

### **Zátky**

Podle konstrukce slouží zátky u akumulátorů se zaplavenými elektrodami k oddělení vnitřního prostoru akumulátorů od vnějšího prostředí a chrání tak akumulátory, proti vniknutí cizích těles a prachu. Navíc mohou zátky plnit další úkoly, jak je popsáno v příloze D.

Ventily se používají hlavně u akumulátorů řízených ventilem (rekombinačních, hermetizovaných).

### **Nádoby**

Pro běžné kapacity akumulátorů se používají nádoby s několika články, konstruované jako monobloky. Nádoby s jedním článkem se zhotovují pro trakční a staniční akumulátory s velkou kapacitou.

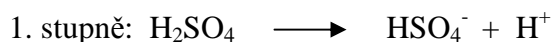
Nejpoužívanějšími materiály pro výrobu nádob akumulátorů jsou například polypropylen, kopolymer polypropylénu s polyetylénem, akrylostyrénová pryskyřice, styrolekrylnitril a směs akrylové pryskyřice s butadiénovou pryží. Tyto nádoby mají menší hmotnost a lepší rázuvzdornost než nádoby z tvrzené pryže. Výhodou použití průsvitných plastických hmot pro akumulátory se zaplavenými elektrodami je možnost kontrolovat výšku hladiny elektrolytu přes průhledné, nebo průsvitné stěny nádob, bez snímání zátek a bez používání zátek se signalizací výšky hladiny elektrolytu.

Každý článek má zpravidla u dna kalový prostor pro ukládání kalů z odpadávající aktivní hmoty elektrod. Kalový prostor musí být tak velký, aby po celou dobu životnosti nedošlo ke zkratu elektrod nahromaděným kalem. Kalový prostor je rozdělen opěrnými hranoly pro elektrody. Nad kalovým prostorem je

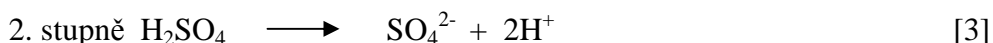
prostor elektrodový a nad ním u elektrod zaplavených je prostor plnicí a v nejvyšší části článku je prostor plynovací.

### 2.1.2 Elektrolyt olověných akumulátorů

Elektrolytem v olověných akumulátorech je vodou zředěná kyselina sírová, která disociuje na síranové ionty se záporným elektrickým nábojem a vodíkové ionty s kladným elektrickým nábojem, převážně do:



a zčásti do:

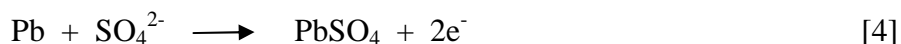


Ionty rozštěpené kyseliny sírové reagují při vybíjení s aktivními materiály elektrod.

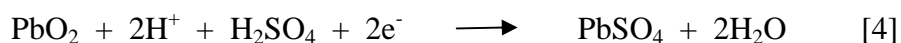
Záporné elektrody při vybíjení uvolňují elektrony a reagují se zápornými ionty kyseliny sírové (oxidují) za vzniku sulfátu (síranu) olovnatého.



Zjednodušeně znázorněno:

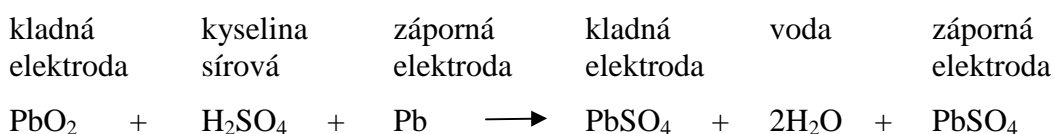


Aktivní hmotou kladných elektrod je oxid olovičitý. Elektrony, které jsou při vybíjení uvolňovány zápornými elektrodami, putují vnějším uzavřeným elektrickým obvodem ke kladným elektrodám. Současně se oxid olovičitý redukuje za vzniku síranu olovnatého a vody :



### Celková reakce probíhající v olověném akumulátoru

Je znázorněna pro případ vybíjení akumulátoru následující, velmi zjednodušenou chemickou rovnicí, včetně ekvivalentního množství reagujících materiálů v gramech potřebných k získání náboje 1 Ah. Při nabíjení akumulátoru probíhají reakce v obráceném sledu.





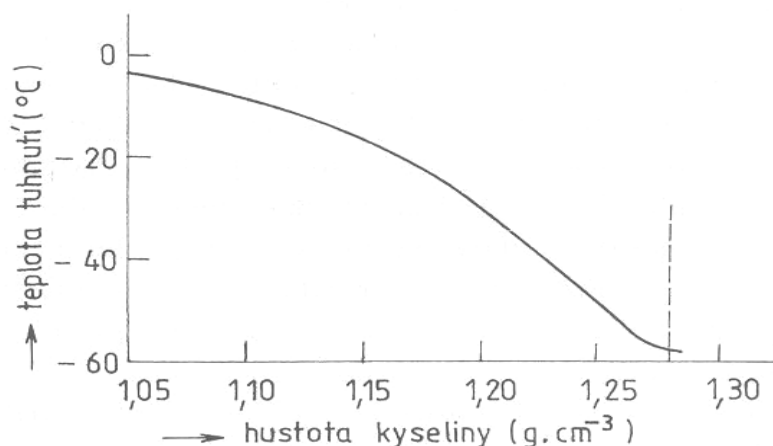


Závisí na hustotě elektrolytu a na jeho teplotě. Největší elektrickou vodivost má elektrolyt v nabitých akumulátorech. S poklesem hustoty elektrolytu při vybíjení klesá i jeho elektrická vodivost.

### Vliv teploty na elektrolyt

S růstem teploty zvyšuje elektrolyt svůj objem, a proto jeho hustota klesá přibližně o  $0,01 \text{ g/cm}^3$  na každých  $15^\circ\text{C}$ . [3]

Čím hlouběji se akumulátor vybíjí, tím má elektrolyt menší hustotu, a tím snadněji tuhne při teplotách pod bodem mrazu.

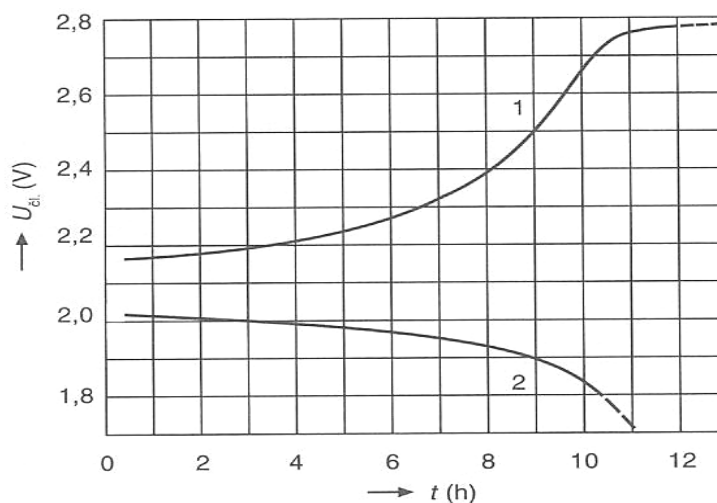


Obr. č. 7 Závislost bodu tuhnutí na hustotě elektrolytu

[3]

### 2.1.3 Průběh nabíjecí a vybíjecí charakteristiky

Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky udávají průběh napětí, popř. proudu v čase.



[5]

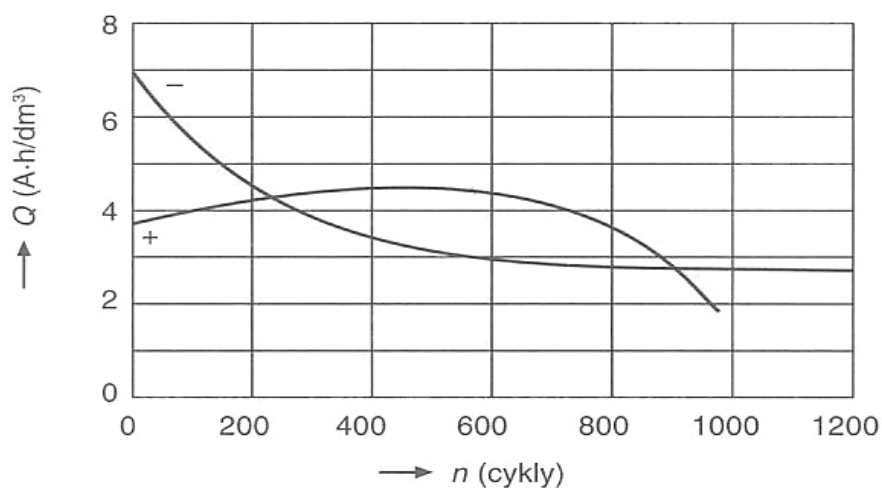
*Obr. č. 8 Obvyklý průběh napětí olověného akumulátoru při nabíjení a vybíjení konstantním proudem.*

*1 – nabíjení proudem 0,1C10 [A], 2 – vybíjení proudem 0,1C10 [A], U<sub>čl</sub> – napětí článku, t – čas*

## 2.1.4 Životnost olověných akumulátorů

Je závislá na konstrukci elektrod, teplotě prostředí, použitých nabíječích a způsobu provozu akumulátorů. U akumulátorů se udává v rocích, cyklech, počtu startů. Za konec životnosti se považuje pokles kapacity na 80 % jmenovité hodnoty.

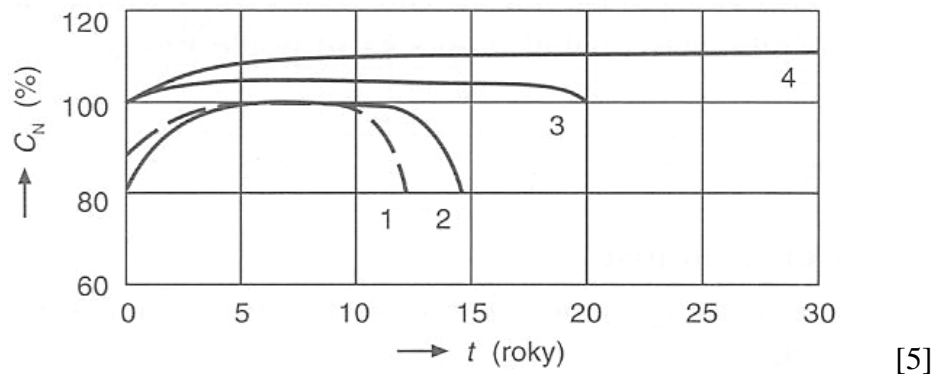
Životnost akumulátorů limitují kladné elektrody, které jsou náchylnější k uvolňování méně soudržné aktivní hmoty. Při uvedení do činnosti nedosahuje kapacita kladných elektrod plný stav. Kapacita elektrod pozvolna roste během jejich provozu. Maxima dosahuje v jedné třetině až polovině životnosti a pak zvolna klesá. Záporné elektrody dosahují maximální kapacity na počátku provozu akumulátorů.



[5]

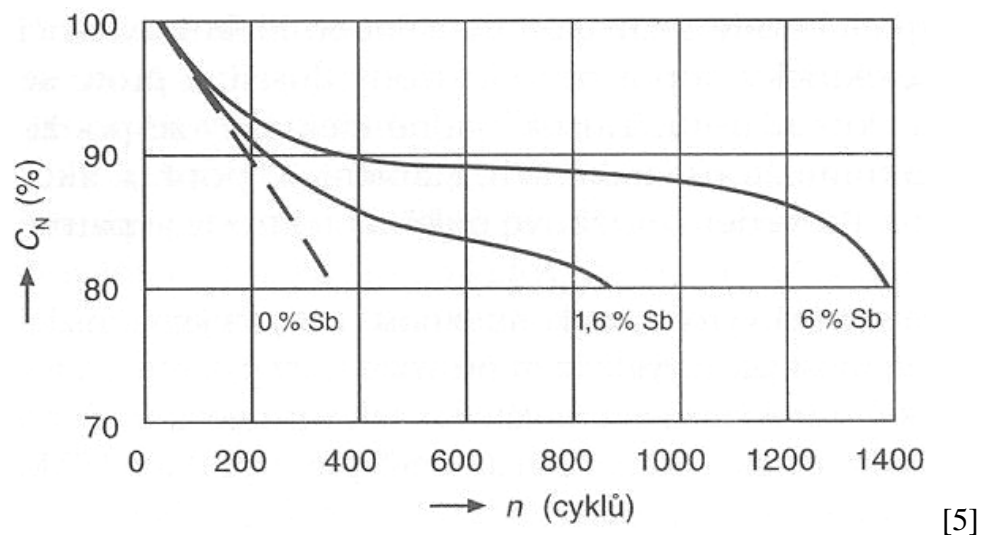
*Obr. č. 9 Porovnání životnosti kladných a záporných elektrod v závislosti na počtu cyklů*

*Q – kapacita, n – počet cyklů*



Obr. č. 10 Životnost a kapacita kladných elektrod, v závislosti na použité konstrukci elektrod

1 – mřížkové elektrody, 2 – trubkové elektrody, 3 – velkopovrchové elektrody, 4 – diskové (Bellovy) elektrody,  $C_N$  – kapacita



Obr. č. 11 Vliv obsahu antimonu v kolektorech trubkových elektrod na životnost.

$Q$  – kapacita,  $n$  – počet cyklů

### Použití olověných akumulátorů

Zejména jako startovací akumulátory silničních vozidel, v záložních zdrojích, jako staniční a trakční akumulátory.

## **2.2 Niklkadmiové (NiCd) akumulátory**

### **2.2.1 Konstrukce NiCd akumulátorů**

#### **Konstrukce elektrod**

Aktivní složky s lisovanými elektrodami (deskami) jsou umístěny v schránkách vytvarovaných z ocelových perforovaných pásků.

Elektrody jsou mechanicky spojeny, oříznuty do velikosti odpovídající šířce desky a slisovány do konečného rozměru desky. Výsledkem tohoto procesu je mechanická pevnost desky. Ocelové pouzdro, ve kterém je umístěna aktivní část desky, zlepšuje vodivost a minimalizuje zvětšování elektrod.

Nikl-kadmiové akumulátory mají dlouhou životnost a dosahují vysokého počtu cyklů, protože jejich elektrody nejsou postupně oslabovány „korozí“. Aktivní součást desky není konstrukční, pouze elektrická..

#### **Použití**

Zejména ruční nářadí, fotografické přístroje, jako staniční akumulátory, dříve v radiokomunikaci a jako zdroje pro osvětlení.

#### **Separátory**

Oddělení desek je zajištěno obvykle plastickými separátory vyrobenými vstřikováním, které navzájem oddělují a izolují desky elektrod.

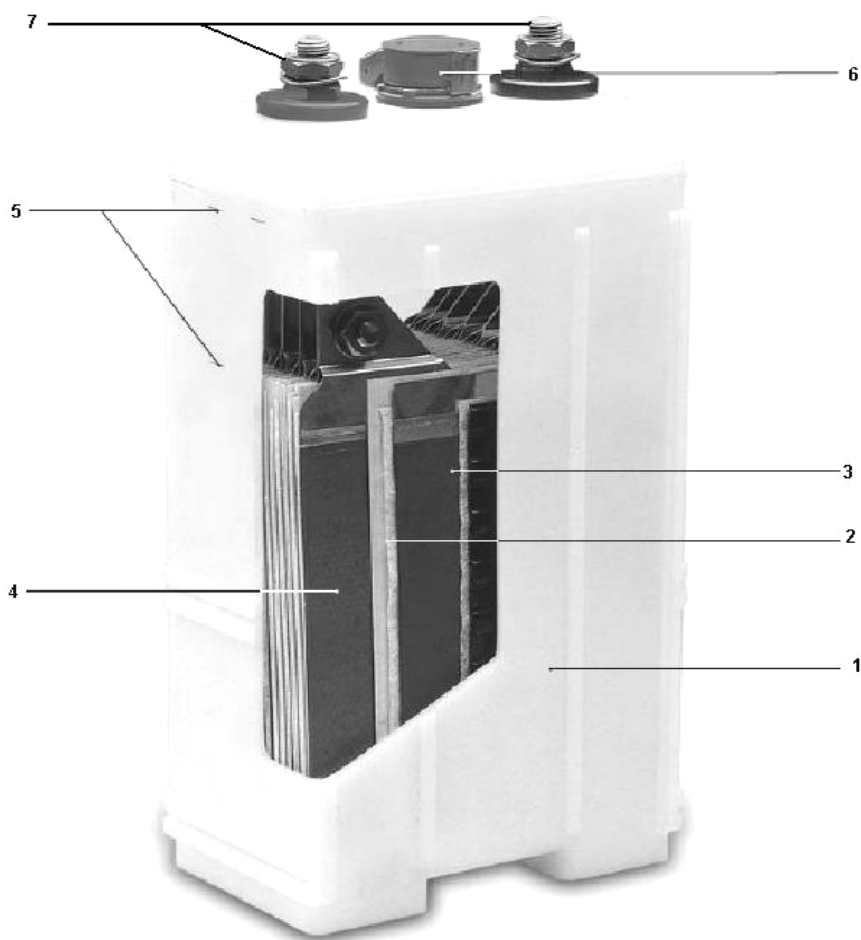
Protože je mezi kladnou a zápornou deskou dostatečný prostor a dostatečné množství elektrolytu, je zajištěna dobrá cirkulace elektrolytu a rozptyl plynů a nedochází k rozvrstvení elektrolytu.

#### **Pólové vývody**

Svorníky pólových vývodů jsou spojeny se sběrníci desek. Tyto svorníky jsou vyrobeny z ocelové tyčoviny, mohou být opatřeny závitem pro našroubování spojovacího materiálu a poniklovány.

## Nádoba akumulátorového článku (NiCd)

Materiál nádoby článku je odolný proti zásaditým roztokům, zpravidla průsvitný. Dále viz. kapitola: 2.1.1, nádoby olověných akumulátoru.



[6]

*Obr. č. 12 Niklkadmiový článek*

*1 – obal, 2 – separátor, 3 – záporná elektroda v plastovém oddílu, 4 – kladná elektroda, 5 – viditelné maximum a minimum hladiny elektrolytu, 6 – protipožární zátka, 7 – pólové vývody*

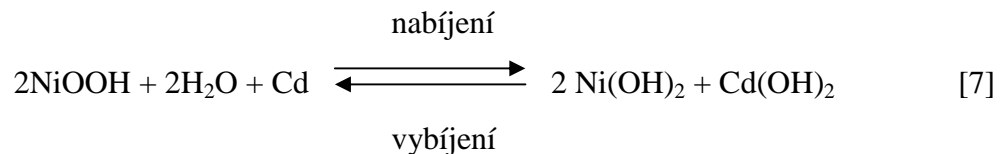
## 2.2.2 Elektrolyt niklkadmiových článku

Elektrolytem je  $K(OH)$  (80%) +  $Li(OH)$  (20%) +  $H_2O$

Důležitým znakem akumulátorů je, že elektrolyt nepodléhá změnám během nabíjení a vybíjení. Uchovává si schopnost přenášet ionty mezi deskami článku bez ohledu na úroveň nabití.

Ve většině aplikací si elektrolyt uchová své vlastnosti po celou dobu životnosti akumulátoru a není třeba ho vyměňovat. Za jistých okolností, jako např. při delším používání za vysokých okolních teplot, se může v elektrolytu zvýšit obsah uhličitanuů. Při velmi nízkých teplotách je možné užití zvláštního elektrolytu s vyšší hustotou.

### Zjednodušená chemická reakce



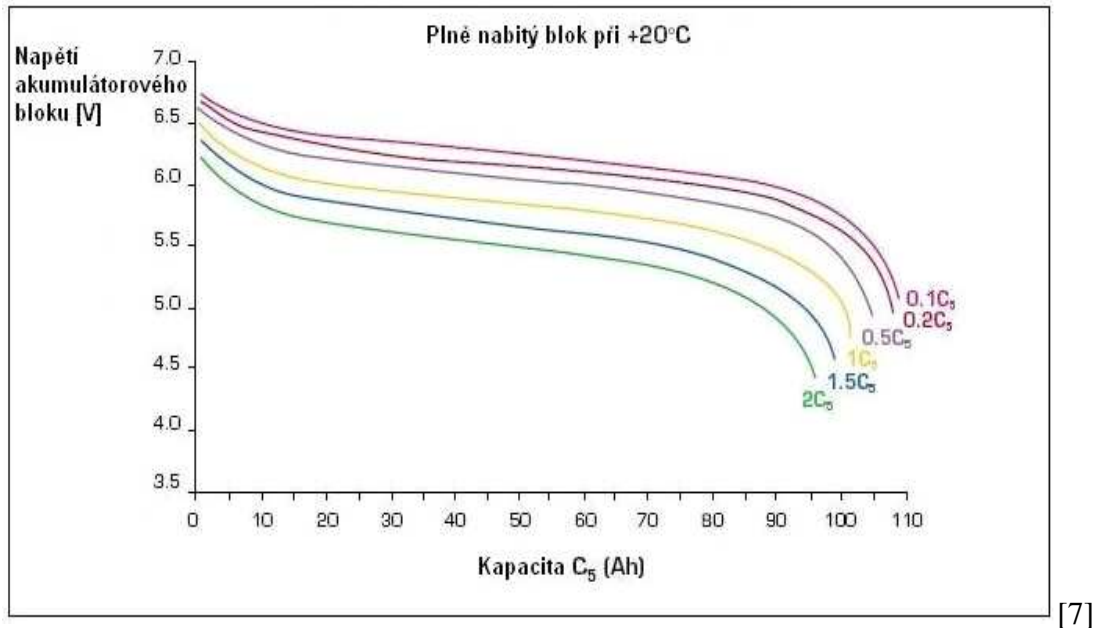
### Výhody:

- Vysoká spolehlivost a životnost
- Schopnost velmi rychlého nabíjení
- Velký rozsah pracovních teplot pro vybíjení
- Odolnost vůči rázům a vibracím

### Nevýhody:

- Nelze použít jako startovací (viz. příloha C)
- Obecně mají větší hmotnost než srovnatelné olověné
- Náhlý pokles napětí na konci vybíjení
- Obsah kadmia (látka škodlivá životnímu prostředí)

## 2.2.3 Vybíjecí charakteristika Ni-Cd akumulátorů



Obr. č. 13 Vybíjecí charakteristika akumulátorů NiCd různými proudy

### Vnitřní odpor

Vnitřní odpor článku se mění, v závislosti na teplotě a stavu nabití, a proto je těžké jej přesně definovat. U NiCd akumulátorů bývá v rozmezí 3 až 15 m $\Omega$ .

Normální hodnoty platí pro úplně nabité články. Při nižším nabití se hodnoty vnitřního odporu zvyšují. Pokles teploty rovněž zvyšuje vnitřní odpor, při 0°C je vnitřní odpor vyšší zhruba o 40 %.

### Samovybíjení

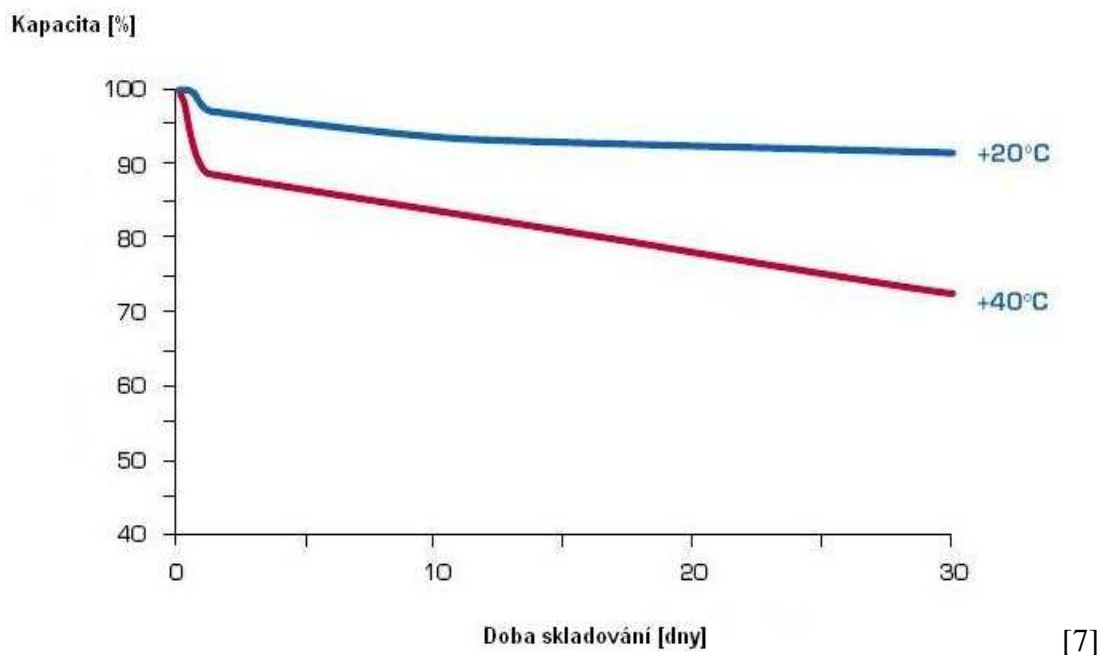
Stav nabití článku při odpojení obvodu se časem pomalu snižuje v důsledku samovybíjení. V praxi je tento úbytek v prvních dnech relativně rychlý, avšak poté se částečně snižuje.

Charakteristiky samovybíjení nikl-kadmiového článku závisí na teplotě. Při nízkých teplotách je úbytek náboje nižší, než při normální teplotě (20°C), a tedy ztráty při odpojení obvodu jsou nižší. Při vyšších teplotách se však samovybíjení výrazně zvyšuje.

Protože při samovybíjení Ni-Cd akumulátorů dochází ke krystalizaci elektrolytu v jednotlivých člancích a utvořené krystalky jsou díky relativně pomalému průběhu samovybíjení poměrně velké, při následném nabíjení se nedokáží



zcela rozpustit a akumulátor má po několik nabíjecích a vybíjecích cyklů menší kapacitu.



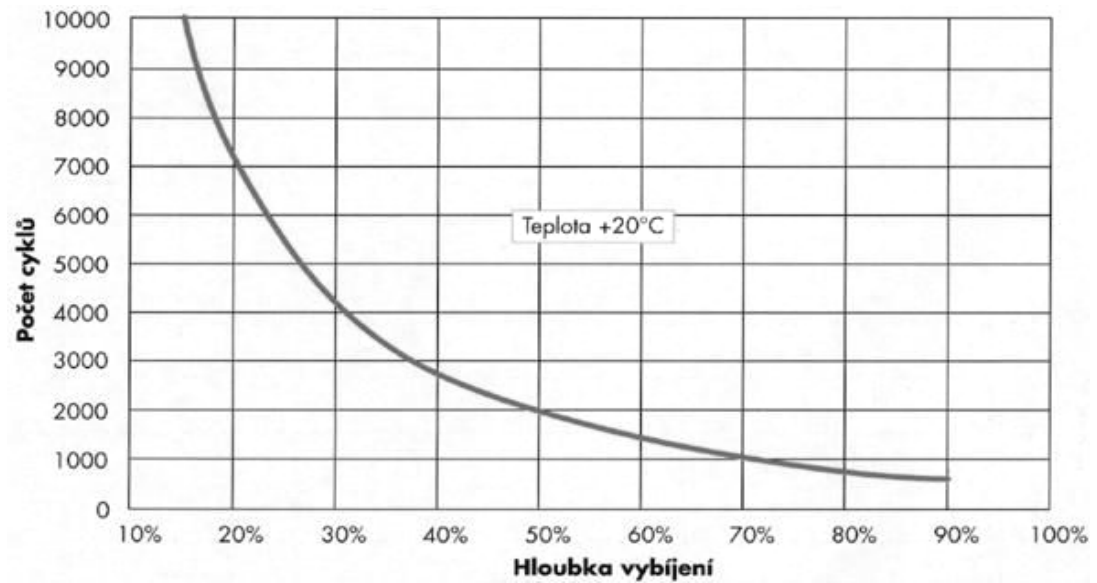
*Obr. č. 14 Úbytek kapacity NiCd článku v závislosti na teplotě skladování při odpojeném akumulátoru*

### Cyklování

Čím je hloubka vybíjení cyklovaného akumulátoru nižší, tím více cyklů může akumulátor poskytnout v rámci své životnosti.

Lze dosáhnout až několik tisíc cyklů s malým vybíjením, zatímco cyklů s hlubokým vybíjením poskytuje akumulátor jen několik stovek.

## 2.2.4 Životnost nikkadmiových akumulátorů

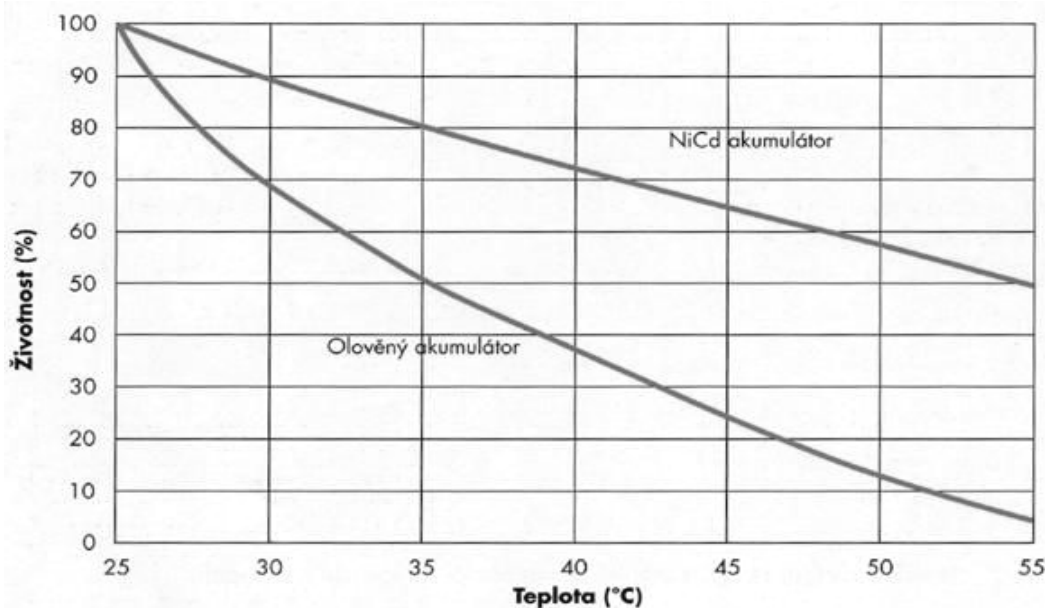


Obr. č. 15 Počet cyklů (životnost) v závislosti na hloubce vybíjení. [6]

### Vliv teploty na životnost

Snížení životnosti v závislosti na zvýšené teplotě je u nikel-kadmiových článků mnohem méně výrazné než u akumulátorů olověných.

Každým zvýšením teploty zhruba o 10°C nad normální provozní teplotu (25°C) se životnost Ni-Cd akumulátoru sníží o 20 % a životnost olověné akumulátoru o 50 %.



Obr. č. 16 Vliv teploty na životnost akumulátorů NiCd, porovnání s olověným akumulátorem [6]

## 2.3 Nikl-metalhydridové akumulátory (NiMH)

Jsou obdobou nikl-kadmiových akumulátorů. Jsou vyvinuty na základě požadavků na vyšší kapacitu akumulátoru při stejné velikosti a s ohledem na životního prostředí.

Nikl-metalhydridové akumulátory se podobně jako nikl-kadmiové. Náhradou kadmia za směs jiných kovů došlo ke změně vlastností. Jejich kapacita je uváděna oproti klasickým NiCd akumulátorům vyšší až o 40% při stejné velikosti.

Jmenovité napětí článku je 1,2 V. Koncentrace energie je až 70 Wh/kg (250 kJ/kg) a objemová koncentrace energie až 300Wh/dm<sup>3</sup>. Životnost je více než 500 cyklů nabití a vybití při 80% zbytkové kapacitě. [5]

Použitelnost v mezních klimatických podmínkách je horší, zaručená funkce je asi jen do -10°C. Skladování těchto akumulátorů je možné v nabitém i vybitém stavu. Je však nutné několikrát v průběhu jednoho roku články nabít a vybit, jinak vlivem chemických reakcí dojde k znehodnocení elektrod akumulátoru a tudíž nevratné ztrátě kapacity.

Cena NiMH akumulátorů je vyšší než u NiCd akumulátorů, nebo několiknásobně vyšší než ekvivalentních olověných. A to především kvůli ceně slitiny prvků titan-zirkon, která je užívána ve výrobě Ni-MH akumulátorů. Také současná technologie výroby Ni-MH akumulátorů je složitá a drahá.

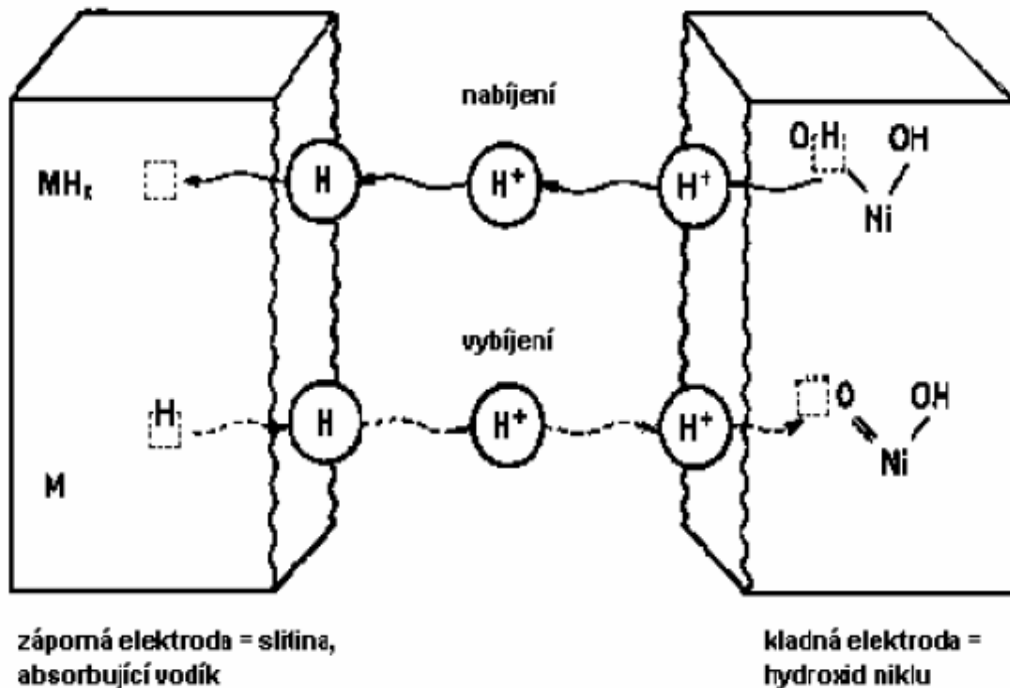
Ni-MH akumulátory mají relativně vysoké samovybíjení a je problematické určit stav plného nabití, článek Ni-MH má málo výrazný pokles napětí, po dosažení plného nabití. Tím se zvyšuje pravděpodobnost přebití, nadměrného vytváření tepla a kratší životnosti.

### **Řídící metody nabíjení jsou založené na následujících technikách:**

- Hlídání růstu teploty na konci nabíjení ( $dT/dt$ )
- Detekce maximálního napětí
- Hlídání poklesu napětí článku po dosažení maxima ( $dV/dt$ )

### 2.3.1 Konstrukce článku (NiMH)

Článek Ni-MH se skládá z kladné elektrody, která obsahuje aktivní materiál hydroxidu niklu a dále pak záporné elektrody, jejíž podstatnou částí je slitina, schopná absorbovat vodík a vyměňovat jej s kladnou (niklovou elektrodou). Stavba je v podstatě shodná s niklkadmiovým článkem.



[8]

Obr. č. 17 Přemístování vodíkového atomu při nabíjení a vybíjení

Z těchto vztahů je vidět, že vodík se přemísťuje během nabíjení od anody ke katodě a během vybíjení obráceně. Nepochází zde k objemovým změnám elektrolytu.

Vodík se uchovává v materiálu katody a ve vodném roztoku, sestávajícím hlavně z hydroxidu draselného.

#### Složení:

Kladná elektroda: nikl

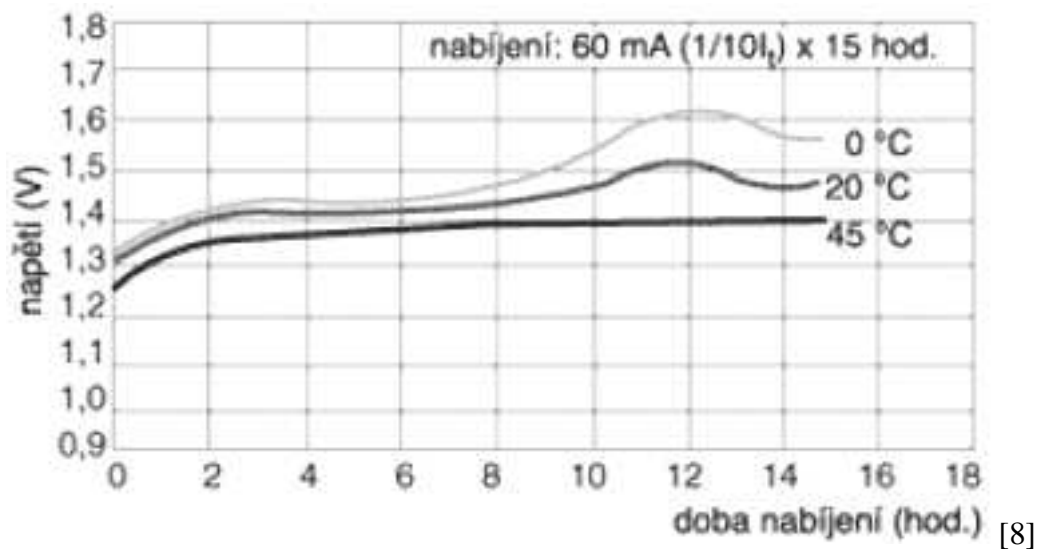
Záporná elektroda: hydrid směsi kovů (každý výrobce má své složení různé)

### 2.3.2 Elektrolyt NiMH akumulátrů

Elektrolytem je hydroxid draselný (KOH)

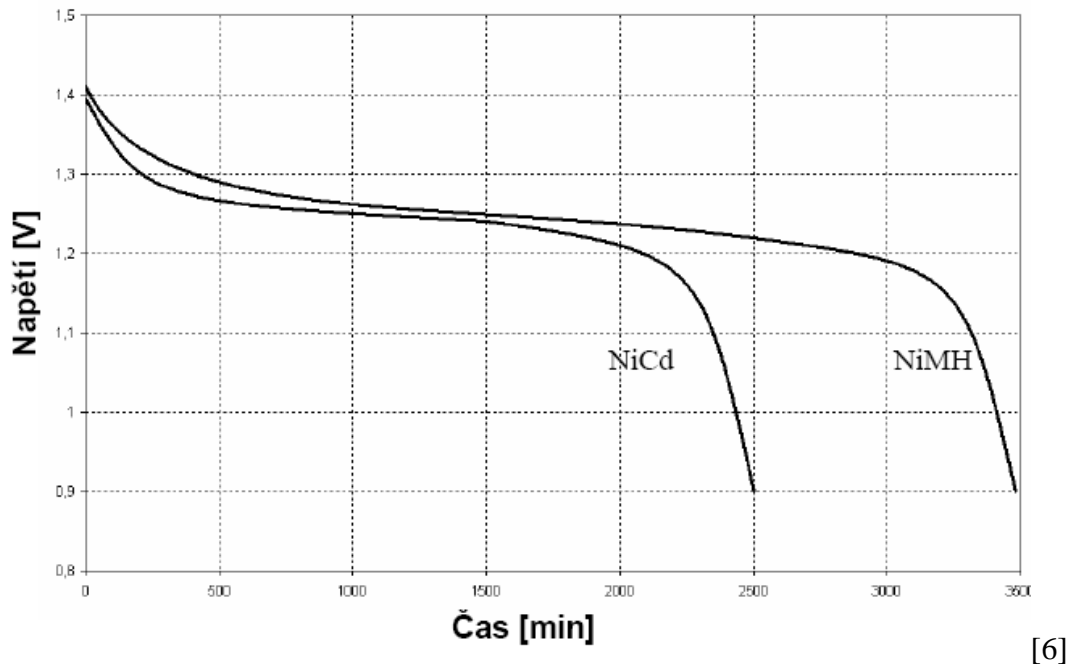
### 2.3.3 Nabíjecí charakteristika Ni-MH akumulátorů

Na obrázku č. 18 je vidět nárůst napětí článku před koncem nabíjecího cyklu, který je pro Ni-Cd a Ni-MH akumulátory charakteristický a podle kterého, lze stav nabití indikovat.



Obr. č. 18 Závislost napětí na stavu nabití a teplotě okolí (při malém nabíjecím proudu) [8]

### 2.3.4 Vybíjecí charakteristika Ni-MH akumulátorů



Obr. č. 19 Vybíjecí charakteristiky srovnatelných Ni-MH a Ni-Cd akumulátorů

#### Samovybíjení

Rychlost samovybíjení je značně závislá na teplotě okolí při skladování, na typu akumulátoru, dosahovat může 10 až 30% kapacity měsíčně.

Ni-MH akumulátory se obvykle skladují v nabitém stavu, doporučuje se každých šest měsíců skladování akumulátory dobít nábojem odpovídajícím asi 50 % jmenovité kapacity skladovaného akumulátoru.

#### Použití Ni-MH akumulátorů

Zejména v mobilní komunikaci, výpočetní technice popřípadě i v ručním nářadí.

## 2.4 Lithium-iontové akumulátory (Li-Ion)

Li-Ion akumulátory byly vyvinuty z primárních lithiových článků. Kladnou elektrodu tvoří směs oxidů lithia a dalšího kovu, nejčastěji je to oxidkobaltitý-lithný. Zápornou elektrodu tvoří uhlík ve směsi s dalšími prvky, elektrolytem je směs esterů, přesná složení jsou výrobním tajemstvím jednotlivých výrobců. Z největší části je používán tetrafluoroboritan litný ( $\text{LiBF}_4$ ).

Tyto akumulátory mají jmenovité napětí 3,6V oproti klasickým Ni-Cd a Ni-MH akumulátorům je jejich poměr akumulované energie, v porovnání s hmotností, velmi příznivý.

Provozní podmínky těchto akumulátorů jsou obdobné jako u Ni-MH akumulátorů, jak rozsahem provozních teplot, tak i použitelných proudových zátěží. Li-Ion akumulátory mají větší vnitřní odpor než akumulátory Ni-Cd.

### Výhody:

- Můžou být vyrobeny v různých tvarech.
- Napětí článku 3,6 V.
- Velmi vysoká hustota energie. Akumulují při stejné velikosti asi třikrát více energie než klasické niklkadmiové.
- Nízké samovybíjení.
- Životnost 500-2000 nabíjecích cyklů.

### Nevýhody:

- Akumulátor ztrácí maximální kapacitu nehledě na to, jestli je nebo není v provozu. Kvůli vysoké reaktivnosti lithia se článek však rozkládá sám od sebe. Z toho vyplývá obtížnější trvalé skladování.
- Rychlost stárnutí se zvyšuje s vyšší teplotou, vyšším stavem nabití, a vyšším vybíjecím proudem.
- Nebezpečí výbuchu nebo vznícení.
- Ničí je úplné vybití a proto je nutná ochrana proti vybití pod stanovenou mez.
- Značné snížení kapacity při nízkých teplotách. Zpravidla nedostatečně pracují při velmi nízkých teplotách.
- Oproti NiCd, NiMH jsou velmi výrazně dražší.

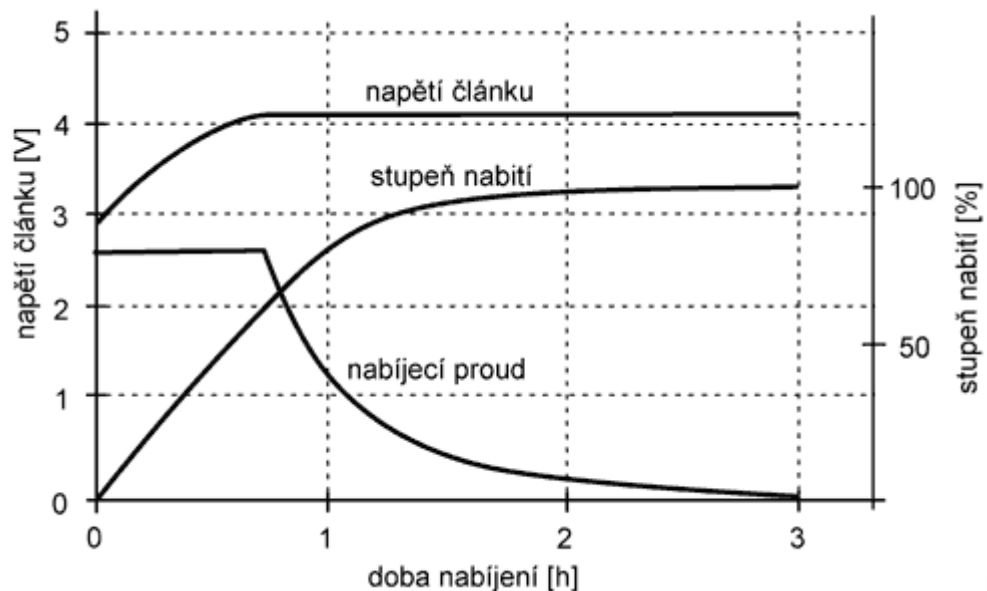
## 2.4.1 Nabíjení a nabíjecí charakteristika Li-ion akumulátorů

Konečné napětí při nabíjení nesmí být překročeno a nesmí dojít k vybití pod stanovenou mez, což mají zpravidla zabezpečují ochranné obvody.

Konečné napětí je podle typu článku 4,1 nebo 4,2V a je třeba je dodržet se značnou přesností. Při nabíjení nižším napětím nedosáhne článek plné kapacity. Maximální nabíjecí proud uvádějí výrobci od 0,1 až do 3 násobku kapacity.

V první fázi se článek nabíjí tak dlouho, dokud napětí na článku nedosáhne konečného nabíjecího napětí. Nabíjecí proud nemusí být konstantní, vyhoví když nepřekročí maximální nabíjecí proud. V okamžiku, kdy napětí článku dosáhne konečného nabíjecího napětí, je článek nabit přibližně na 70%, pokud byl předtím téměř vybit.

Rovněž při nabíjení menším proudem bude v okamžiku dosažení konečného napětí náboj článku větší, nabíjení však trvá pochopitelně déle. V druhé fázi se článek nabíjí konstantním napětím a nabíjecí proud se postupně snižuje, ilustrováno na obrázku č. 20. Článek je považován za nabitý, pokud nabíjecí proud poklesne na zlomek původního nabíjecího proudu, přibližně 0,05C.



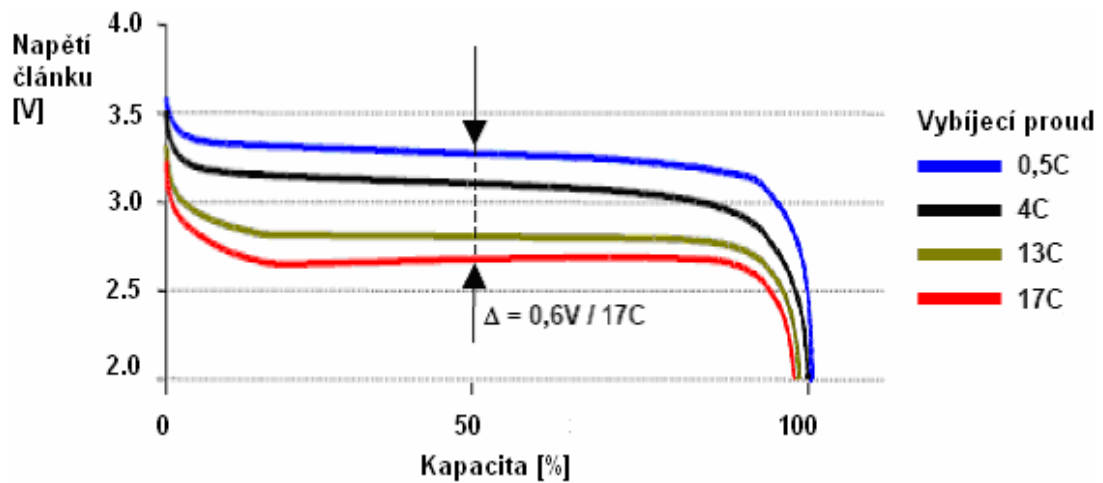
[9]

Obr. č. 20 Průběh napětí a proudu při nabíjení akumulátoru Li-ion



## 2.4.2 Vybíjecí charakteristika Li-ion akumulátorů

Na obrázku č. 21 je zobrazena vybíjecí charakteristika různými proudy.

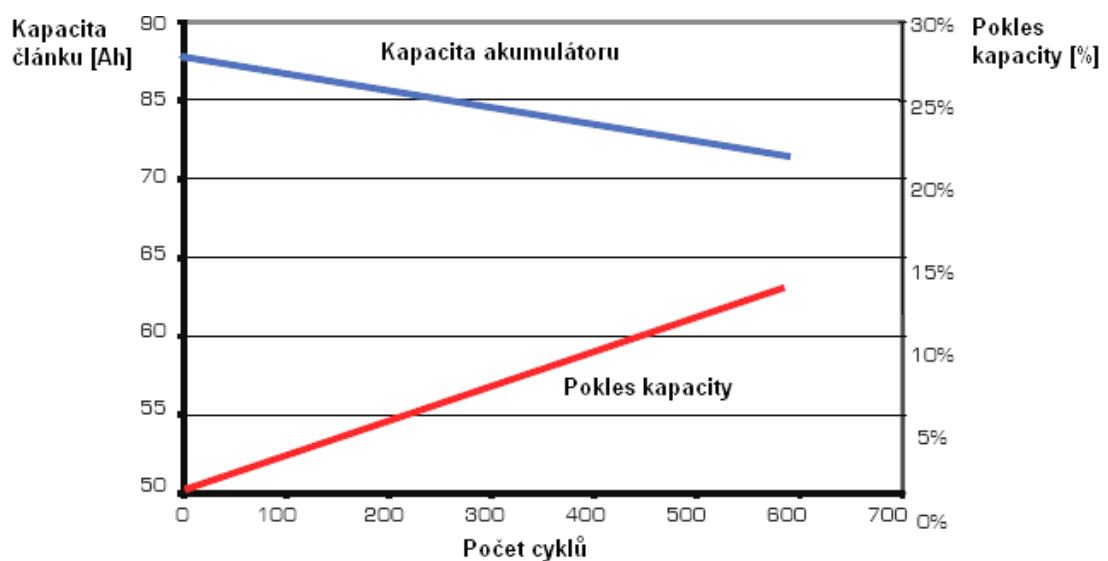


Obr. č. 21 Vybíjení Li-Ion článku schopného poskytovat velké proudy [10]

Pokud jsou články značně zatíženy (13C, 17C), akumulátor se během vybíjení zahřeje až na 70°C. To je dáno zejména vnitřním odporem článků.

## 2.4.3 Životnost Li-ion akumulátorů

Na obrázku č.22 je ilustrován vliv počtu cyklů na životnost.



Obr. č. 22 Skutečná kapacita lithium-iontového akumulátoru v závislosti na počtu cyklů [10]

## Provedení záporné elektrody

Li-Ion akumulátory se liší provedením záporné elektrody (anoda). V obou případech se jedná o uhlík, ale s jinou krystalickou strukturou (grafit). Tyto akumulátory se liší tvarem vybíjecí křivky. Akumulátory s uhlíkovou anodou mají nabíjecí napětí 4,1 V a konečné vybíjecí napětí 3V. Zpravidla se, ale vyrábějí Li-Ion akumulátory s grafitovou anodou které mají nabíjecí napětí 4,2 V.

<i>Typ akumulátoru</i>	<i>NiCd</i>	<i>NiMH</i>	<i>Pb_bú</i>	<i>Li-ion</i>
<i>Jmenovité napětí [V]</i>	<i>1,2</i>	<i>1,2</i>	<i>2,0</i>	<i>3,6</i>
<i>Hustota energie [Wh/l]</i>	<i>140</i>	<i>180</i>	<i>85</i>	<i>200</i>
<i>Hustota energie [Wh/kg]</i>	<i>39</i>	<i>57</i>	<i>30</i>	<i>90</i>
<i>Samovybíjení [%/den]</i>	<i>1</i>	<i>1,5</i>	<i>0,1</i>	<i>0,5</i>
<i>Počet nabíjecích cyklů</i>	<i>1000</i>	<i>500</i>	<i>&gt;1000</i>	<i>400</i>
<i>Rychlonabíjení</i>	<i>15 min</i>	<i>30 min</i>	<i>1 h</i>	<i>1 h</i>

*Tab. č. 1 Orientační porovnání vlastností běžných typů akumulátorů [upraveno  
brzo]*

*Pb\_bú - bezúdržbový olověný akumulátor.*

## Použití Li-Ion akumulátorů

Mobilní komunikace a výpočetní technika, ruční nářadí.

## 2.5 Lithium-polymerové akumulátory (Li-Pol)

Tato technologie akumulátorů byla vyvinuta z lithium-iontových článků. Jmenovité napětí jednoho článku je 3,6V (lze se setkat i s hodnotou 3,7V). Li-Pol články lze tvarovat do téměř libovolného tvaru. V porovnání s typem Li-Ion je Li-Pol, při stejné kapacitě, asi o 10 až 15% lehčí a 10 až 20 % energeticky objemnější.

Elektrolyt není hořlavý (výbušný) z toho vyplývá menší nebezpečí při nešetrném zacházení. Mohou se velmi rychle nabíjet. Vnitřní odpor těchto akumulátorů je větší než u akumulátorů Ni-Cd.

### Složení:

Kladná elektroda - směs oxidů lithia s dalším kovem

Záporná elektroda - kompozit oxidu vanadia

Elektrolyt - pevný polymer

### Výhody

- Výhodný poměr váha / kapacita.
- Velké napětí jednoho článku.
- Velmi malé samovybití.
- Při srovnatelných podmínkách pravděpodobně vyšší počet cyklů než lithium-iontové akumulátory.

### Nevýhody

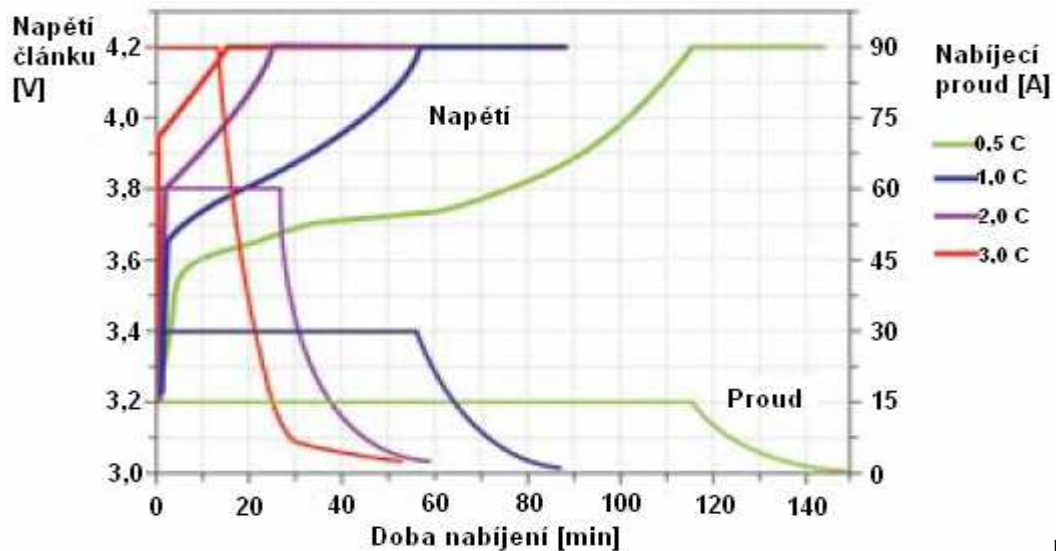
- Zpravidla nedokonale pracují při velmi nízkých teplotách.
- Vysoká cena.
- Snadno mechanicky poškoditelné.
- Nutná ochrana proti přílišnému vybití.
- Menší rychlost nabíjení oproti Ni-Cd a Ni-MH akumulátory.
- Obvykle větší vnitřní odpor než Ni-Cd akumulátory.

### Použití

Modelářské sady akumulátorů, mobilní komunikace.

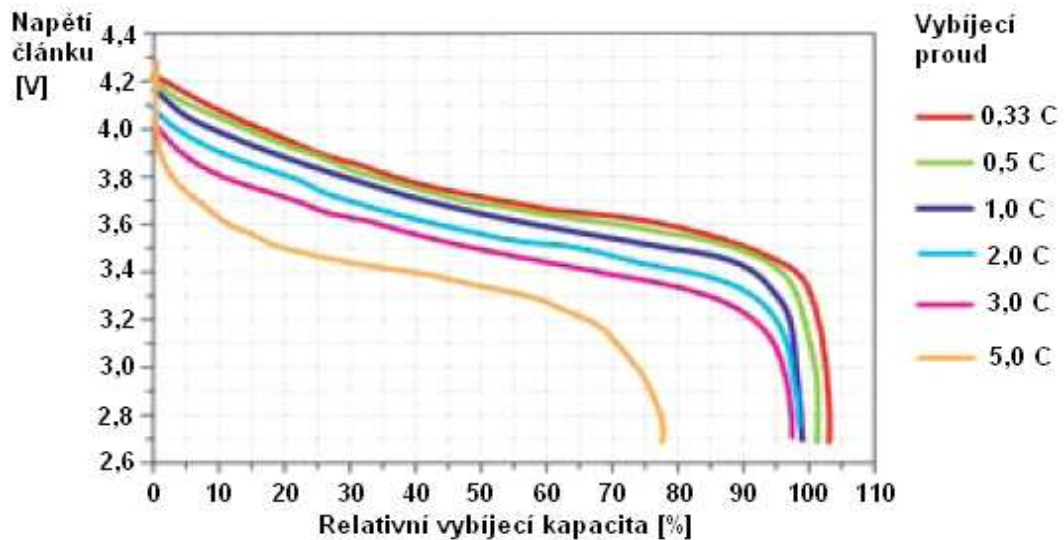
## 2.5.1 Nabíjecí a vybíjecí charakteristika Li-Pol akumulátorů

Funkčnost těchto akumulátorů je, co se týče provozních teplot, množství cyklů vybíjecích a nabíjecích napětí, obdobná jako u akumulátorů Li-Ion. Také nabíjecí křivky jsou obdobné s nabíjecími křivkami již popsaných Li-Ion akumulátorů.



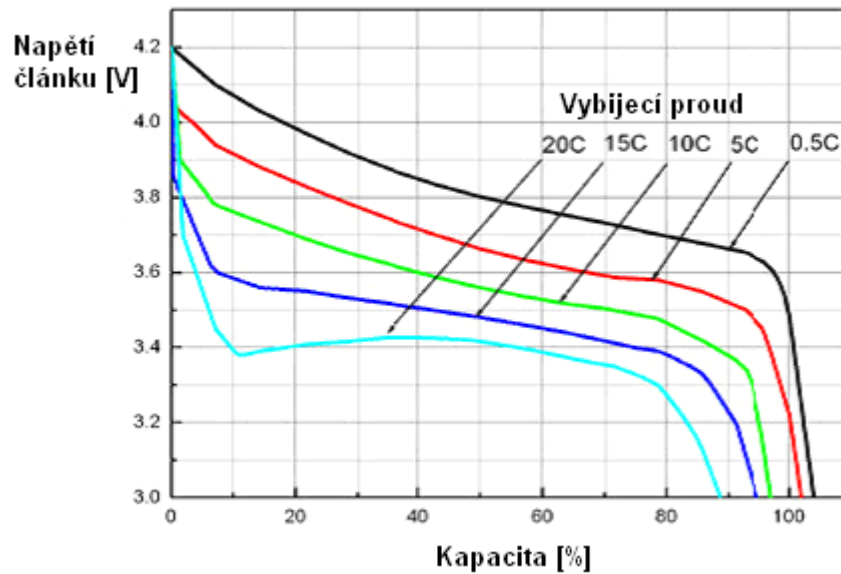
[7]

Obr. č. 23 Nabíjecí charakteristika Li-Ion akumulátorů



[7]

Obr. č. 24 Vybíjecí charakteristika článku s vysokou energickou hustotou

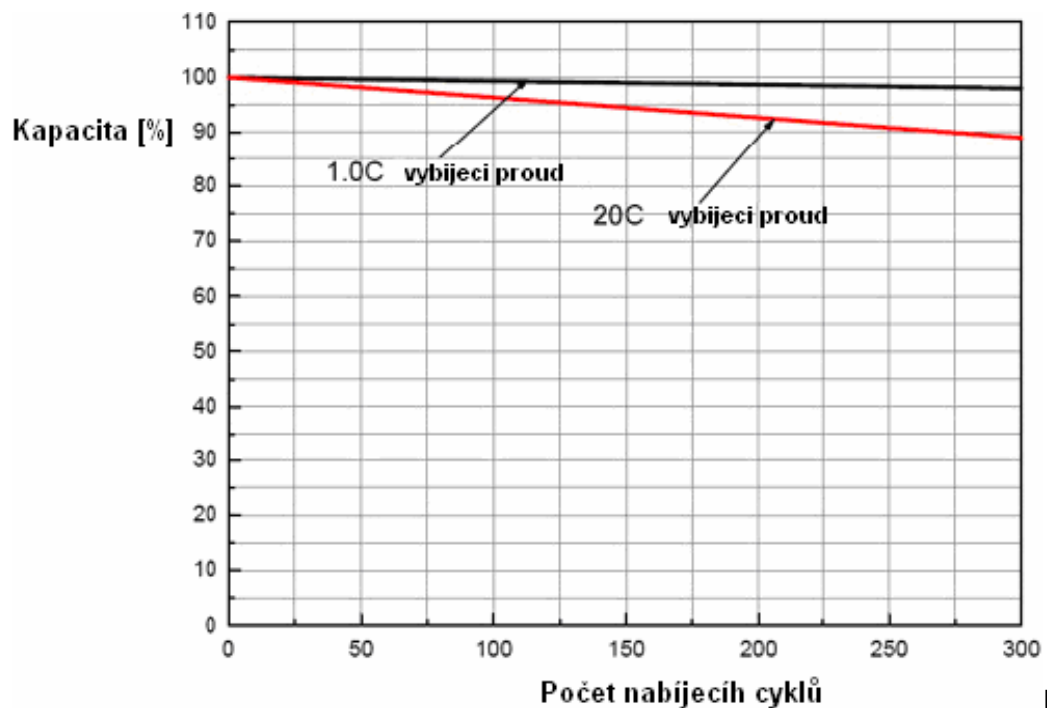


[10]

Obr. č. 25 Vybíjecí charakteristika článku schopného poskytovat velké proudy

## 2.5.2 Životnost Li-Pol akumulátorů

Životnost při vybíjení proudem 20C znamená pokles kapacity na 90% přibližně v rozsahu 250 až 300 cyklů. Při vybíjecím proudě do 1C lze očekávat až 3500 cyklů v režimu „long life“ (vybíjení do 3,40V, nabíjení na 4,15V).



[10]

Obr. č. 26 Počet cyklů v závislosti na vybíjecím proudě

### 3. Obecné nabíjecí charakteristiky

Základním hlediskem nabíječů je způsob nabíjení, daný nabíjecí charakteristikou přístroje. Tento údaj je vypovídající o konstrukční úrovni nabíječe. Mezi nejjednodušší patří nabíječe s charakteristikami W, a to ve všech modifikacích.

Nabíjecí charakteristiky jsou dány normou DIN VDE 0510. Pořadí zkratk udává časový průběh nabíjecího postupu při popisu nabíjecího režimu.

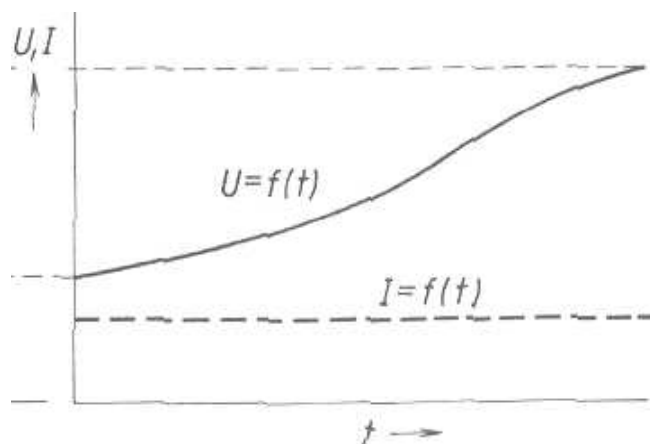
#### Základní rozdělení nabíjecích charakteristik dle norem VDE:

- „I“ - charakteristika konstantního proudu.
- „U“ - charakteristika konstantního napětí.
- „W“ - charakteristika klesající.
- „a“ - automatické vypínání.
- „o“ - samočinné přepínání na jinou charakteristiku.

#### 3.1 Nabíjení dle charakteristiky I

Nabíjí se od počátku do konce nabíjení konstantním proudem a ručně (I) nebo automaticky (Ia) se vypíná. Nabíjení může být ukončeno buď uplynutím nastaveného času, dosažením určité hladiny napětí nebo dodáním potřebného náboje.

Vzestup napětí nabíjeného akumulátoru závisí na typu akumulátoru, jeho stáří, teplotě prostředí a intenzitě nabíjecího proudu.



[11]

Obr. č. 27 Nabíjecí charakteristika I

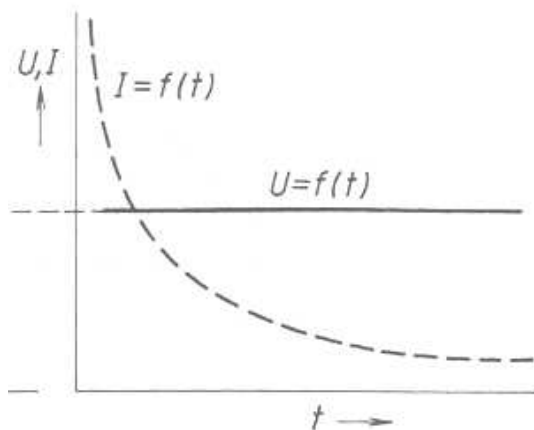
$U$  – napětí,  $I$  – proud,  $t$  – čas

Tato charakteristika se používá zejména pro nabíjení malých olověných akumulátorů, nabíjení akumulátorů pro definované zkoušky, uvádění do činnosti startovacích olověných akumulátorů. Dále pro nabíjení Ni-Cd akumulátorů a pro nabíjení a uvádění do činnosti stříbrozinkových akumulátorů.

### 3.2 Nabíjení dle charakteristiky U

Jedná se o nabíjení s konstantním průběhem napětí. Plynovací napětí nesmí být překročeno o více než 1%. Nabíjení začíná s vysokým počátečním proudem, který poklesne v průběhu nabíjení na nižší hodnoty. [11]

Tento způsob nabíjení umožňuje nabíjet více akumulátorů stejného druhu o stejném jmenovitém napětí v paralelním zapojení. Podmínkou je, že tyto akumulátory jsou v dobrém stavu a nevyžadují individuální ošetření.



[12]

Obr. č. 28 Nabíjecí charakteristika U

*U – napětí, I – proud, t – čas*

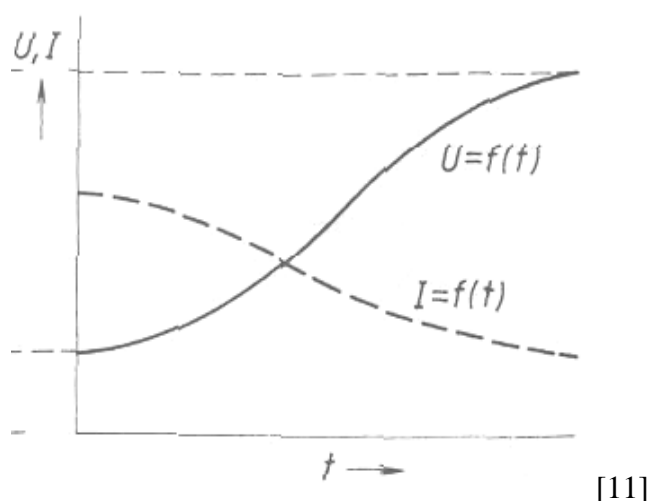
#### Použití

Zejména je tato nabíjecí charakteristika užita pro provozní nabíjení startovacích akumulátorů motorových vozidel.

### 3.3 Nabíjení podle charakteristiky W

Nabíjecí charakteristika W se vyznačuje tím, že se zvětšujícím se svorkovým napětím na akumulátoru se během nabíjení úměrně zmenšuje nabíjecí proud. Proud tedy postupně klesá, až na ustálenou hodnotu (konečný nabíjecí proud) a nabíjení je ukončeno buď ručně nebo automaticky.

Průběh nabíjecího proudu leží mezi hodnotami nabíjecích proudů nabíjecích charakteristik I a U. Poměr mezi počátečním a konečným nabíjecím proudem se nazývá strmostí nabíječe. Nabíječe s touto charakteristikou většinou nejsou regulované, velikost proudu je proto silně závislá na kolísání střídavého napětí v elektrické síti. Jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Pro různé druhy akumulátorů je však pro optimální nabíjení vhodný různý sklon charakteristiky W, proto lze jen obtížně takové nabíječe konstruovat jako univerzální. [12]



Obr. č. 29 Nabíjecí charakteristika W

*U – napětí, I – proud, t – čas*

#### Korekce nabíjení, vliv teploty

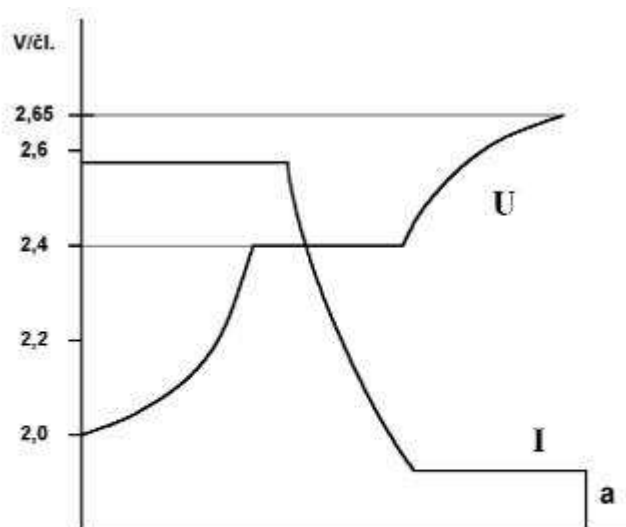
K efektivnímu nabití akumulátoru je zpravidla vhodné řídit nabíjecí proces. Jedná se zejména o vliv teploty na akumulátor, průběh napětí, proudu a kompenzace napěťových úbytků. Vliv teploty je velmi výrazný zejména pro rychlé nabíjení.



Obecně platí, že pro chladnější prostředí je nutno zvýšit hodnotu plynovacího napětí. Příkladem jsou málo nabité akumulátory v zimním období. V letním období je vhodné nabíjecí napětí naopak snížit (rozdíl, dle údajů výrobce).

Nabíjení akumulátoru s ohledem na teplotu, označujeme jako, teplotně kompenzované nabíjení. [12]

Dále mohou být užity i další charakteristiky a to sice tak, že se jedná o kombinaci předchozích charakteristik. Takto vytvořené charakteristiky mohou být dvoustupňové i vícestupňové. Například: WoWa, WoW, IoI, IU, IUa, WU, IUW, IUoU apod.



Časový průběh U a I

[12]

Obr. č. 30 Průběh proudu a napětí nabíjecí charakteristiky IUa (olověný akumulátor)

### 3.4 Obecný popis dvoustupňového nabíjení

Zpočátku nabíjení se nabíjí nabíjecím proudem o hodnotě 0,12 jmenovité kapacity akumulátoru. Sleduje se napětí článků nebo celého akumulátoru, které se měří bez zatěžovacího odporu.

Jakmile začnou oba druhy desek plynovat, to je při napětí jednoho článku přibližně 2,4V, sníží se hodnota proudu o polovinu (některé zdroje uvádějí 25 až 60%) původní hodnoty a nabíjí se do konečných znaků nabití.

Po dosažení plynovacího napětí je akumulátor nabit na 70 až 75%. Při dvoustupňovém nabíjení je omezeno vytváření plynu ke konci nabíjení a omezí se nebezpečí přebíjení..

Akumulátor se považuje za plně nabitý, jestliže se v průběhu dvou hodin, při nabíjení stejným nabíjecím proudem, nemění napětí na člancích a hustota elektrolytu zůstává stejná. Hustota elektrolytu je  $1,28 \text{ g/cm}^3$  s tolerancí  $0,01 \text{ g/cm}^3$  vztaženo na teplotu  $25^\circ\text{C}$ . [3]

Vystoupí-li teplota elektrolytu při nabíjení akumulátoru nad  $40^\circ\text{C}$ , je nutno nabíjení přerušit, do té doby, než dojde ke snížení teploty elektrolytu. Doba přerušeni se do nabíjecí doby nezapočítává. Před ukončením nabíjení se změří hustota a zkontroluje se výška hladiny elektrolytu. Vystoupí-li hustota na konci nabíjení nad předepsanou hodnotu  $1,28 \text{ g/cm}^3$ , elektrolyt se zředí. Poté je nutno akumulátor nabíjet ještě přibližně půl hodiny, aby došlo k promíchání elektrolytu.

## 4. Cíle

Cílem této bakalářské práce je posouzení vybraných vlastností akumulátorů. Tyto cíle si kladou za úkol sledovat a dát do souvislosti některé vztahy. Dále jde o návaznost na praktickou stránku, se kterou se může člověk setkat v běžném životě.

Především se jedná o:

- Zjištění množství dodané a vydané energie a jejich poměru.
- Posouzení vlivu zátěže na poměr dodané a vydané energie.
- Stanovení závislosti zátěže a doby vybíjení.
- Zjištění teplotního vlivu na dobu vybíjení .

## 5. Materiál a metody

### 5.1 Použité akumulátory

K měření byly vybrány nové olovené akumulátory. Každý z akumulátorů prošel, před započítím měření, třemi nabíjecími a vybíjecími cykly.

Jednalo se o dva akumulátory s elektrolytem nasáklým v separátorech (AGM) od firmy ENERSYS; typ genesis 13EPX, o kapacitě  $C_{10}$  13Ah a akumulátor CTM; typ CT 3.4-12 o jmenovité kapacitě  $C_{20}$  3,4Ah

Dále o startovací akumulátor se zaplaveným elektrodami značky VARTA, značení dle JASO: YB9L-B, jmenovitá kapacita  $C_{20}$  9Ah.

Jmenovité napětí všech měřených akumulátorů je 12V. Akumulátorům bylo přiděleno číslo uvedené v tabulce č. 2.

Tab. č. 2 Tabulka číslování a vybraných údajů jednotlivých akumulátorů				
Číslo akumulátoru	Kapacita akumulátoru [Ah]	Jmenovité napětí aku. [V]	Konstrukce (typ) akumulátoru	Výrobce
1	3,4	12	VRLA - AGM	CTM
2	13	12	VRLA - AGM	EnerSys
3	9	12	startovací, klasický	VARTA
4	13	12	VRLA - AGM	EnerSys

\*VRLA – ventilem řízený olovený kyselý akumulátor, AGM – elektrolyt je nasáklý ve skelném vlákne (separátorech).

## 5.2 Podmínky měření

Byla zvolena odporová zátěž pomocí běžných automobilových žárovek 21W (patice BA15s). Varianty použitých zátěží jsou uvedeny v tabulce č.3.

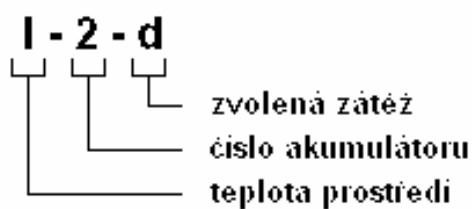
Tab. č. 3 Zvolené zátěže		
Označení zátěže	Jmenovitý odběr [W]	Jmenovitý odběr [A]
a	21	1,75
b	42 (2*21)	3,5
c	63 (3*21)	5,25
d	84 (4*21)	7

Dále byla zvolena teplota při, které bude měření prováděno. Toto zachycuje tabulka č. 4.

Tab. č. 4 Zvolené teploty prostředí	
Varianta:	Teplota:
I	10 °C (+ 1 °C; - 2 °C)
II	20 °C (+ 1 °C; - 2 °C)

### 5.2.2 Varianta měření

Pro lepší orientaci bylo vytvořeno zkrácené značení podmínek měření a měřeného akumulátoru. Příklad zkráceného zápisu použité zátěže, čísla akumulátoru a teploty prostředí při měření je na obrázku č. 31.



Obr. č. 31 Zkrácené značení varianty měření

## 5.3 Použité měřicí přístroje

Wattmetr:

Voltcraft Energy Logger 3500; reg. n. DE28001718, EC-T-080260

Digitální multimetry:

PU 510 (Metra Blansko)

DT- 830B

UAT-D DT 9205A

Záznam času:

Pro záznam času je použita funkce stopky mobilního telefonu Nokia 3330.

Záznam teploty:

Běžný pokojový lihový teploměr.

Ostatní:

K propojení použity konektory FAST-ON 8mm, očka 6mm (spoje provedeny pájením) a „banánky“ průměru 4mm. Vodiče jsou dostatečného průřezu, tedy je respektován průřez vodiče ve vztahu k zatížení a teplotní stabilitě vodiče, dle vztahu:

$$J = I/S.$$

Kde:  $J$  = proudová hustota [A/mm<sup>2</sup>]

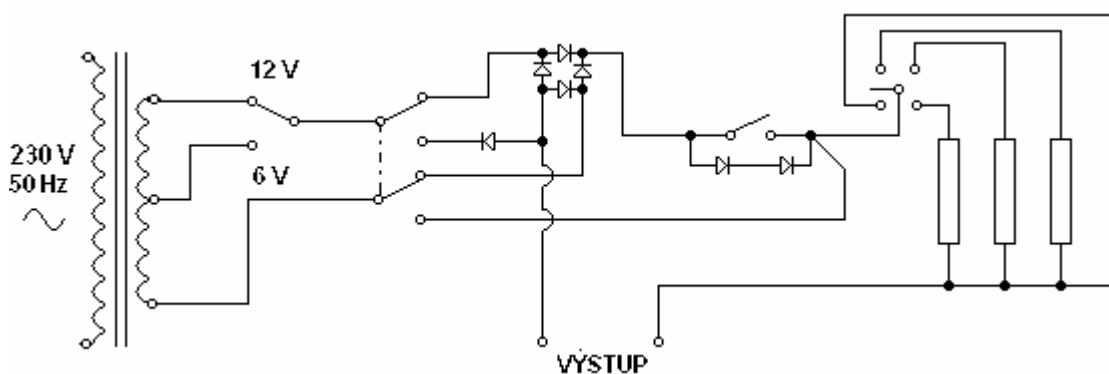
$I$  = proud [A]

$S$  = průřez vodiče [mm<sup>2</sup>]

Pro běžné měděné vodiče je mez proudové hustoty stanovena na čtyři ampéry na milimetr čtvereční průřezu vodiče. [13]

## 5.4 Použitý nabíječ

Bylo užito transformátorového nabíječe NB 41, který byl modifikován, dle schématu obrázku č. 32. Takto upravený nabíječ je schopen všechny měřené akumulátory nabít. Výrobce na nabíječi uvádí maximální trvalý nabíjecí proud 4A.

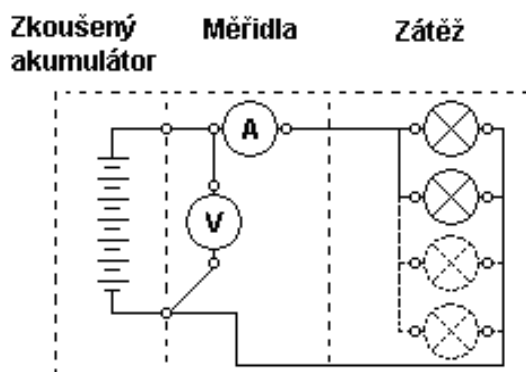


Obr. č. 32 Zjednodušené elektrické schéma nabíječe

## 5.5 Postup vybíjení

Akumulátory byly vybíjeny prostřednictvím vhodných zátěží, za stanovených teplot následujícím postupem:

- 1) Dle tabulky č. 3 připravit měřenou zátěž.
- 2) Připojit měřicí přístroje, dle obr. č. 33.
- 3) Připravit stopky a list pro záznam dat z měření.
- 4) Zaznamenat na tento list hodnotu teploty prostředí. Dále zapsat pořadové číslo měření, číslo akumulátoru, předpokládané napětí na konci vybíjení, použité měřicí přístroje, jmenovitou zátěž a napětí akumulátoru bez zatížení.
- 5) Ujistit se, zda je vše připraveno k měření (zejména kontrola propojení).
- 6) Začít vlastní měření a zároveň zapnout stopky.
- 7) Zaznamenat počáteční hodnoty napětí a proudu.
- 8) Ve vhodných intervalech, např. 10 min., s přihlédnutím k chování akumulátoru na začátku a konci vybíjení, zaznamenávat údaje o hodnotách proudu, napětí a času na list záznamu o měření. Záznam času se zaokrouhluje na minuty.
- 9) Vybíjet akumulátor do konečného vybíjecího napětí
  - a. Pro akumulátory č. 1, 2 a 4 do 10,02 V.
  - b. Pro akumulátor č. 3 do 10,5 V.
- 10) Poté ukončit zkoušku vybíjením a zahájit nabíjení.



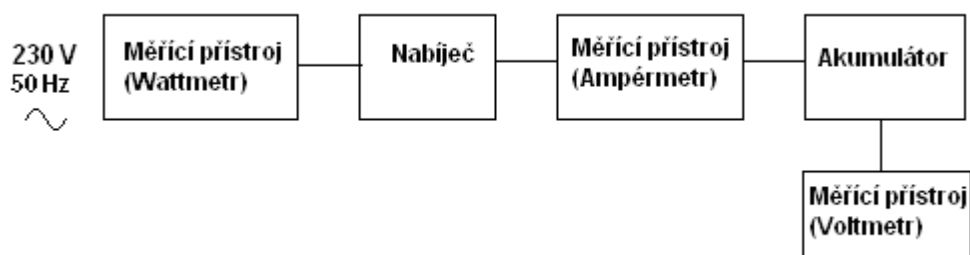
Obr. č. 33 Schématické znázornění zapojení akumulátoru a zátěže při vybíjení



## 5.6 Postup nabíjení

Nabíjení bylo prováděno dle následujícího způsobu:

- 1) Připojit wattmetr do sítě.
- 2) Zadat wattmetru požadované hodnoty.
- 3) Připojit nabíječ k wattmetru (dále viz. obr č. 34 )
- 4) Připojit mezi nabíječ a akumulátor ampérmetr.
- 5) Připojit nabíjený akumulátor a voltmetr.
- 6) Zvolením vhodného regulačního rozsahu zapnout nabíječ.
- 7) Kontrola nabíjecího proudu a případná korekce změnou velikosti dodávaného proudu na maximálně 0,12 násobek jmenovité kapacity akumulátoru.
- 8) Nabíjet, tak aby:
  - a. Pro akumulátory č. 1, 2 a 4 nepřekročilo napětí na svorkách akumulátoru 15 V, případně korigovat nabíjecí proud, vyčkat ustálení hodnot (hodnoty proudu a napětí se výrazně nemění).
  - b. Pro akumulátor č. 3 do znaků plného nabití, tj. všechny články živě plynoují a napětí na svorkách akumulátoru, se po dobu dvou hodin, nemění.
- 9) Ukončit nabíjení a odečíst hodnoty z wattmetru (spotřebovaná energie, čas), tyto hodnoty zaznamenat.
- 10) Po dobu tří hodin nechat akumulátor v klidu, neprovádět na tomto akumulátoru žádná měření.



Obr. č. 34 *Blokové schéma nabíjení*

## 5.7 Postup výpočtu

Získaná data byla zpracována podle následujícího postupu výpočtu.

- 1) Vyplnit tabulku naměřených hodnot (z listu měření).
- 2) Vyplnit tabulku vypočtených hodnot (údaj o celkové spotřebě konkrétního měření – údaj zjištěný pomocí wattmetru).
- 3) Vypočítat vážené průměrné hodnoty z vyplněných údajů v tabulce naměřených hodnot (napětí, proud).
- 4) Převést údaje času na hodiny.
- 5) Vypočítat průběžný dodávaný výkon do zátěže (dále jen výkon) z údajů napětí a proudu, dle vzorce:  $P = U \cdot I$

Kde:  $P$  = výkon [W];  $U$  = napětí [V];  $I$  = proud [A]

Následně vypočítat vážený aritmetický průměr z těchto hodnot, dle vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum \frac{n_1 + n_2}{2} * t_1 + \frac{n_3 + n_4}{2} * t_2 - t_1 + \dots + \frac{n_n + n_n}{2} * \dots}{t_c}$$

Kde:  $n_1$  = číselná hodnota prvního záznamu;  $n_2$  = číselná hodnota prvního záznamu;  $t_1$  = číselná hodnota prvního záznamu času  $t_2$  = číselná hodnota druhého záznamu času;  $t_c$  = celkový čas [hod].

- 6) Vypočítat z údaje dosaženého času a váženého průměrného proudu dosaženou kapacitu, dle vztahu:  $Q = I_p * t_c$

Kde:  $Q$  = kapacita [Ah];  $I$  = průměrně dodávaný proud [A];

$t_c$  = celkový čas [hod].

- 7) Vypočítat vydanou energii, dle vztahu:

$$W = (P * t_c) / 1000 \text{ [kWh]}$$

Kde:  $W$  = elektrická energie [kWh];  $P$  = výkon [W];  $t_c$  = celkový čas [hod]. Vypočítat hodnotu dodané a vydané energie, dle vztahu:

$$PH = \frac{V}{D} * 100 \text{ [%]}$$

Kde:  $V$  = vydaná energie;  $D$  = dodaná energie,  $PH$  = procentuální hodnota dodané a vydané energie.

- 8) Ze stejných měření (stejná zátěž, teplota, akumulátor) vypočítat průměrné hodnoty. Zaznamenat tyto hodnoty do tabulky.

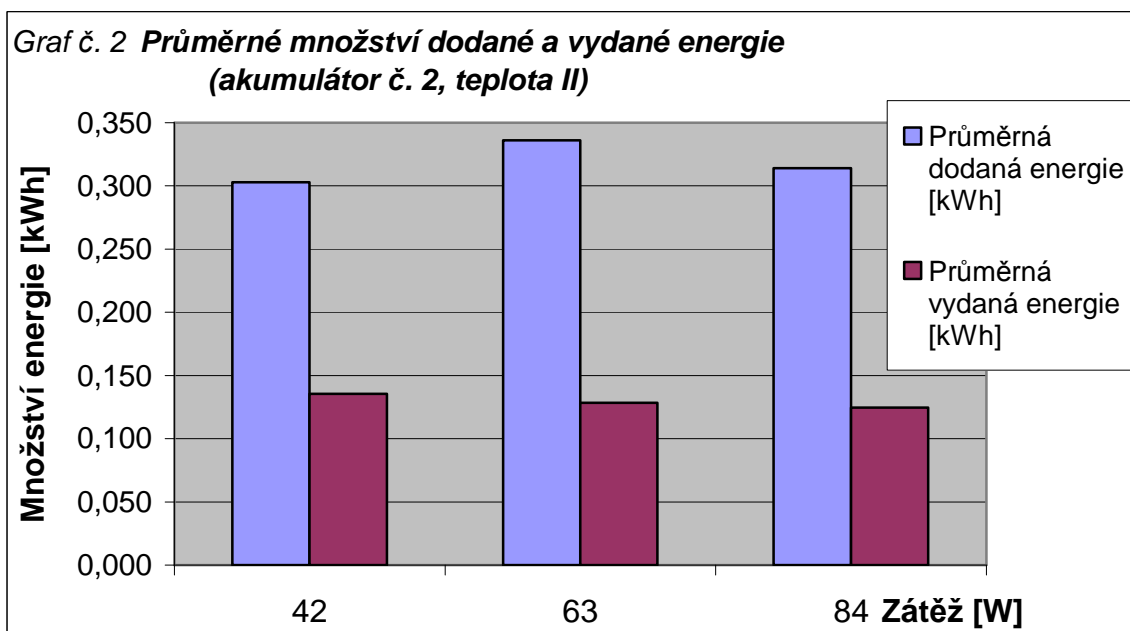
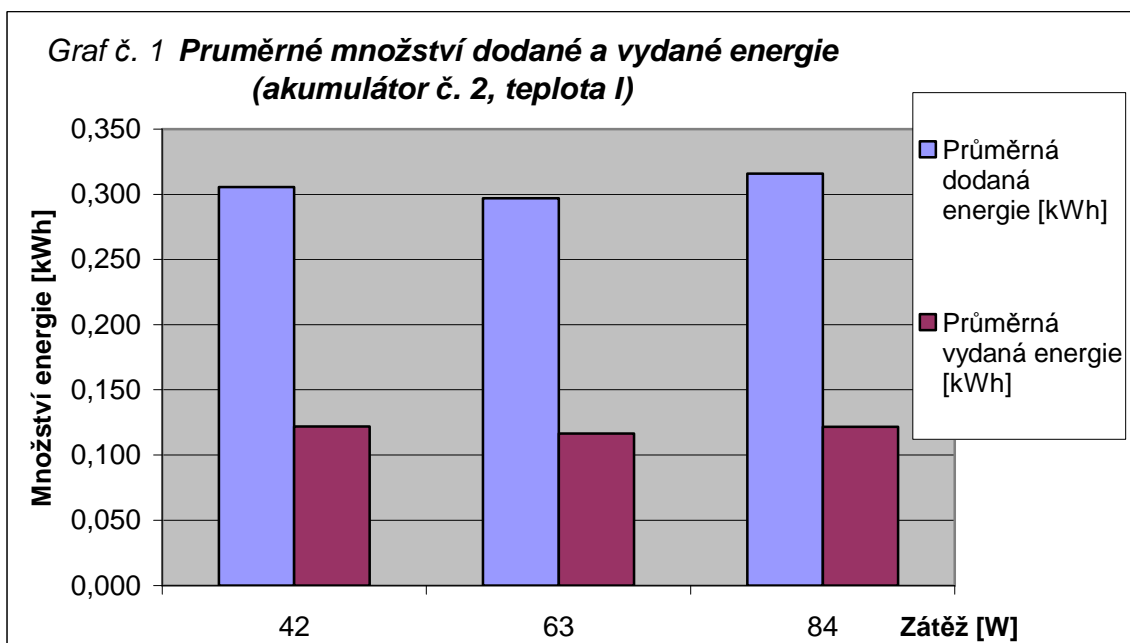
## 6. Dosažené výsledky a diskuse

### 6.1 Množství a poměr dodané a vydané energie

Hlavním cílem bylo zjistit poměr dodané a vydané energie, tento výsledek je vyjádřen v tabulce č. 5.

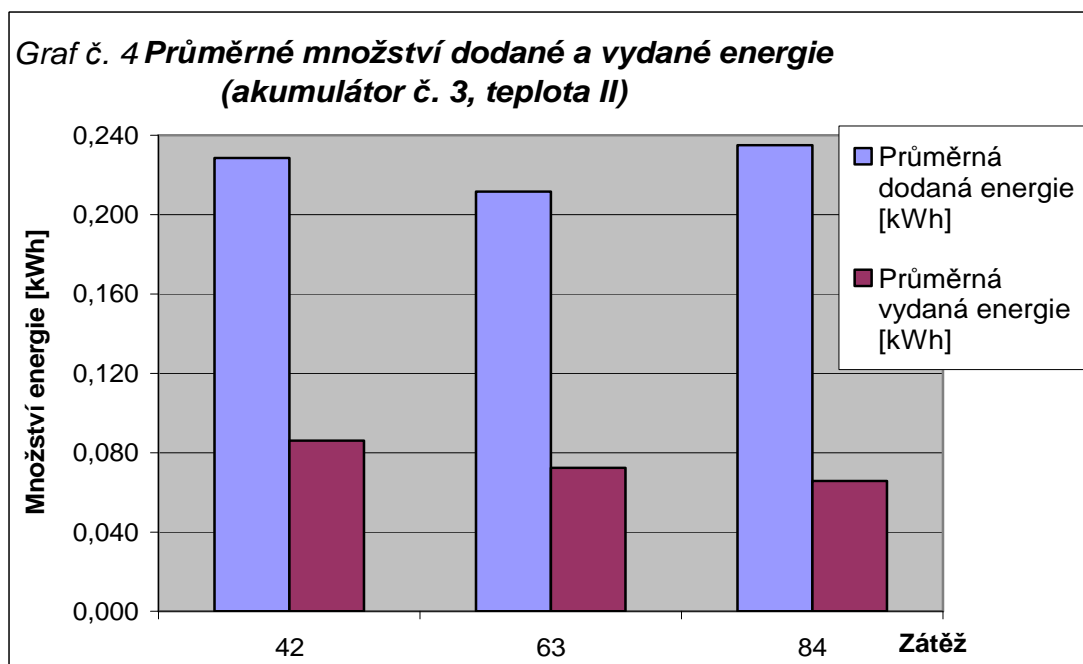
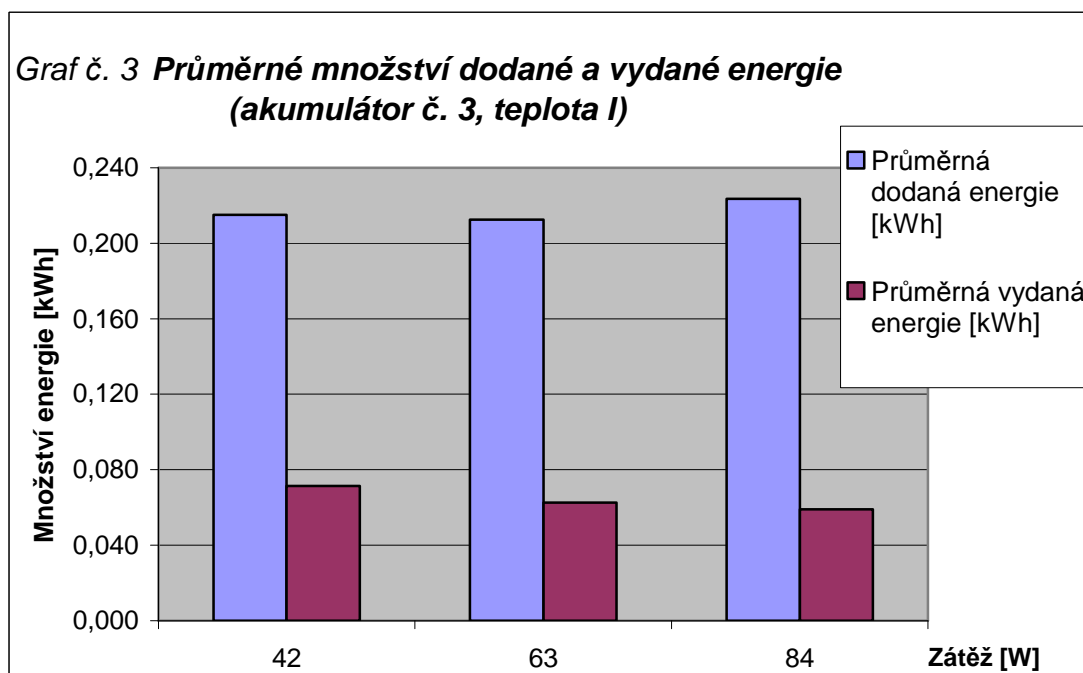
Tab. č. 5 Zjednodušený souhrn změřených a vypočtených hodnot						
Teplota	Číslo aku.	Zátěž [W]	Zkrácený zápis varianty měření	Průměrná dodaná energie [kWh]	Průměrná vydaná energie [kWh]	Poměr V/D energie [%]
I (10°C)	2	42	I - 2 - b	0,306	0,122	<b>39,9</b>
		63	I - 2 - c	0,297	0,117	<b>39,2</b>
		84	I - 2 - d	0,316	0,122	<b>38,5</b>
	4	42	I - 4 - b	0,297	0,121	<b>40,7</b>
		63	I - 4 - c	0,303	0,121	<b>40,0</b>
		84	I - 4 - d	0,277	0,107	<b>38,6</b>
	3	42	I - 3 - b	0,215	0,071	<b>33,2</b>
		63	I - 3 - c	0,213	0,063	<b>29,5</b>
		84	I - 3 - d	0,224	0,059	<b>26,4</b>
	1	21	I - 1 - a	0,129	0,024	<b>18,6</b>
		84	I - 1 - d	0,064	0,013	<b>20,3</b>
	II (20°C)	2	42	II - 2 - b	0,303	0,136
63			II - 2 - c	0,336	0,129	<b>38,2</b>
84			II - 2 - d	0,314	0,125	<b>39,7</b>
4		42	II - 4 - b	0,325	0,124	<b>38,2</b>
		63	II - 4 - c	0,315	0,123	<b>39,0</b>
		84	II - 4 - d	0,304	0,114	<b>37,6</b>
3		42	II - 3 - b	0,229	0,086	<b>37,6</b>
		63	II - 3 - c	0,212	0,072	<b>34,2</b>
		84	II - 3 - d	0,235	0,066	<b>27,9</b>

Z tabulky č.5 vyplývá, že poměr dodané a vydané energie dosahuje nejvyšších hodnot u akumulátorů č. 2 a 4. Poměr mezi vydanou a dodanou energií se u těchto akumulátorů pohybuje okolo 40%. Zjištěné hodnoty pro akumulátor č. 2, jsou i se zahrnutím vlivu teploty uvedeny v grafech č.1 a 2.



Z grafů č. 1 a 2 vyplývá, že množství energie vydané z akumulátoru vzrostlo s teplotou. Množství dodané energie do akumulátoru kolísá okolo hodnoty 0,300 kWh.

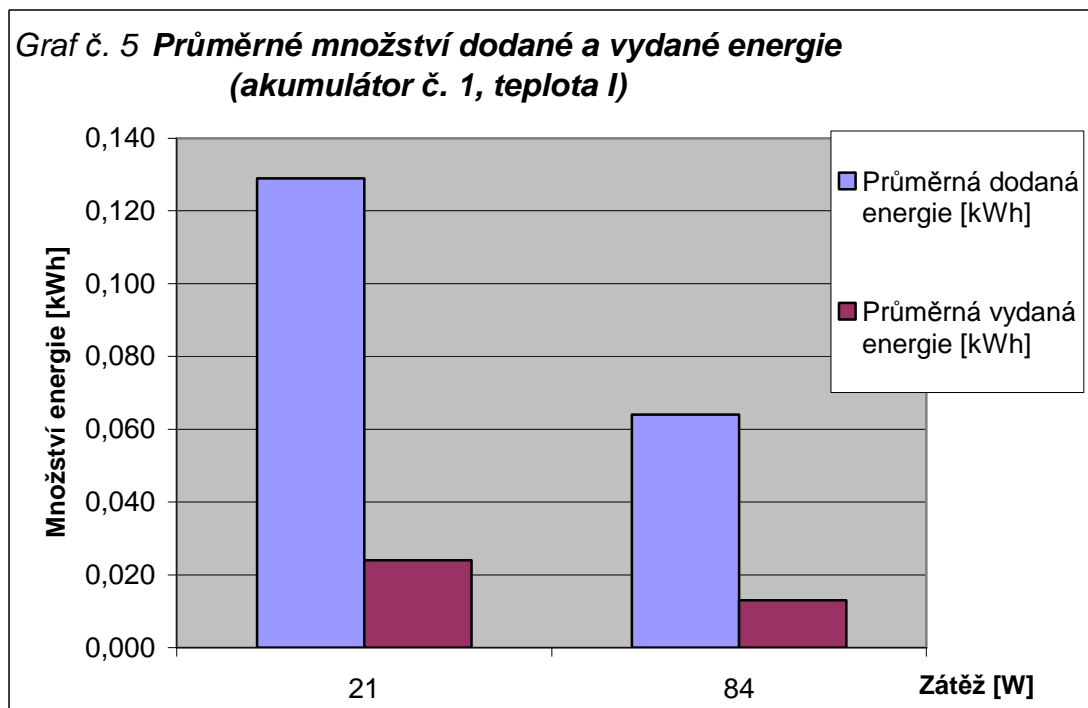
Podobě je tomu i u akumulátoru č. 3, kde se množství dodané energie do akumulátoru pohybuje okolo 0,220 kWh, toto je prezentováno grafy č. 3 a 4.



Poměr dodané a vydané energie je u akumulátoru č. 3 nižší než je tomu u akumulátorů č. 2 a 4, zejména za teploty I. Tyto údaje jsou uvedeny v tabulce č. 5. Rovněž se zde více projevuje vliv použité zátěže.

## 6.2 Vliv zátěže na množství dodané a vydané energie

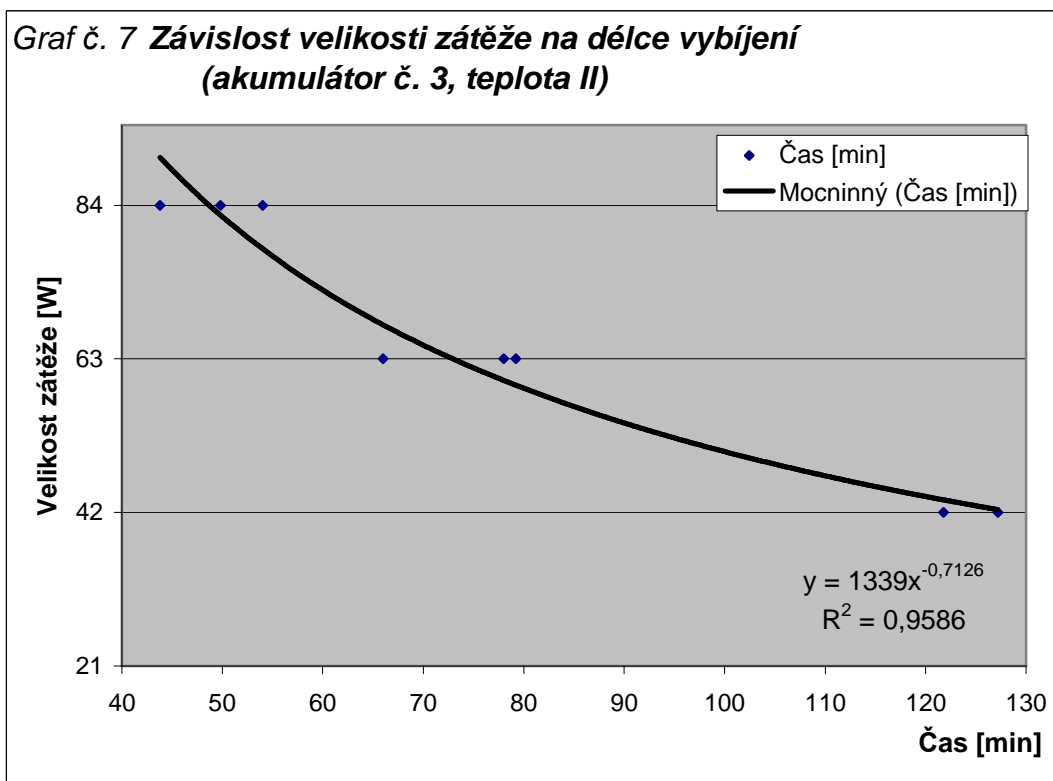
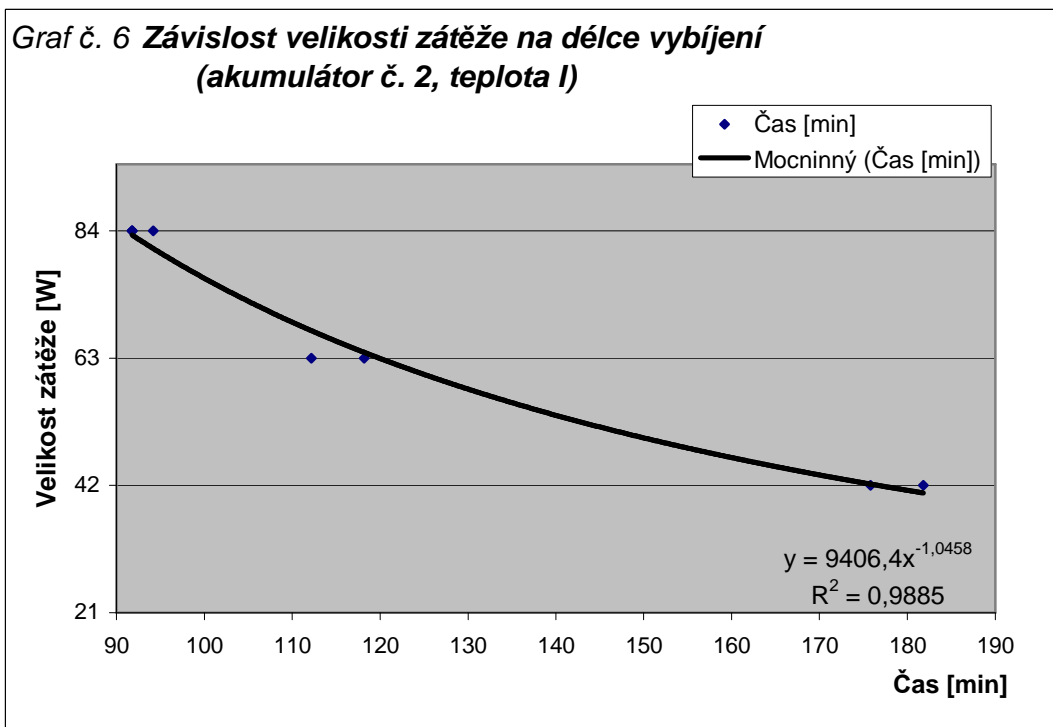
Vliv zátěže na množství dodané a vydané energie je ilustrován na grafu č. 5. Tento vliv byl nejlépe patrný u akumulátoru č. 1.



Z tabulky č.5 a grafu č. 5 je také patrné, že akumulátor č.1 dosahuje nižšího poměru dodané a vydané energie, než akumulátory č. 2; 3; 4. Akumulátor č.1 byl však nabíjen na jiný regulační stupeň a nelze tedy objektivně posoudit poměr dodané a vydané energie k ostatním akumulátorům. Poměr mezi vydanou a dodanou energií se v tomto případě pohyboval okolo 20%.

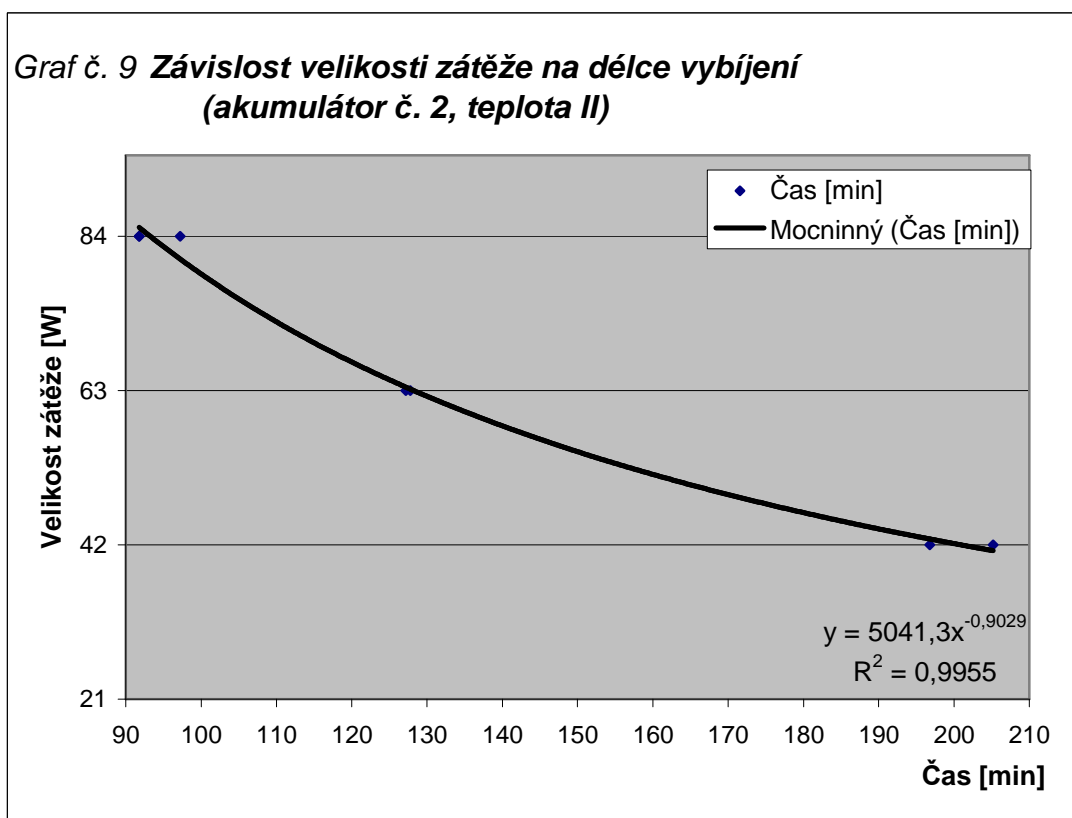
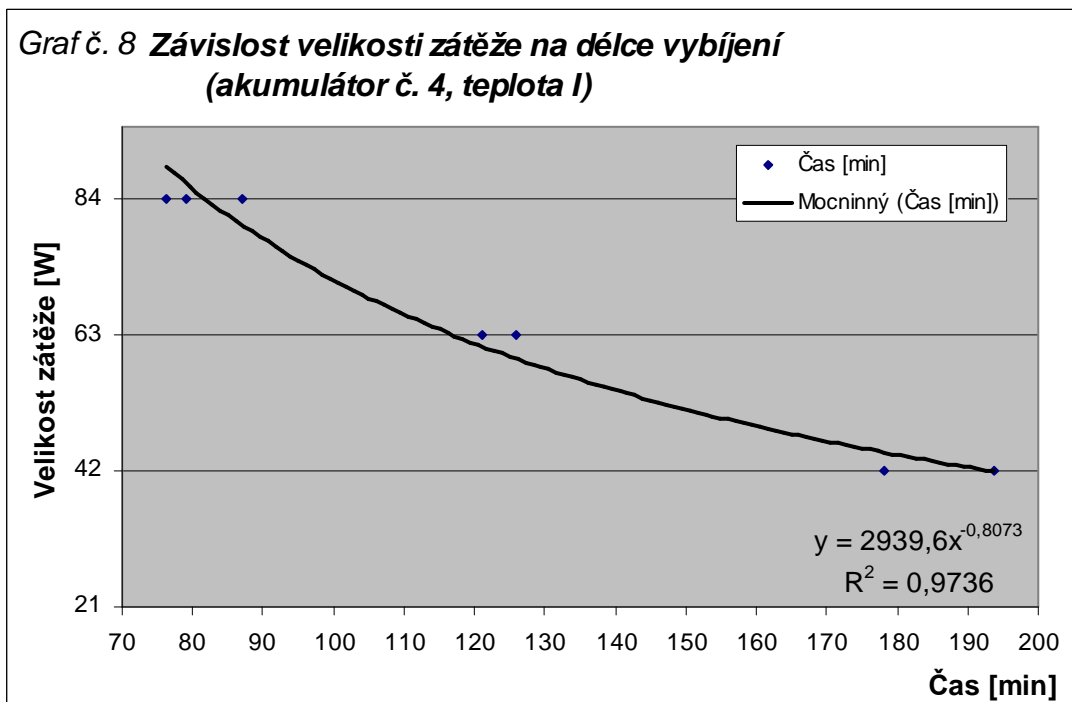
### 6.3 Závislost doby vybíjení a zátěže

Logickým předpokladem je snížení doby vybíjení se vzrůstající zátěží. Toto je ilustrováno grafy č. 6 a 7.



Z grafů č. 6 a 7 je patrné, že závislost doby vybíjení není lineární, ale mocninná s koeficientem determinace ( $R^2 = 0,9885$  - graf č. 6 a  $0,9586$  - graf č. 7), který udává do jaké míry se shodují skutečná a odhadovaná veličina. [14]

Podobně je tomu i v grafech č. 8 a 9.





Tuto uvedenou závislost zachycuje Peukertova konstanta. Jedná se v podstatě o vyjádření závislosti kapacity na velikosti vybíjecího proudu. V tomto případě je vybíjecí proud je korigován mocninou konstantou „ $k$ “, tedy  $I^k$ , kde  $I$  je vybíjecí proud a  $k$  je Peukertova konstanta. [15]

Tato konstanta je určena druhem a konstrukcí akumulátoru. Pro akumulátory se zaplavenými elektrodami je v rozmezí 1,2 až 1,6. Pro tzv. gelové akumulátory 1,1 až 1,25. A pro konstrukci s elektrolytem nasáklým v separátorech (AGM) 1,05 až 1,15. [16]

Na náhodně vybraných měřeních uvádím, pro příklad, odhad doby vybíjení pomocí této uvedené konstanty. Jako první příklad uvádím měření č. 35. V tomto měření byl měřen akumulátor č. 3, za teploty 20°C, jmenovitou zátěží o velikosti 84W (II – 3 – d). K výpočtu jsou užity tyto hodnoty: velikost vybíjecího proudu 6,78A, skutečná doba vybíjení 44 minut, konstanta  $k$  zvolena 1,3.

Výpočet vybíjecího proudu Peukertovou konstantou:  $I = 6,78^{1,3} = 12,03A$ .

Výpočet času je podílem udávané kapacity a přepočteným vybíjecím proudem, Tedy  $9Ah/12,03A = 0,748$  [hod]. To je přibližně 45 minut. Rozdíl mezi naměřenou a vypočtenou dobou je jedna minuta.

Jako další příklad uvádím měření č. 19. Při tomto měření byl měřen akumulátor č. 2, za teploty 20°C, jmenovitou zátěží o velikosti 42W (II – 2 – b). K výpočtu jsou užity hodnoty: velikost vybíjecího proudu 3,46A, skutečná doba vybíjení 197 minut,  $k$  voleno 1,1.

Přepočet vybíjecího proudu Peukertovou konstantou:  $I = 3,46^{1,1} = 3,92A$ .

Výpočet času:  $13Ah/3,92A = 3,316$  [hod]. To je asi 199 minut. Rozdíl mezi naměřenou a vypočtenou dobou činí dvě minuty.

Jako poslední příklad uvádím měření č. 40. Při tomto měření byl měřen akumulátor č. 4, za teploty 10°C se jmenovitou zátěží o velikosti 84W (I – 4 – d). K výpočtu a porovnání jsou užity hodnoty: velikost vybíjecího: 6,78A, skutečná doba vybíjení 87 minut,  $k$  voleno 1,3.

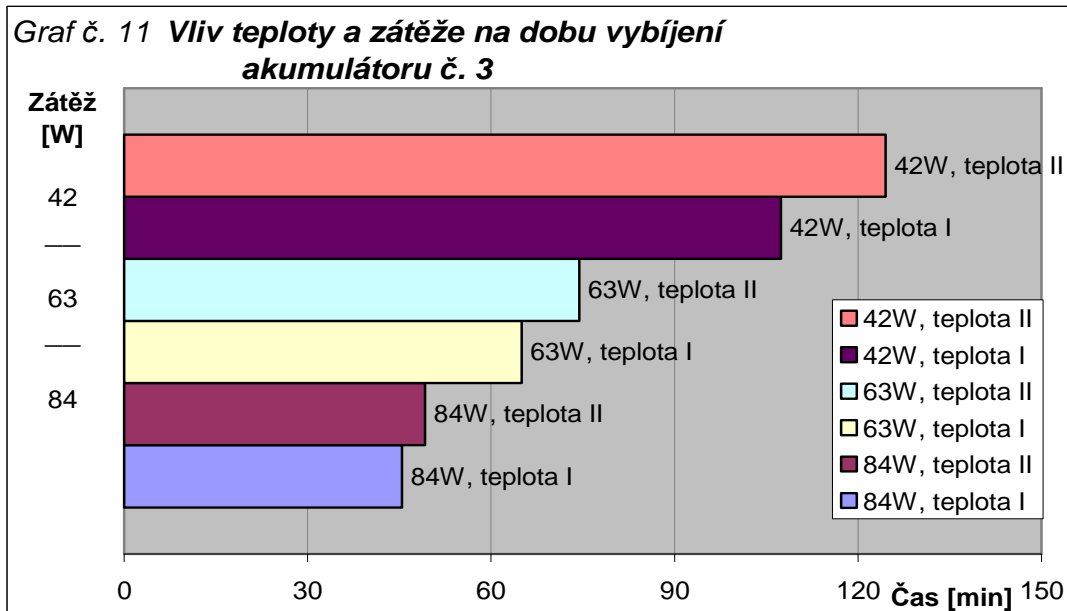
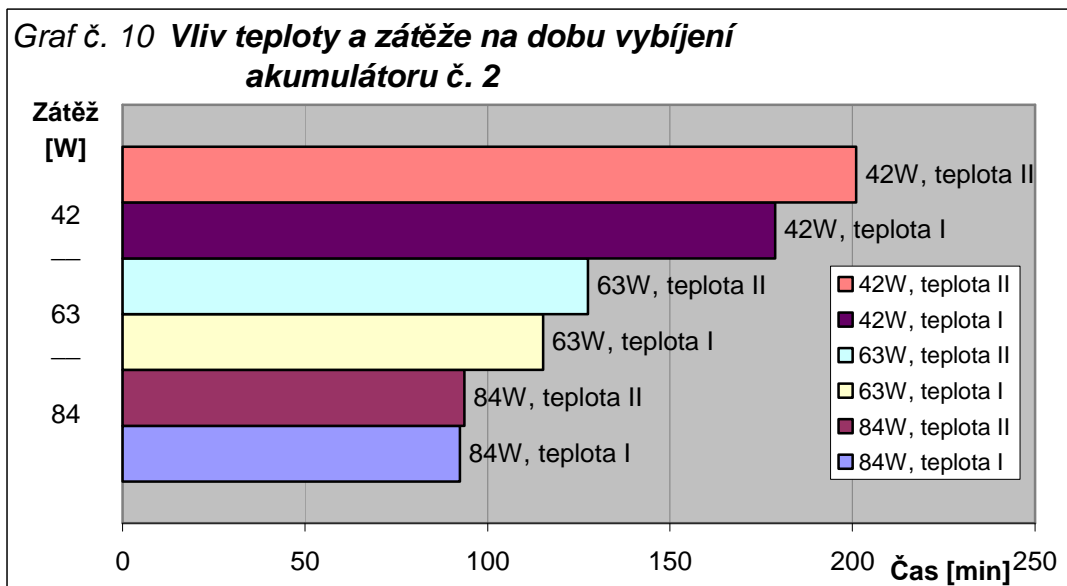
Výpočet vybíjecího proudu Peukertovou konstantou:  $I = 6,78^{1,1} = 8,21A$ .

Výpočet času:  $13/8,21 = 1,58$  [hod]. To je přibližně 95 minut.

V tomto případě se již výsledek liší o osm minut. Tento rozdíl může být způsoben prací akumulátoru za nižší teploty a nižší kapacitou než udává výrobce nebo spíše nevhodným zvolením konstanty  $k$ .

## 6.4 Vliv teploty na dobu vybíjení

Měření bylo prováděno za teplot 10°C (teplota I) a 20°C (teplota II). I přes teplotní rozdíl 10°C se podařilo dobře prokázat vliv teploty na dobu vybíjení. Tento vliv ilustruje pro akumulátor č.2 graf č. 10 a pro akumulátor č. 3 graf č. 11.



Z měření vyplívá, že nejvýraznější vliv teploty na dobu vybíjení byl pozorován u nejnižší zátěže. Rozdíl je patrný i mezi akumulátory. Dle grafů č. 10 a 11 je vliv teploty u akumulátor č. 3 vyšší než u akumulátorů č. 2.

## 6.5 Souhrn dosažených hodnot

Tabulka č. 6 shrnuje dosažené hodnoty.

Tab. č. 6 Souhrn změřených a vypočtených hodnot										
Teplota	Číslo aku.	Zátěž [W]	Zkrácený zápis varianty měření	Průměrná dodaná energie [kWh]	Průměr. vydaná energie [kWh]	Poměr vydané/ dodané energie	Poměr V/D energie [%]	Průměr. změřená kapacita [Ah]	Průměr. změřený čas [hod]	Průměr. změřený čas [min]
I (10°C)	2	42	I - 2 - b	0,306	0,122	0,399	39,9	10,47	2,98	179
		63	I - 2 - c	0,297	0,117	0,392	39,2	10,05	1,92	115
		84	I - 2 - d	0,316	0,122	0,385	38,5	10,55	1,54	92
	4	42	I - 4 - b	0,297	0,121	0,407	40,7	10,33	3,10	186
		63	I - 4 - c	0,303	0,121	0,400	40,0	10,45	2,06	124
		84	I - 4 - d	0,277	0,107	0,386	38,6	9,23	1,35	81
	3	42	I - 3 - b	0,215	0,071	0,332	33,2	6,03	1,79	107
		63	I - 3 - c	0,213	0,063	0,295	29,5	5,47	1,08	65
		84	I - 3 - d	0,224	0,059	0,264	26,4	5,17	0,76	45
	1	21	I - 1 - a	0,129	0,024	0,186	18,6	2,03	1,20	72
		84	I - 1 - d	0,064	0,013	0,203	20,3	1,21	0,18	11
	II (20°C)	2	42	II - 2 - b	0,303	0,136	0,447	44,7	11,58	3,35
63			II - 2 - c	0,336	0,129	0,382	38,2	11,02	2,13	128
84			II - 2 - d	0,314	0,125	0,397	39,7	10,74	1,56	94
4		42	II - 4 - b	0,325	0,124	0,382	38,2	10,59	3,03	182
		63	II - 4 - c	0,315	0,123	0,390	39,0	10,59	2,08	125
		84	II - 4 - d	0,304	0,114	0,376	37,6	9,84	1,44	86
3		42	II - 3 - b	0,229	0,086	0,376	37,6	7,23	2,08	125
		63	II - 3 - c	0,212	0,072	0,342	34,2	6,27	1,24	74
		84	II - 3 - d	0,235	0,066	0,279	27,9	5,73	0,82	49

## 7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehled nejpoužívanějších akumulátorů a porovnat vybrané vlastnosti akumulátoru.

Vzhledem ke snadné dostupnosti a ceně byly pro měření vybrány olovené akumulátory a to jak, s klasickou konstrukcí, tj. se zaplavenými elektrodami, tak i akumulátory uzavřené s elektrolytem nasáklým v separátorech, které se v poslední době velmi dobře uplatňují zejména v provozu za ztížených podmínek. Tato vlastnost byla zkoumána měřením a porovnáním provozu za různých teplot a s různou zátěží.

Z měření vlivu teploty se podařilo prokazatelně zjistit, že akumulátory moderní konstrukce (s elektrolytem nasáklým v separátorech) dosahují lepších parametrů než akumulátor s klasickou konstrukcí.

Stejně tomu bylo i při posuzování vlivu zátěže na dobu vybíjení. Při měření se nejenom podařilo zjistit míru vlivu zátěže na chování akumulátoru, ale i její závislost.

Zmíněnou závislost popisuje Peukertova konstanta. Tato konstanta zohledňuje dosažený čas, při znalosti velikosti vybíjecího proudu a udávané kapacity akumulátoru. Příklad predikce dosaženého času byl demonstrován v diskuzi. Peukertova konstanta je tedy, díky jednoduchosti výpočtu a s ohledem na snadnou volbu indexu  $k$ , pro běžnou praxi naprosto dostačujícím ukazatelem s velkým přínosem.

V neposlední řadě bylo zkoumáno množství dodané a vydané energie a jejich vzájemný poměr. Množství dodané energie bylo měřeno přímo ze sítě, tj. v této hodnotě je zahrnuta i nevyužitá (nedodaná do akumulátoru) elektrická energie „spotřebovaná“ nabíječem. Množství dodané energie je poplatné kapacitě akumulátoru.

Vliv teploty na množství dodávané energie se nepodařilo prokázat. Na druhou stranu byl zaznamenán vliv teploty na množství vydané energie, kde s klesající teplotou klesalo i množství vydané energie z akumulátoru.

Poměr dodané a vydané energie byl zjištěn nejvyšší u akumulátoru s elektrolytem nasáklým v separátorech (akumulátory č. 2 a 4), kde se tento poměr pohybuje okolo 40%. U akumulátoru s klasickou konstrukcí je tento poměr,

o několik procent, nižší a více jej ovlivňuje teplota a použitá zátěž, než již zmíněné akumulátory.

Akumulátory s elektrolytem nasáklým v separátorech se ve všech zkoumaných měřeních projevují jako výhodnější. Z jejich konstrukce vyplývá i vyšší akumulační schopnost, vztážená k vlastní hmotnosti akumulátoru, oproti akumulátorů se zaplavenými elektrodami.

Zpravidla mohou akumulátory s elektrolytem nasáklým v separátorech pracovat v jakékoliv pozici. Rovněž jsou u těchto moderních uzavřených akumulátorů, větší předpoklady bezpečnosti, díky zamezení uniku elektrolytu mimo akumulátor a díky minimalizaci vývoji plynů a jejich uniku při nabíjení.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] : Celinski, Zdzislaw.: Nové zdroje elektrické energie. Nakladatelství technické literatury, Praha 1985, str. 142 – 162.
- [2] : Horejš, Karel. - Motejl a kol., Vladimír.: Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů. Littera, Brno 2001, vydání druhé, str. 497 – 504. ISBN 80-85763-14-1.
- [3] : Remek, Branko. - Šťastný, Jiří.: Autoelektrika a autoelektronika. T. Malina nakladatelství, Praha 2003, vydání šesté, str. 138 – 158. ISBN 80-86293-02-5.
- [4] : Libra, Martin. - Poulek, Vladislav.: Solární energie, fotovoltaika, perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2006, str. 80 – 81, ISBN 80-213-1488-5.
- [5] : Cenek, Miroslav a kol.: Akumulátory od principu k praxi. FCC Public s. r. o., Praha, 2003, ISBN 80-86534-03-0.
- [6] : Hammerbauer, Jiří.: Elektronické napájecí zdroje a akumulátory. vydání druhé, Plzeň: Západočeská univerzita, 1998, 181 s. ISBN 80-7082-411-5.
- [7] : Odkaz dostupný z WWW: <<http://www.battex.info/vyrobcu-a-znacky/Sanyo>>, položka soubory ke stažení, staženo dne: 15. 1. 2011.
- [8] : Brzokoupil, Vladimír.: Ni-MH baterie v praxi, 23 s. FEEC, VUT
- [9] : Odkaz dostupný z WWW: <<http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>>, staženo dne: 3. 3. 2011.
- [10] : Odkaz dostupný z WWW: <[www.mgm-compro.cz/pdf/lipol-vs-a123-v4.pdf](http://www.mgm-compro.cz/pdf/lipol-vs-a123-v4.pdf)>, staženo dne: 3. 11. 2010.
- [11] : Arendáš, Miroslav. - Ručka, Milan.: Nabíječky a nabíjení.. druhé. aktualizované vydání, BEN - technická literatura, Praha 1997, ISBN 80-86056-29-5.
- [12] : Odkaz dostupný z WWW: <<http://www.eprona.cz/cz/clanky.html>>, staženo dne: 10. 9. 2010.
- [13] : Odkaz dostupný z WWW:  
<<http://www.svetelektrotechniky.ic.cz/proudova%20hustota.html>>, staženo dne: 10. 9. 2010.
- [14] : Odkaz dostupný z WWW: <<http://office.microsoft.com/cs-cz/excel-help/linregrese-HP005209155.aspx>>, staženo dne: 9. 4. 2011.

[15] : Odkaz dostupný z WWW:

<[http://www.bookrags.com/wiki/Peukert%27s\\_law#Peukert\\_Applications](http://www.bookrags.com/wiki/Peukert%27s_law#Peukert_Applications)>,

staženo dne: 1. 4. 2011

[16] : Odkaz dostupný z WWW: <<http://www.bdbatteries.com/peukert.php>

...2.4.2011/>, staženo dne: 2. 4. 2011.

# Přílohy

## Seznam příloh:

<b>Příloha A</b>	<b>Přehled zkratk označení a jednotek .....</b>	<b>64</b>
<b>Příloha B</b>	<b>Základní charakteristické údaje (olověné akumulátory).....</b>	<b>65</b>
<b>Příloha C</b>	<b>Srovnání startovací schopnosti olovených a NiCd akumulátorů .....</b>	<b>67</b>
<b>Příloha D</b>	<b>Zátky a ventily olovených akumulátorů.....</b>	<b>68</b>
<b>Příloha E</b>	<b>Ukázky zpracování naměřených dat.....</b>	<b>73</b>
<b>Příloha F</b>	<b>Výstupní graf wattmetru s popisem .....</b>	<b>76</b>
<b>Příloha G</b>	<b>Datový nosič</b>	



## Příloha A

### Přehled zkratk, označení a jednotek

NiCd, (Ni-Cd)	nikl-kadmiový akumulátor
NiMH, (Ni-MH)	nikl-metalhydridový akumulátor
Li-Ion, (Li-ion)	lithium-iontový akumulátor
LiPol, (Li-pol)	lithium-polymerový akumulátor
C	kapacita
10C	desetinásobek kapacity
e <sup>-</sup> ,e <sup>+</sup>	elektricky nabitá částice
°C	stupně celsia (hodnota teploty)
Ω	ohm
mΩ	tisícina ohmu
V	volt (hodnota elektrického napětí)
A	ampér (hodnota elektrického proudu)
Ah	ampérhodina
PVC	polvinylchlorid
K(OH)	hydroxid draselný (draselný louh)
Li(OH)	hydroxid lithný
®	reakce
AGM	akumulátor s elektrolytem nasáklým v separátorech
VRLA	ventilem řízení kyselý olověný akumulátor
SLA	uzavřený kyselý akumulátor
SLI	uzavřený kyselý akumulátor startovací

## Příloha B

### Základní charakteristické údaje a pojmy (olověné akumulátory)

- a) **Napětí na prázdno** je napětí nezatíženého článku.
- b) **Jmenovité napětí** je to zpravidla zaokrouhlená střední hodnota vybíjecího napětí článku, tento pojem definují české státní normy ČSN EN 60285+A1 a ČSN EN 61436.
- c) **Napětí akumulátorové baterie** vznikne spojením článku do série.
- d) **Kapacita akumulátoru** je to množství náboje, které se může z akumulátoru odebrat až do úplného vybití. Udává se v ampérhodinách.
- e) **Rezervní kapacita RC** je definována jako doba, po kterou je akumulátor schopen dodávat energii pro běžný provoz vozidla, a to i tehdy, není-li nabíjen. Odebíraný proud je stanoven na 25 A. Rezervní kapacita se udává v minutách, např: RC 70 min.
- f) **Hustota elektrolytu** je závislá na nabití akumulátoru a je nejspolehlivějším ukazatelem stavu nabití. Měří se hustoměrem.
- g) **Formování** je to první nabíjení akumulátoru. Provádí se polovičním nabíjecím proudem  $I = 1/20$  kapacity akumulátoru.
- h) **Provozní nabíjení** provádí se proudem  $I = 1/10$  kapacity akumulátoru (dle výrobce).
- i) **Samovybíjení** je to proces, který probíhá na povrchu i uvnitř akumulátoru, kdy jsou vlivem vlhkosti propojovány jednotlivé články.
- j) **Plné znaky nabití** (olověné akumulátory klasické konstrukce)
  - Napětí dosahuje hodnoty 2,6 - 2,7V na jeden článek a po dvě hodiny již nevzrůstá.
  - Po zapojení akumulátoru na nabíječakumulátor začne okamžitě plynovat.
  - Při měření hustoty elektrolytu je naměřena 1,28 g/cm a po dvě hodiny se nemění.
- k) **Plynovací napětí** hodnota napětí (přibližně 2,4V pro jeden článek), při kterém začíná akumulátor intenzivněji plynovat následkem elektrolýzy vody v elektrolytu za vzniku vodíku a kyslíku. Se vzestupem napětí se elektrolýza vody dále zvyšuje.

- l) **Konečné nabíjecí napětí** je napětí, kterého dosáhne akumulátor po plném nabití na konci nabíjení. S pokračujícím nabíjením konstantním proudem se již jeho hodnota nemění. Tato hodnota je závislá na velikosti vnitřního elektrického odporu akumulátoru, teplotě a velikosti nabíjecího proudu.
- m) **Vybíjecí napětí** je vždy nižší, než napětí naprázdno. Rozdíl je tím větší, čím větším proudem je akumulátor vybíjen, čím má větší vnitřní odpor a čím nižší je provozní teplota.
- n) **Konečné vybíjecí napětí** je předepsaná hodnota napětí akumulátoru, při které je vybíjení považováno za ukončené. Toto napětí závisí na intenzitě vybíjecího proudu a vnitřním elektrickým odporu. Vybíjení na nižší hodnotu napětí, než udává výrobce pro příslušný vybíjecí proud, způsobuje velmi hluboké vybití, které snižuje kapacitu a zkracuje životnost akumulátoru.
- o) **Skutečná kapacita** akumulátoru je podobně jako skutečné napětí závislá na mnoha vlivech, především na počtu již vykonaných cyklů, velikosti vybíjecího proudu a teplotě okolí.
- p) **Relativní kapacita** je podílem skutečné kapacity a jmenovité kapacity udává se obvykle v procentech.

## Příloha C

### Srovnání startovací schopnosti olověných a alkalických (Ni-Cd) akumulátorů

Startovací schopnost je to schopnost poskytovat, po krátký časový úsek, vysoké vybíjecí proudy. Je závislá zejména na vnitřním odporu akumulátoru.

Olověný akumulátor:

- Napětí jednoho článku;  $U_{\check{c}} = 2V$
- Vnitřní odpor jednoho článku;  $R_i = 0,001\Omega$
- Napětí akumulátorové baterie;  $U_b = 12V$
- Počet článků v akumulátoru = 6
- Celkový vnitřní odpor akumulátoru =  $0,006 \Omega$
- Startovací proud  $I_s = 300A$

Alkalický akumulátor

- Napětí jednoho článku;  $U_{\check{c}} = 1,2V$
- Vnitřní odpor jednoho článku;  $R_i = 0,003\Omega$
- Napětí akumulátorové baterie;  $U_b = 12V$
- Počet článků v akumulátoru = 10
- Celkový vnitřní odpor akumulátoru;  $R_c = 0,03 \Omega$
- Startovací proud;  $I_s = 300A$

Celkový vnitřní odpor akumulátoru je roven počtu článků v akumulátoru násobený vnitřním odporem jednoho článku;  $U_s$  je spouštěcí napětí.

Pokles napětí při startu:

Olověný akumulátor

$$U_s = U_b - I_s * R_{\check{c}} = 12 - 0,006 * 300 = 12 - 1,8 = 10,2 V$$

Alkalický akumulátor

$$U_s = U_b - I_s * R_{\check{c}} = 12 - 0,03 * 300 = 12 - 9 = 3 V$$

## Příloha D

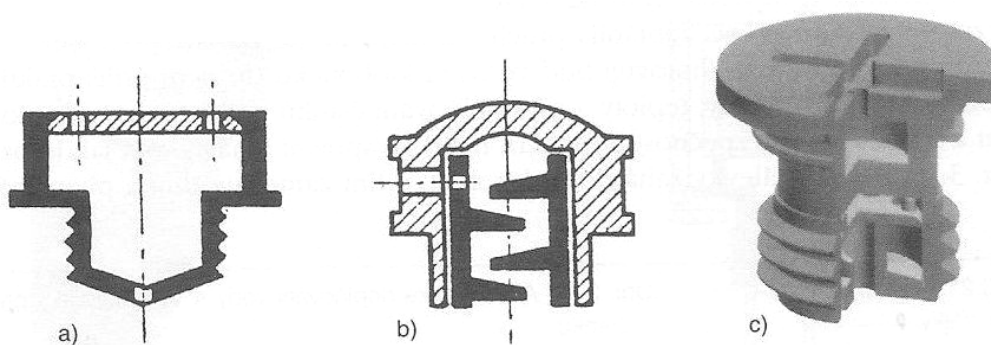
### Zátky a ventily olovených akumulátorů

#### Plynotěsné zátky

Používají u moderních konstrukcí akumulátorů při centrálním odplynování článků v bateriových monoblocích. Snímají se pouze při měření nebo při doplňování elektrolytu.

#### Zátky pro zachycení aerosolu ( vysoušení plynů )

Jsou určeny k zachytávání aerosolu, který je vytvářen z elektrolytu unikajícím vodíkem a kyslíkem, a současně aby nebránily úniku plynů vznikajících v člancích elektrolýzou. Jsou konstruovány s komůrkou jednoduchou nebo spirálovou, s kaskádou nebo s labyrintem.



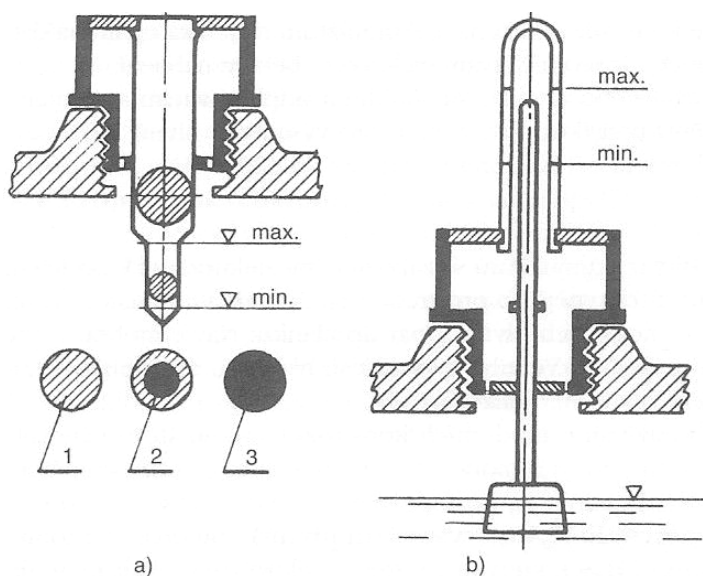
*Obr. Zátky olovených akumulátorů*

*a) komůrková      b) kaskádová      c) skutečný vzhled*

#### Zátky indikující výšku elektrolytu v člancích

Jsou vhodné například u staničních a trakčních akumulátorů v neprůhledných nádobách. První možností je použití průhledného, stupňovitě nebo kuželovitě upraveného dřívku. Dřívek je umístěn v zátku a končí na minimální výšce elektrolytu. Při pohledu shora velikost kroužků viditelných v dřívku odpovídá příslušné výšce hladiny.

Další možností je použití plováčku s dříkem. Dřík v průhledném pouzdru prochází zátkou a jeho výška udává výšku hladiny. Přípustné minimum a maximum hladiny elektrolytu je vyznačeno na průhledném pouzdru dříku.



**Obr. Zátka pro indikaci výšky hladiny v článku dřík při pohledu shora**  
**1 – hladina pod minimem; 2 – optimální výška hladin 3 – uzavřeno plováčkem**

### Zátka bezpečnostní (antidetonační)

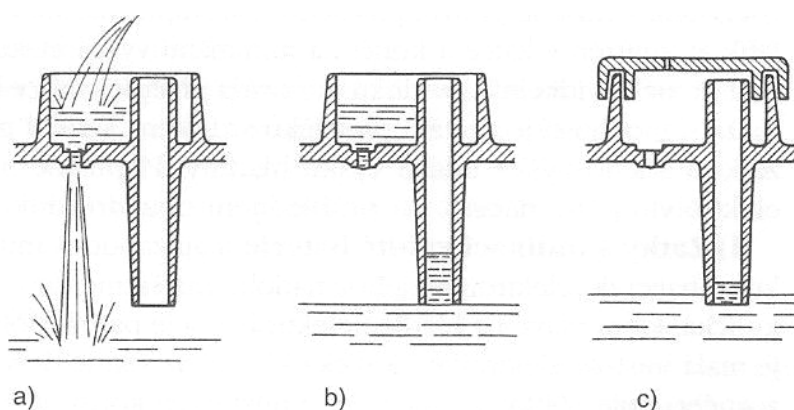
Zamezují roztržení článkových nádob a vík následkem výbuchu kyslíko-vodíkové směsi, vznikající elektrolyzou vody obsažené v elektrolytu. Výbuch může být iniciován zvenčí zdrojem jiskření, nebo teplotou přesahující 500°C. Princip bezpečnostní zátky spočívá v průchodu plynů přes jemně porézní keramický materiál. Tloušťka materiálu a velikost pórů musí být taková, aby při vznícení vodíku zvenčí zabránila průchodu plamene do článků.

Bezpečnostní zátka se zhotovují buď ve tvaru „kloboučku“ nebo ve spojení s nálevkou. Stopka nálevky sahá do elektrolytu, a tím zamezuje úniku plynů nálevkou. Plyny unikají kolem stopky do prostoru keramického válce a pronikají póry do vnějšího prostoru. Nálevka umožňuje měřit hustotu a teplotu elektrolytu, včetně doplňování článků vodou, bez snímání zátek.

U startovacích akumulátorů opatřených neprodyšnými zátkami zajišťuje je toto zajištění bezpečnostní porézní keramickou destičku vsazenou do společného odvětrávacího otvoru v boční stěně víka.

## Zátky pro automatické doplňování vody do článků

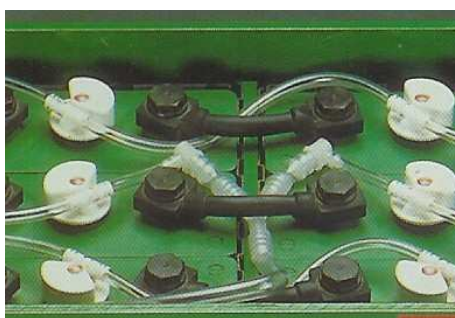
Systém spočívá na principu přetlaku vyvíjených plynů v článku, které po doplnění vody na potřebnou výši zabraňují dalšímu přítoku vody. Tak lze jedním plnicím otvorem doplňovat všechny články bateriového bloku. podmínkou správné činnosti je dokonalá plynotěsnost článků.



*Obr. Automatické doplňování s využitím tlaku plynů v článku*

*a - plnění článku; b - konec plnění (plyny zamezují dalšímu přítoku); c - běžný provozní stav*

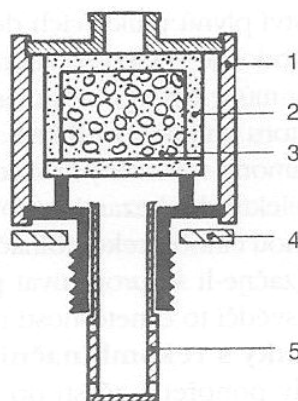
Jiný systém používá zátky s plováčkem, které po dosažení požadované výše hladiny elektrolytu uzavrou přítok vody. Tyto zátky jsou vhodné pro jednotlivé články, vzájemně propojené do série hadičkami pro přívod vody. Pro některé účely se používají zátky navíc sériově propojované další hadičkou pro odvádění plynů, vznikajících elektrolýzou, z článků.



*Obr. Zapojení systému doplňování vody.*

## Rekombinační zátky s katalyzátorem

Umožňují slučovat kyslík a vodík, vznikající elektrolýzou vody v elektrolytu, opět na vodu. Plyny se nejprve zbaví aerosolu, který by poškozoval katalyzátor a pak procházejí porézním pouzdrům k paládiovým katalyzátorům. Na katalyzátorech se molekuly plynů rozštěpí a pak společně reagují bezplamennou reakcí na vodní páru, která se sráží na chladnější stěně zátek a v podobě kapek stéká zpět do článku.



*Obr. Zátka pro rekombinaci plynu na vodu pomocí paládiového katalyzátoru  
1 – plastový plášť, 2 – porézní komůrka, 3 – katalyzátor, 4 – těsnící podložka,  
5 – trubice omezující průnik aerosolu  $H_2SO_4$*

Účinnost rekombinace dosahuje na počátku provozu až 99 %, pak velmi pozvolna klesá. Zátky mohou teoreticky pracovat v rozsahu teplot od  $-50$  do  $+45$  °C. Spodní hodnota teploty je v praxi limitována zamrznutím rekombinované vody na stěnách zátek a při teplotě nad 45 stupňů Celsia klesá účinnost kondenzace vznikající vodní páry na stěnách zátek.

U akumulátorů uzavřených větraných (se zaplavenými elektrodami) použití rekombinačních zátek s katalyzátorem výrazně prodlužuje intervaly doplňování vody a snižuje i množství plynů unikajících do ovzduší.

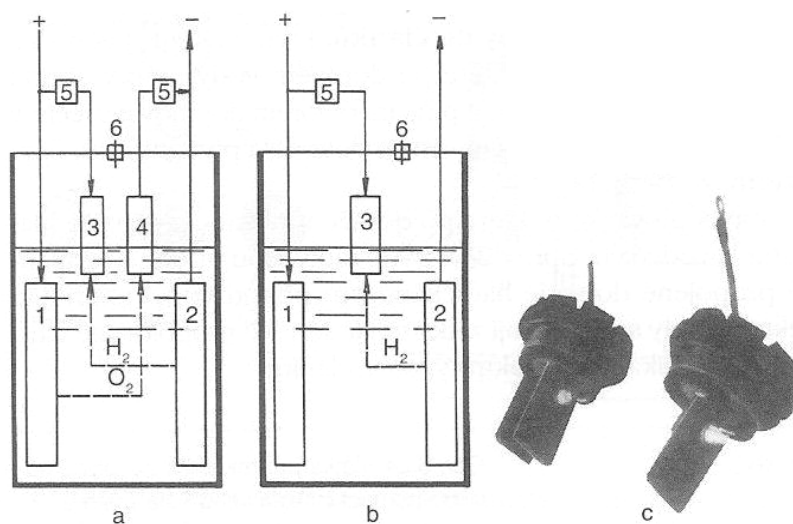
Nevýhodou je vyšší cena akumulátorů opatřených rekombinačními zátkami a možný pokles účinnosti rekombinace či možnost poškození paládiového katalyzátoru antimonem.

Správnou činnost rekombinačních zátek lze kontrolovat jednoduše podle hladiny elektrolytu (začne-li se projevovat pozvolný pokles hladiny elektrolytu v některém článku akumulátoru, svědčí to o netěsnosti nebo snížené funkčnosti rekombinační zátky).



## Zátky s rekombinačními elektrodami

Využívají jednu či dvě pomocné elektrody ponořené zčásti do elektrolytu. Elektrody jsou plynové (vodíková a kyslíková) a připojují se přes rezistor s nelineárním průběhem odporu k pólovým vývodům elektrod článku. Výhodou rekombinace plynů na vodu pomocnými elektrodami je vysoká účinnost reakce i při rychlém nabíjení, nevýhodou je vyšší cena pomocných elektrod.

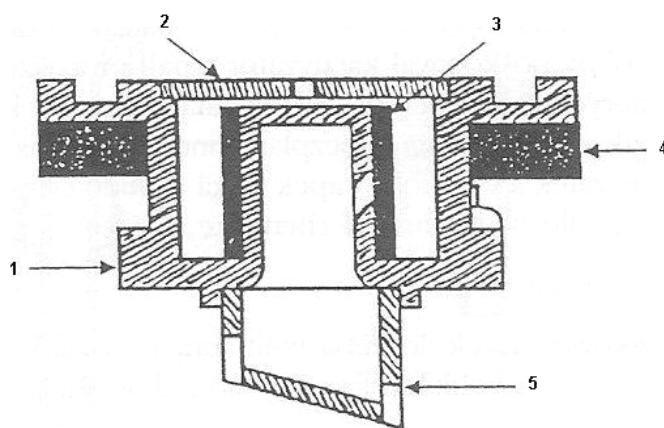


*Obr. Schéma rekombinace plynů přidavnými elektrodami*

- a) pomocí přidavné kyslíkové a vodíkové elektrody, b) pomocí přidavné vodíkové elektrody, c) konstrukční provedení zátek s přidavnými elektrodami*
- 1 – kladná elektroda, 2 – záporná elektroda, 3 – přidavná kyslíková elektroda, 4 – přidavná vodíková elektroda, 5 – nelineární odpor, 6 – pojistný plynový ventil.*

## Ventily

Používají hlavně u akumulátorů řízených ventilem (hermetizovaných, rekombinačních). Pryžové těsnění ventilu zabraňuje kontaktu vnějšího prostředí s vnitřním prostorem akumulátoru a současně udržuje trvalý přetlak plynů v člancích v rozmezí 0,07 až 0,43 kPa (podle typu akumulátoru ).



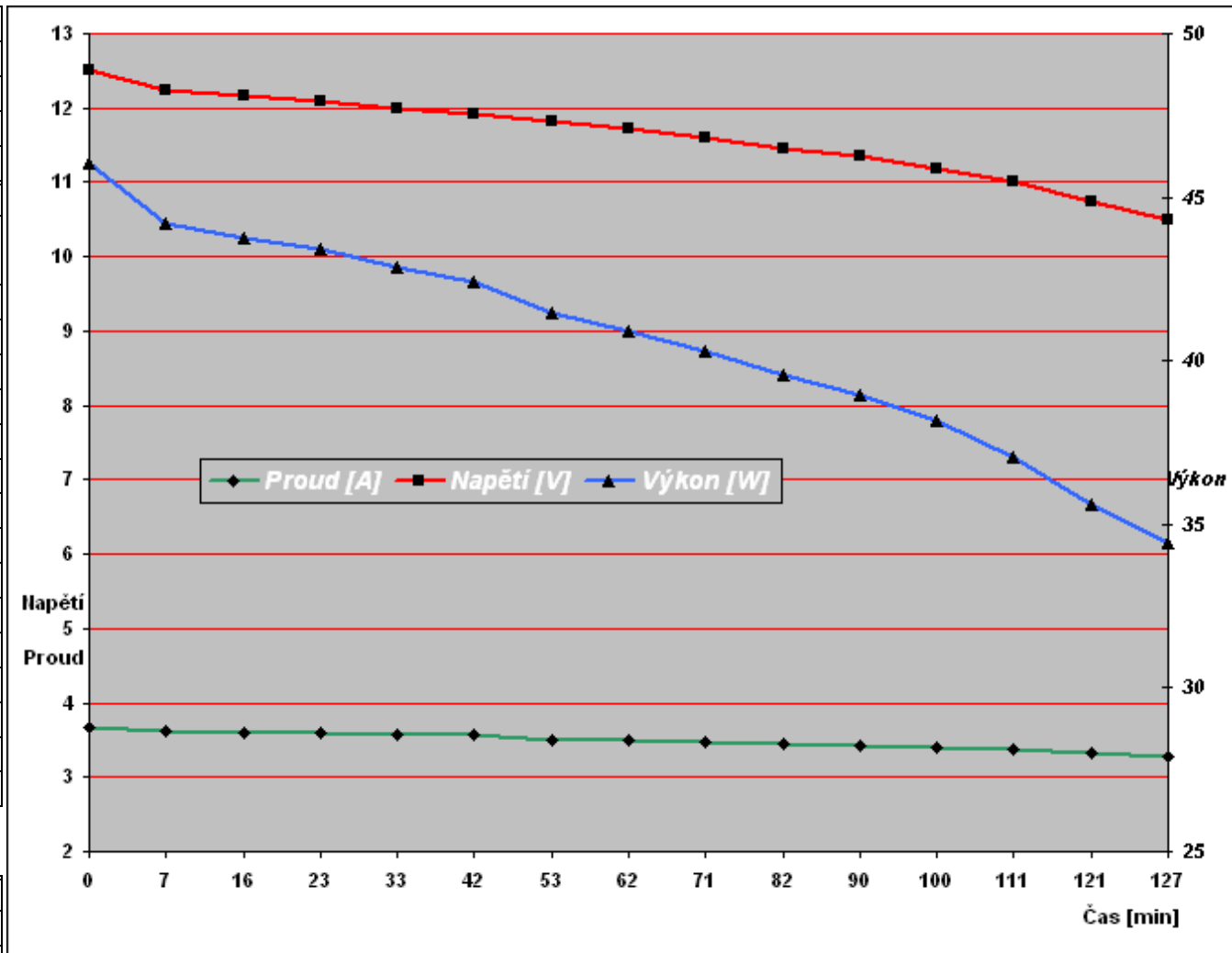
*Obr. Ventil rekombinačních – hermetizovaných akumulátorů*

*1 – těleso ventilu, 2 – víko, 3 – ventilační pryžový kroužek, 4 – těsnění ventilu, 5 – zarážka aerosolu*

## Příloha E

### Ukázky zpracování naměřených dat

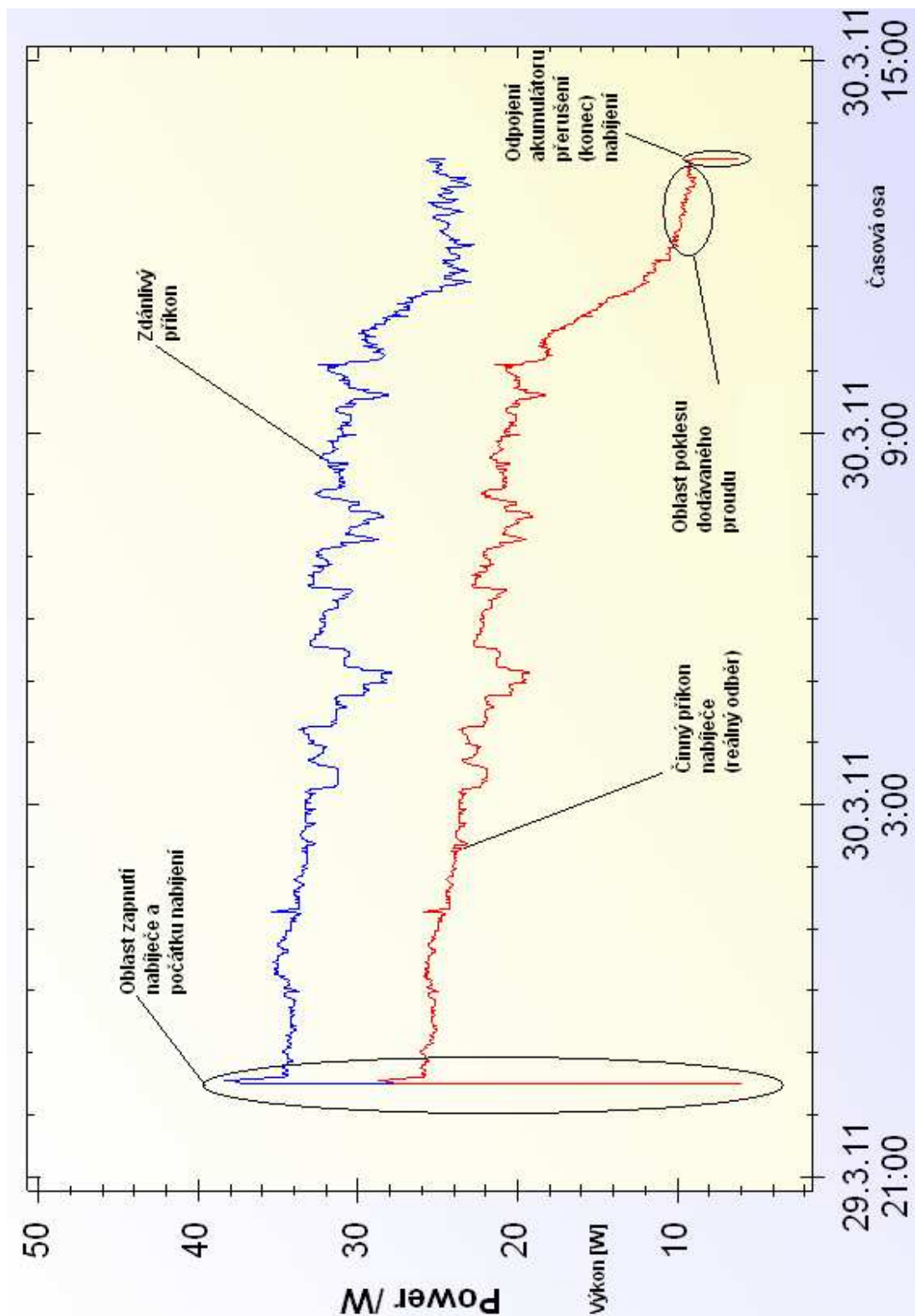
Tabulka podmínek měření					
Číslo měření:	24				
Číslo měřeného akumulátoru:	3				
Použitá jmenovitá zátěž [W]:	42				
Teplota prostředí:	II.				
Tabulka naměřených hodnot					
Číslo záz.	Čas [min]	Proud [A]	Napětí [V]	Výkon [W]	Čas [hod]
1	0	3,68	12,51	46,04	0,00
2	7	3,61	12,24	44,19	0,12
3	16	3,60	12,16	43,78	0,27
4	23	3,59	12,10	43,44	0,38
5	33	3,57	12,00	42,84	0,55
6	42	3,56	11,91	42,40	0,70
7	53	3,51	11,81	41,45	0,88
8	62	3,49	11,72	40,90	1,03
9	71	3,47	11,61	40,29	1,18
10	82	3,45	11,46	39,54	1,37
11	90	3,43	11,35	38,93	1,50
12	100	3,41	11,19	38,16	1,67
13	111	3,37	11,00	37,07	1,85
14	121	3,32	10,73	35,62	2,02
15	127	3,28	10,50	34,44	2,12
Vážený aritmetický průměr		3,49	11,62	40,59	
Tabulka vypočtených hodnot					
Dodaná energie nabíjením:	0,231 kWh				
Využitá energie vybíjením:	0,086 kWh				
Poměr V/D energie:	0,372				
Poměr V/D energie:	37,2 %				
Dosažená kapacita (tento cyklus)	7,38 Ah				





## Příloha F

### Výstupní graf wattmetru s popisem



Obr. Výstupní graf wattmetru - graf průběhu nabíjení